

AVALIAÇÃO DE UM CONJUNTO LISIMÉTRICO NA DETERMINAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA DE MILHO CULTIVADO NO OUTONO-INVERNO

ÉDER COMUNELLO¹; PAULO CESAR SENTELHAS²; CARLOS RICARDO FIETZ¹; DANILTON LUIZ FLUMIGNAN¹ E GESSI CECCON¹

¹Embrapa Agropecuária Oeste, Rodovia BR 163, km 253,6, Cx. Postal 449, CEP 79804-970, Dourados, MS, Brasil. Fone:(67) 3416-9700. E-mail(s): {eder.comunello, carlos.fietz, danilton.flumignan, gessi.ceccon}@embrapa.br

²Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (USP/Esalq), Av. Pádua Dias, 11, CEP 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil. Fone:(19) 3429-4283. E-mail: pcsentel.esalq@usp.br

1 RESUMO

O conhecimento da evapotranspiração é fundamental para a determinação da demanda hídrica dos cultivos e a lisimetria está entre os métodos mais confiáveis para sua determinação. Uma série de fatores ligados à construção e operação dos lisímetros pode interferir na confiabilidade das medidas tomadas, de modo que o presente trabalho buscou avaliar se ligeiras diferenças nesses fatores seriam suficientes para gerar diferenças estatisticamente significativas entre as séries obtidas de três lisímetros similares. O trabalho experimental foi implantado em março de 2014, em Dourados, MS, com o conjunto lisimétrico disposto em uma área de 0,49 ha, cultivada com um híbrido de milho superprecoce irrigado (125 dias). Variáveis fitotécnicas avaliadas demonstraram a homogeneidade de condições entre os lisímetros e entorno. Não havendo diferenças significativas entre séries, estabeleceu-se um coeficiente de cultivo (Kc) médio. Partindo de 0,54 na fase inicial (0-15 DAE), houve incremento linear dos valores de Kc, atingindo 1,37 no pendoamento (50 DAE). Desse ponto, houve redução gradual dos valores, chegando a 0,80 na maturação fisiológica (110 DAE) e 0,40 na colheita. A demanda hídrica calculada para todo ciclo foi de 475 mm. A análise complementar do saldo de radiação e temperatura do ar foram fundamentais para interpretação dos resultados.

Palavras-chave: coeficientes de cultura, lisímetros de pesagem, milho safrinha.

COMUNELLO, E.; SENTELHAS, P. C.; FIETZ, C. R.; FLUMIGNAN, D. L. E
CECCON, G.

EVALUATION OF A SET OF LYSIMETERS FOR DETERMINING WATER DEMAND
OF AUTUMN-WINTER MAIZE CROP

2 ABSTRACT

Evapotranspiration is a key variable to determine crop water demand, and lysimetry is among the most reliable methods for its determination. A number of factors related to lysimeters construction and operation can interfere with the reliability of measurements. Thus, this study aimed at assessing whether slightly differences could result in significant differences among the series of three similar lysimeters. The experiment was started in March, 2014, in Dourados county, MS, Brazil, with the lysimetric set located in an area of 0.49 ha where a short cycle maize hybrid (125 days) was cropped

with irrigation. Plant measurements showed homogeneity conditions among lysimeters and their surrounding areas. With no significant differences among the series, an average crop coefficient (K_c) was used. The value of 0.54 was obtained in the initial phase (0-15 DAE). Right after, K_c values presented linear increment, reaching 1.37 in the tasseling stage (50 DAE). From this point, there was gradual decrease in values, reaching 0.80 at physiological maturity (110 DAE) and 0.40 at harvest. Water demand calculated for the entire cycle was 475 mm. A complementary analysis of net radiation and air temperature was important to evaluate the results obtained.

Keywords: crop coefficients, weighing lysimeters, off-season maize.

3 INTRODUÇÃO

A quantificação da evapotranspiração é uma etapa fundamental para a determinação dos coeficientes de cultura (K_c), os quais, auxiliam na definição da demanda hídrica dos cultivos agrícolas. Apesar de ser um procedimento já bem conhecido e adotado em diversos estudos (SCHMIDT et al., 2013; CAMPECHE et al., 2011; ALLEN et al., 1998; WRIGHT, 1991), há ainda uma grande carência em termos de avaliações aplicadas às diferentes condições brasileiras.

Os lisímetros são estruturas utilizadas para isolar um corpo de solo, normalmente a campo, criando um sistema semifechado, onde é possível realizar o balanço hídrico desse sistema. Na lisimetria de pesagem empregam-se células eletrônicas de carga, permitindo acompanhar a variação da massa do bloco de solo, ocasionado pelas entradas ou saídas de água desse sistema ao longo do tempo. (ALLEN et al., 1998; ABOUKHALED; ALFARO; SMITH, 1982).

A lisimetria de pesagem é indicada como método padrão na determinação da evapotranspiração de cultura e de referência (SCHMIDT et al., 2013; CAMPECHE et al., 2011; HOWELL; SCHNEIDER; JENSEN, 1991). Contudo, há uma série de particularidades que devem ser consideradas a fim de garantir o bom desempenho e confiabilidade das medidas dos lisímetros (ABOUKHALED;

ALFARO; SMITH, 1982; HOWELL; SCHNEIDER; JENSEN, 1991; WALTER et al., 1991; WRIGHT et al., 1991).

Howell et al. (1991) elencaram uma série de fatores ligados à construção da estrutura ou operação dos lisímetros que podem interferir na confiabilidade das medidas tomadas. Ainda que um lisímetro possa ser muito acurado e preciso ao mensurar a variação de massa, diferenças nas suas dimensões, espessura de paredes, localização e extensão das bordaduras podem favorecer a evapotranspiração e superestimar medidas. É comum que esses fatores ocorram concomitantemente, sendo muito difícil separá-los e quantificá-los adequadamente.

Para a comparação entre diferentes lisímetros é necessário assegurar que todas as unidades de um mesmo conjunto tenham fontes de erro controladas e homogêneas. Esse aspecto é ainda mais importante se considerarmos que, por questões econômicas e logísticas, é muito difícil e raro incluir réplicas na experimentação com lisímetros, tal como pode ser observado em uma série de trabalhos já publicados (CAMPECHE et al., 2011; FARIA et al., 2006 e FIETZ et al., 2003).

Mesmo utilizando lisímetros muito similares em termos físicos e estruturais, ainda assim poderá haver variação no erro associado. Causas comuns incluem o posicionamento relativo das unidades na área experimental ou, ainda, diferenças na extensão das bordas. Desse modo, em experimentos de lisimetria buscando a

comparação entre unidades, podem surgir dúvidas. As diferenças encontradas são decorrentes do efeito dos tratamentos utilizados ou são influência dos fatores de erro?

No caso específico desse trabalho, pretendeu-se avaliar o desempenho comparado de um conjunto lisimétrico formado por três unidades, com ligeiras diferenças estruturais e de posicionamento, na obtenção de dados de um mesmo cultivo nas condições de Dourados, Mato Grosso do Sul. A hipótese básica é que pequenas variações não são suficientes para causar diferenças significativas nas medidas obtidas pelos diferentes lisímetros. Além de aumentar a confiabilidade dos resultados obtidos, a obtenção de séries estatisticamente similares permite descartar o efeito errático e viabiliza a comparação futura entre unidades, onde se poderia empregar variações de tratamento (cultura, cultivar, manejo).

A opção pela cultura do milho é dada por sua importância econômica para a região e pela relativa carência de informações, sobretudo para cultivos no período de outono-inverno (safrinha). Embora o milho tenha se estabelecido, no passado, como uma cultura de verão, nos últimos anos ele tem se consolidado como cultura de outono-inverno. Em Mato Grosso do Sul aproximadamente 97% do milho é cultivado nesse período (IBGE, 2014).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no campo experimental da Embrapa Agropecuária Oeste em Dourados, MS, em torno das coordenadas geográficas 22°16'30"S e 54°49'00"W, com altitude aproximada de 408 m. O clima da região é descrito por Fietz e Fisch (2008) como sendo Cwa na classificação de Köppen, em função de seu caráter mesotérmico úmido, com verão chuvoso e inverno seco. Os dados meteorológicos observados ao longo do ciclo do milho foram sumarizados em escala quinidial e apresentados na Tabela 1.

A cultura do milho foi implantada em um ambiente homogêneo em termos edáficos e orográficos, utilizando-se a cultivar de milho, BRS 2223 (híbrido duplo superprecoce) em toda a área experimental. A semeadura ocorreu no dia 7 de março de 2014, com emergência em 14 de março e colheita 125 dias após a emergência (DAE). Utilizou-se o espaçamento de 0,9 m entre linhas e uma população equivalente a 55.000 plantas por hectare. O cultivo foi irrigado durante todo o ciclo, sendo que o manejo da irrigação foi realizado por meio do balanço hídrico sequencial, de modo a manter a disponibilidade de água no solo acima de 50% da capacidade do campo.

Tabela 1. Dados meteorológicos quinquidiais observados durante o ciclo da cultura do milho de outono-inverno em Dourados, MS, safra 2014.

Data	DAE	Rn Médio (MJ dia ⁻¹)	Temperatura (°C)			UR Média (%)	U2m (m s ⁻¹)	Chuva (mm)
			Média	Mín.	Máx.			
09/03/14	-5	10,0	23,9	18,7	34,2	77,8	0,9	20,8
14/03/14	0	14,0	25,5	19,4	33,9	78,0	1,1	22,7
19/03/14	5	11,2	25,8	20,2	33,2	78,6	1,4	32,7
24/03/14	10	12,9	23,3	14,7	31,4	75,0	1,2	0,0
29/03/14	15	10,4	24,6	18,0	31,3	80,2	1,5	3,1
03/04/14	20	12,7	25,4	19,7	32,6	76,0	0,9	8,6
08/04/14	25	11,4	26,9	20,2	35,1	74,0	1,5	18,5
13/04/14	30	4,9	20,3	11,9	28,2	84,8	1,5	18,1
18/04/14	35	7,9	21,8	17,2	31,7	86,8	0,9	4,1
23/04/14	40	9,1	21,7	14,1	29,8	82,8	0,8	18,2
28/04/14	45	11,3	21,6	14,6	30,8	72,4	1,5	50,0
03/05/14	50	6,5	20,9	13,6	29,3	81,4	0,9	8,9
08/05/14	55	9,7	21,0	11,1	30,1	76,8	0,8	0,3
13/05/14	60	7,9	20,7	14,1	28,9	79,8	0,9	14,0
18/05/14	65	8,6	21,0	14,3	29,3	81,4	0,8	2,6
23/05/14	70	4,6	18,0	10,2	31,0	86,6	1,9	49,0
28/05/14	75	8,2	14,5	5,8	25,5	80,6	1,3	0,3
02/06/14	80	7,9	17,5	6,7	29,4	74,8	1,4	5,4
07/06/14	85	5,1	22,7	13,6	30,6	81,4	2,4	29,2
12/06/14	90	6,6	21,3	15,2	30,4	80,0	1,6	0,0
17/06/14	95	8,4	20,8	12,6	29,6	80,0	0,9	0,0
22/06/14	100	8,6	19,8	10,5	30,6	71,6	1,0	0,0
27/06/14	105	7,3	19,3	10,0	31,0	75,6	2,0	7,6
02/07/14	110	9,0	19,6	7,9	31,9	69,6	0,9	0,6
07/07/14	115	3,4	17,7	13,8	31,1	83,6	1,2	37,6
12/07/14	120	7,9	18,8	12,8	27,3	78,4	0,9	1,8
17/07/14	125	9,7	22,2	14,9	31,0	62,5	1,1	0,0

OBS: Data é relativa ao dia central de um período de cinco dias. DAE - dias após a emergência; Rn - saldo de radiação; UR - umidade relativa do ar; U2m - velocidade média do vento a 2m de altura.

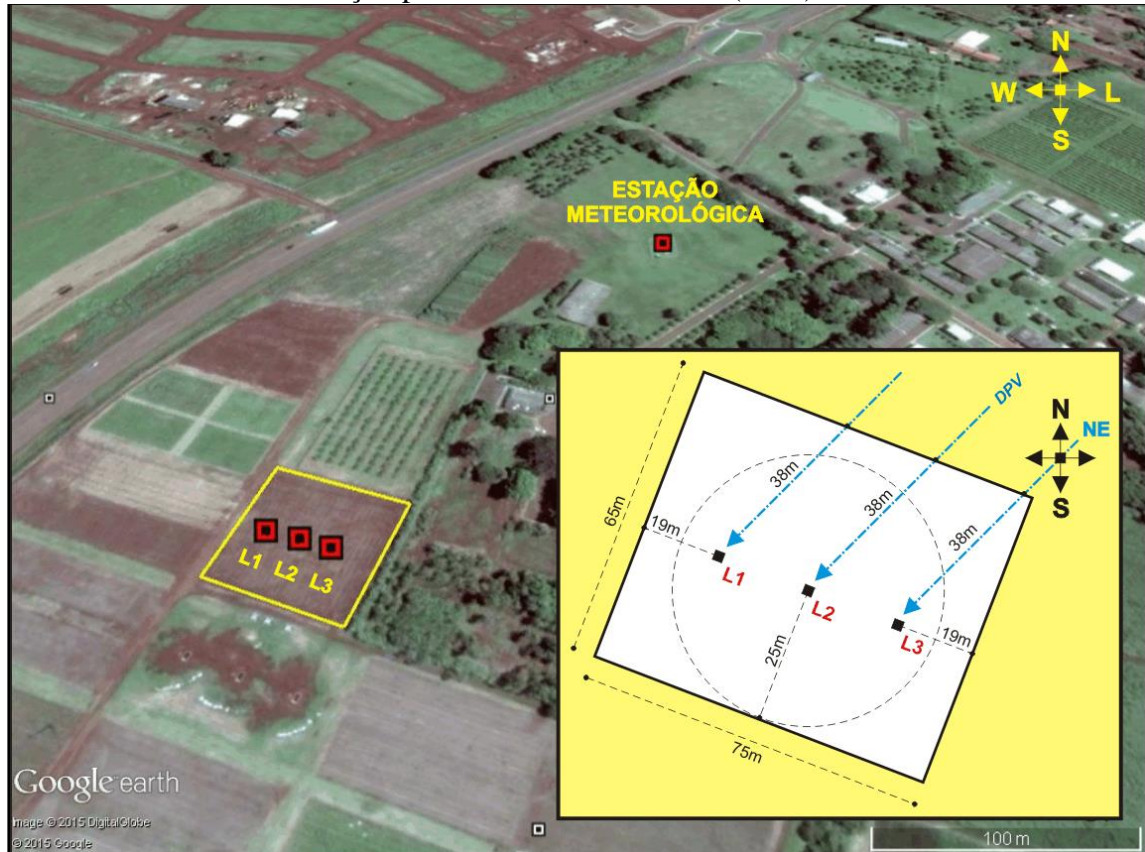
A área cultivada possuía 65 m de largura e 75 m de comprimento, perfazendo aproximadamente 0,49 ha (Figura 1). Considerado o sentido da linha de comprimento, um dos lisímetros estava próximo do centro da área enquanto os outros dois estavam dispostos longitudinalmente a uma distância de 17m. Essa configuração fez com que os lisímetros tivessem bordaduras em algumas direções com extensões diferentes (Figura 1), o que poderia promover

diferenças de resposta em relação à advecção de calor sensível oriunda de áreas adjacentes (ABOUKHALED; ALFARO; SMITH, 1982; HOWELL; SCHNEIDER; JENSEN, 1991). O lisímetro central possuía bordadura sempre superior a 25 m em qualquer direção, enquanto os demais possuíam ao menos uma das bordas a 19 m do limite da área. Contudo, na direção NE, na qual predominam os ventos ao longo de todo o ano (FIETZ; FISCH, 2008), a extensão da bordadura era superior

a 38 m para todos os lisímetros. A Figura 2 sumariza a direção predominante dos ventos (DPV), compilada a partir dos dados

obtidos em escala horária ao longo do ciclo do milho.

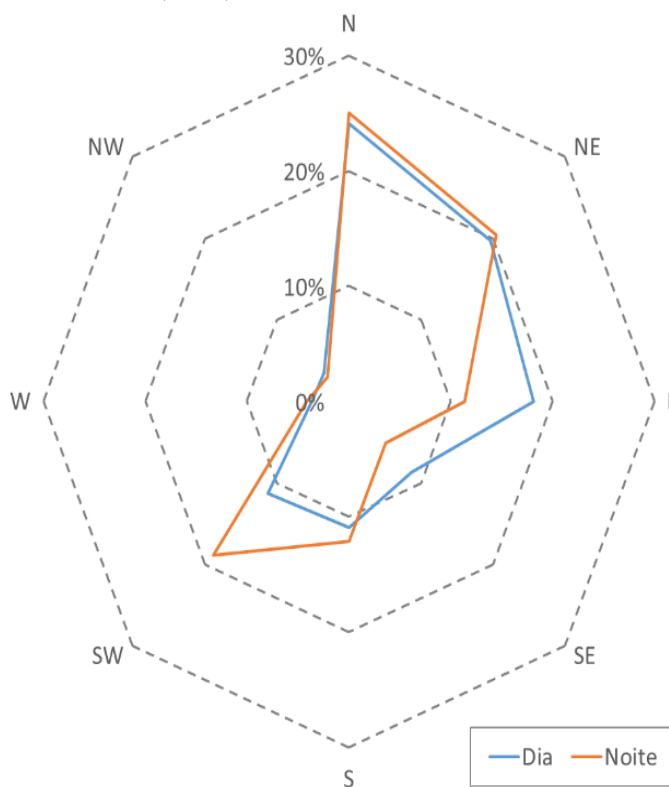
Figura 1. Localização da área experimental e estação meteorológica utilizada. A posição dos lisímetros é indicada por L1 a L3. No detalhe são apresentadas as extensões das bordaduras e a direção predominante dos ventos (DPV) em azul.



Cada um dos três lisímetros utilizados foi construído em um fosso de alvenaria, onde se alocou uma caixa interna de aço carbono com 3,18 mm de espessura. O lisímetro central possuía dimensões ligeiramente diferentes dos demais. Enquanto o lisímetro central apresentou dimensões de 1,35 x 1,54 m, com área evapotranspirante de 2,08 m², os

demais apresentam dimensões de 1,41 x 1,58 m, com área de 2,23 m². Embora essa diferença tenha sido de apenas 7%, é importante considerá-la ao se avaliar o desempenho dos lisímetros na medida da ETc. Outra particularidade é que o lisímetro central apresentava uma profundidade menor, com 0,8 m frente a 1,0 m nos demais.

Figura 2. Direção predominante dos ventos (DPV) com percentual de ocorrência calculado a partir dos valores horários observados durante o ciclo da cultura do milho outono-inverno, em Dourados, MS, safra 2014.



Apesar das pequenas diferenças listadas acima, os três lisímetros empregavam sistema de pesagem idêntico, sendo constituído de uma balança de fabricação comercial dotada de um sistema de alavancas com redução de peso (50:1) acoplado a uma célula de carga blindada tipo “S” com capacidade para 100 kgf de tensão. A construção e calibração desses equipamentos foi realizada de acordo com o estabelecido por Faria et al. (2006) e Fietz et al. (2003), e a automação do processo de coleta foi realizada por um coletor automático de dados (*datalogger*) configurado para leituras a cada seis segundos e médias a cada dez minutos. O procedimento de calibração dessas unidades reportou erro absoluto médio (EAM) inferior a 0,1 mm dia⁻¹. Posteriormente, os dados foram compilados para obtenção de valores diários.

Além dos dados referentes à variação de carga dos dispositivos, foram ainda

coletados os dados de precipitação, além dos demais dados meteorológicos necessários à estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo método Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). Para tanto, utilizou-se a Estação Meteorológica da Embrapa Agropecuária Oeste, localizada a 400 m do experimento e também um pluviômetro instalado na área experimental.

A evapotranspiração da cultura (ET_c) é a principal variável obtida nos conjuntos lisimétricos, sendo empregada no cálculo de coeficientes de cultura (K_c), e constituem um bom indicativo da demanda hídrica das culturas avaliadas, por representar a habilidade da planta e do solo em atender a demanda hídrica imposta pelo ambiente.

A obtenção dos coeficientes de cultura (K_c) seguiram as orientações de Allen et al. (1998), e foram realizadas com base na Equação (1) que relaciona a

evapotranspiração do cultivo em condição padrão (ET_c), obtida da lisimetria de pesagem, e a evapotranspiração de referência (ET_o), estimada pelo método de

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (1)$$

Periodicamente, ao longo do ciclo da cultura, também foram realizadas coletas de plantas para determinação do Índice de Área Foliar (IAF). Nesse procedimento foram coletadas as plantas alocadas em um metro linear do cultivo para determinação planimétrica da área foliar através do *scanner* e integrador automático Li-Cor modelo LI 3100.

Na ocasião da colheita, foram tomadas diversas medidas biométricas do cultivo, dentre elas a altura de plantas, altura de inserção, diâmetro, comprimento e número de fileiras das espigas, peso seco de 100 grãos e produtividade em cada unidade lisimétrica e em três pontos amostrados na área de entorno. À exceção da produtividade avaliada nos lisímetros, que considerou a área total dos lisímetros, todas as demais estatísticas foram realizadas com base em uma amostra de seis plantas. Essas medidas foram tomadas com o intuito de verificar a homogeneidade e coerência das unidades lisimétricas em termos produtivos em relação à verdade de campo, nesse caso considerada como sendo seu entorno. A comparação entre as médias das variáveis biométricas obtidas nos lisímetros e no seu entorno foram avaliadas por meio do teste *t*, pressupondo grupos independentes.

Os dados coletados em cada lisímetro foram utilizados para o cálculo diário da evapotranspiração da cultura (ET_c). Simultaneamente, a evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada pelo método de Penman-Monteith empregando-se os dados meteorológicos provenientes da Estação da Embrapa. Posteriormente, esses dados foram utilizados para o cálculo dos coeficientes de cultura (K_c) da cultura do milho, na escala

Penman-Monteith. O cálculo com base na evapotranspiração de referência (ET_o) permite a transferência de valores de K_c entre distintas condições climáticas.

quinquidial. O uso de escala quinquidial possibilitou a suavização da curva de K_c , especialmente quando houve a ocorrência de chuvas e irrigações, o que gerava variações extremas.

As três séries de coeficientes de cultura obtidas foram por fim comparadas, visando determinar se as diferenças observadas entre as unidades lisimétricas eram significativas. Para tanto, as séries foram analisadas em pares, avaliando-se a correlação entre elas por meio do coeficiente de correlação de Pearson e realizando o teste *t* pareado entre observações. De modo a avaliar se a média das séries poderia ser tomada como uma medida representativa dos três lisímetros, cada série foi testada de forma pareada contra a média novamente por meio do teste *t*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As principais variáveis consideradas na avaliação biométrica do cultivo do milho safrinha encontram-se na Tabela 2, onde são apresentados os dados obtidos separadamente em cada lisímetro, além dos valores médios relativos às três unidades. De modo geral, é possível observar valores absolutos muito similares para as variáveis biométricas avaliadas, sendo que para todas as variáveis foi aceita a hipótese de igualdade de médias com base no teste *t* com nível de confiança de 99% ($p > 0,01$). Portanto, infere-se a homogeneidade de condições entre unidades lisimétricas, que são apresentadas em termos médios na Tabela 3.

Tabela 2. Variáveis biométricas observadas na colheita da cultura do milho, cultivado no período de outono-inverno, em Dourados, MS, durante a safra 2014. As notações L1, L2 e L3 são respectivas aos dados individuais dos três lisímetros utilizados.

Parâmetro	L1	L2	L3	Média
Altura de plantas (cm)	185,3	193,8	182,2	187,1
Altura de inserção de espigas (cm)	93,9	95,3	92,7	93,9
Diâmetro de espiga (cm)	44,5	43,5	46,0	44,7
Comprimento de espiga (cm)	12,4	12,1	13,7	12,7
Número de fileiras de grãos (n)	12,3	12,4	13,1	12,6
Peso seco de 100 grãos (g)	27,7	25,8	26,2	26,6
Produtividade (kg ha ⁻¹)	7330,1	7602,6	8346,7	7759,8

Após a realização de novos testes t, também com nível de confiança de 99%, comparando as observações médias das variáveis obtidas nos lisímetros e em seu entorno, novamente verificou-se não ser possível apontar diferenças entre as médias. O nível de probabilidade (p) associado à significância do teste é apresentado na

Tabela 3. A igualdade entre médias foi aceita sempre que $p > 0,01$. Isso permite inferir que os dados coletados nos lisímetros foram representativos da condição real de campo, considerando-se que as áreas no interior dos lisímetros foram representativas do entorno.

Tabela 3. Teste comparativo de médias (teste t) entre principais variáveis biométricas observadas nos lisímetros e nos seus entornos, na colheita do milho de outono-inverno em Dourados, MS, durante a safra 2014.

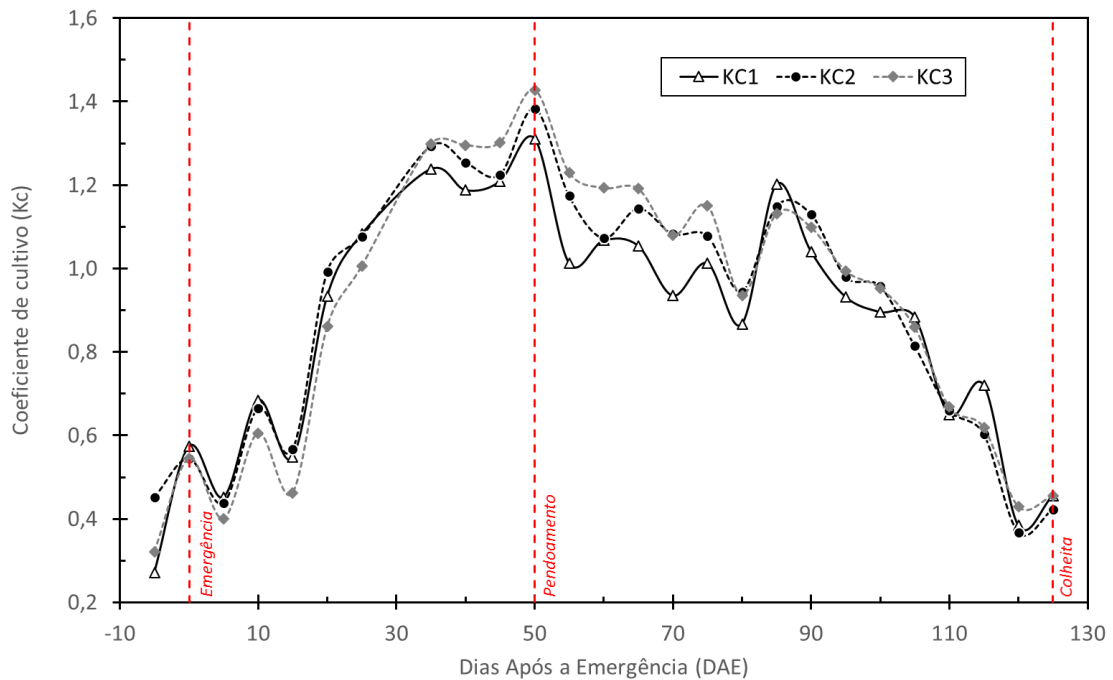
Parâmetro	Lisímetros	Entorno	Diferença (%)	Valor p (Teste t)*
Altura de plantas (cm)	187,11	191,00	-2,0%	0,40
Altura de inserção de espigas (cm)	93,94	98,86	-5,0%	0,03
Diâmetro de espiga (cm)	44,69	44,14	1,2%	0,70
Comprimento de espiga (cm)	12,73	12,04	5,7%	0,43
Número de fileiras de grãos (n)	12,63	11,86	6,5%	0,32
Peso seco de 100 grãos (g)	26,58	28,30	-6,1%	0,08
Produtividade (kg ha ⁻¹)	7759,78	7218,37	7,5%	0,53

*A igualdade entre médias é aceita sempre que $p > 0,01$ para o nível de confiança de 99%.

Uma vez que a análise das variáveis biométricas indicou homogeneidade de condições entre os dispositivos lisimétricos e seu entorno, procedeu-se o cálculo dos coeficientes de cultura separadamente para cada lisímetro, na escala quinquidial. O uso da média de cinco dias foi preferido em relação à escala diária, por considerar que a segunda traria alguns inconvenientes, tais como um maior número de falhas, além de

valores distorcidos nos dias subsequentes às chuvas e às irrigações, especialmente quando da ocorrência desses eventos após uma sequência de dias secos. O uso da escala quinquidial permitiu a suavização das séries, facilitando a interpretação visual dos dados. A Figura 3 apresenta os valores quinquidiais do Kc do milho safrinha, obtidos em cada uma das unidades lisimétricas.

Figura 3. Coeficientes de cultura (Kc) do milho cultivado no período de outono-inverno, na escala quinquidial, obtidos em cada uma das unidades lisimétricas em Dourados, MS.

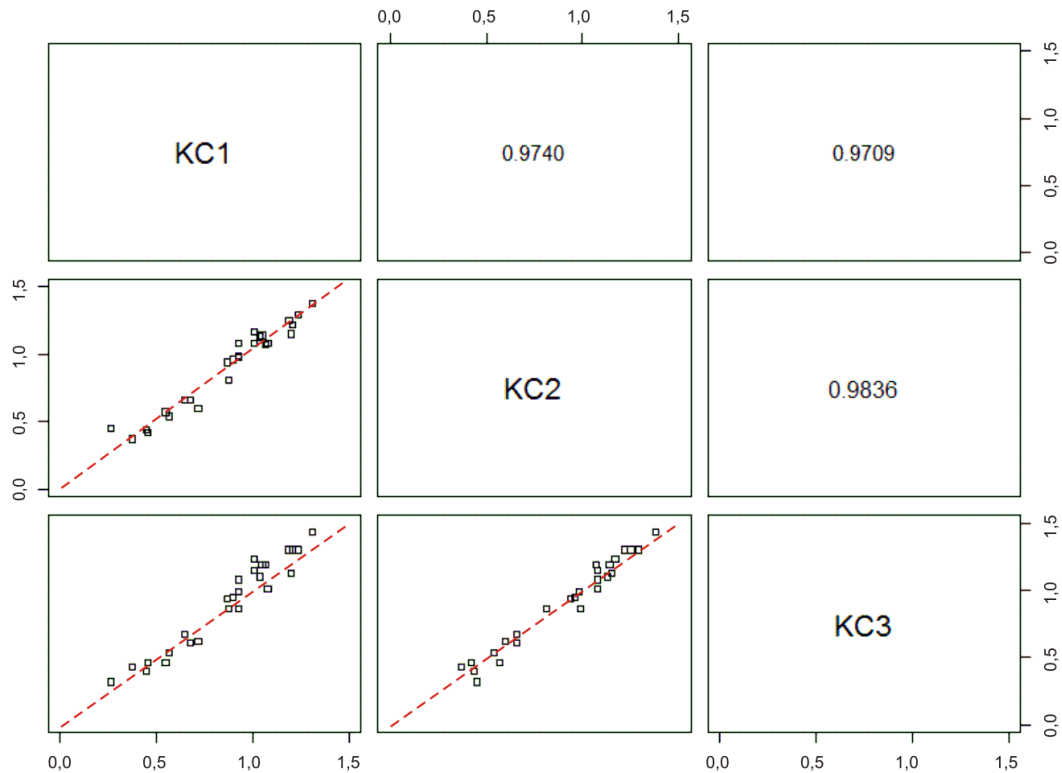


Na Figura 4 nota-se uma grande correlação entre os valores de Kc obtidos a partir da evapotranspiração medida nos diferentes lisímetros (ETc). A alta correlação pode ser evidenciada pelos valores do coeficiente de correlação muito próximos da unidade ($r > 0.97$). Contudo, para evidenciar a similaridade entre os valores de Kc, aplicou-se o teste t para observações pareadas, avaliando-se as diferenças médias produzidas entre as observações. Muito embora existam

estatísticas próprias para a análise de séries temporais, o uso do teste t pareado pode se mostrar efetivo quando se utiliza um número relativamente pequeno de observações, tal como nesta análise ($n = 26$).

Adotando-se o nível de confiança de 99%, foram avaliados os pares KC1-KC2, KC2-KC3 e KC1-KC3, decidindo-se pela não rejeição da hipótese de igualdade de médias em todos os casos, com valor $p > 0,01$.

Figura 4. Correlação entre os coeficientes de cultura (Kc) do milho cultivado no período de outono-inverno de 2014, em escala quinquidial, obtidas em três unidades lisimétricas, em Dourados, MS.



Não foram encontradas diferenças entre as séries pareadas de Kc do milho safrinha, e neste caso, procedeu-se a avaliação para verificar se os valores médios poderiam ser considerados representativos das três unidades lisimétricas. Para tanto, realizou-se novo teste t entre cada série individual e a série média das três unidades lisimétricas. Os três testes resultaram em $p > 0,01$, podendo-se inferir que a série média era de fato representativa das três séries coletadas. Em

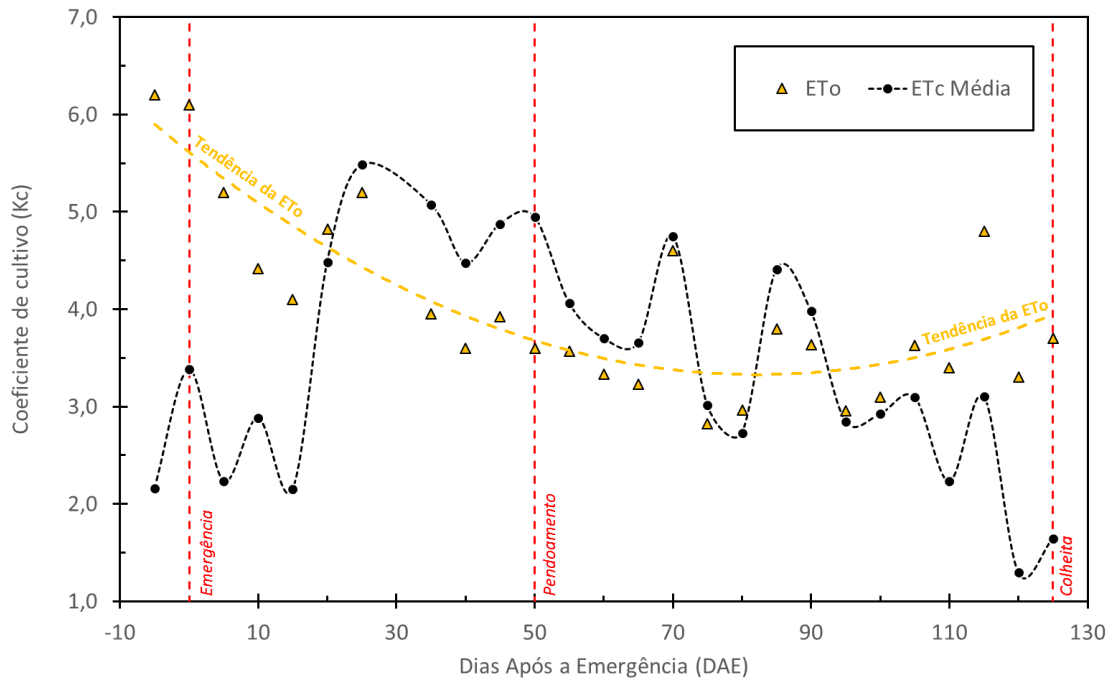
adição ao teste anterior, essa foi mais uma evidência de que as diferenças físicas e estruturais entre as unidades lisimétricas não foram suficientes para promover diferenças significativas nos valores de Kc do milho safrinha. Os valores das variáveis meteorológicas relacionadas ao cálculo do Kc médio são apresentados, em escala quinquidial, na Tabela 4. O comportamento da evapotranspiração de referência (ET_o) e da cultura (ET_c) ao longo do tempo é apresentado na Figura 5.

Tabela 4. Saldo de radiação (Rn), temperatura do ar, evapotranspiração de referência (ETo) e da cultura (ETc) e coeficiente de cultura (Kc), na escala quinquidial, para a cultura do milho outono-inverno, cultivado em Dourados, MS, na safra 2014.

Data	DAE	Rn (MJ dia ⁻¹)	Temperatura Média (°C)*	ETo (mm)	ETc Média (mm)	Kc Médio
14/03/14	0	16,8	26,6	6,1	3,4	0,55
19/03/14	5	14,2	26,3	5,2	2,2	0,43
24/03/14	10	12,9	23,3	4,4	2,9	0,65
29/03/14	15	11,2	24,7	4,1	2,2	0,53
03/04/14	20	13,8	25,7	4,8	4,5	0,93
08/04/14	25	13,9	27,3	5,2	5,5	1,05
13/04/14	30	-	-	-	-	-
18/04/14	35	11,7	22,9	4,0	5,1	1,28
23/04/14	40	11,0	21,4	3,6	4,5	1,25
28/04/14	45	11,3	21,0	3,9	4,9	1,25
03/05/14	50	10,1	23,0	3,6	4,9	1,37
08/05/14	55	10,9	20,1	3,6	4,1	1,14
13/05/14	60	9,7	20,8	3,3	3,7	1,11
18/05/14	65	9,9	21,7	3,2	3,7	1,13
23/05/14	70	9,8	24,4	4,6	4,7	1,03
28/05/14	75	9,4	15,4	2,8	3,0	1,08
02/06/14	80	8,9	16,3	3,0	2,7	0,92
07/06/14	85	6,2	25,6	3,8	4,4	1,16
12/06/14	90	8,6	22,5	3,6	4,0	1,09
17/06/14	95	8,4	20,8	3,0	2,8	0,97
22/06/14	100	8,5	19,5	3,1	2,9	0,94
27/06/14	105	8,8	20,6	3,6	3,1	0,85
02/07/14	110	9,0	21,1	3,4	2,2	0,66
07/07/14	115	9,2	22,7	4,8	3,1	0,65
12/07/14	120	9,5	19,6	3,3	1,3	0,39
17/07/14	125	9,4	21,2	3,7	1,6	0,44

DAE - dias após a emergência; Rn - saldo de radiação; ETo – evapotranspiração de referência; ETc – evapotranspiração da cultura (média de três lisímetros). OBS: (1) Data é relativa ao dia central de cada período de cinco dias; (2) Os valores médios consideraram apenas os dias, em cada período, com observações válidas da evapotranspiração da cultura nos lisímetros; (3) O quinquídio de 13/04/2014 correspondeu a um período de chuvas e drenagens no qual, foram perdidas todas as observações diárias.

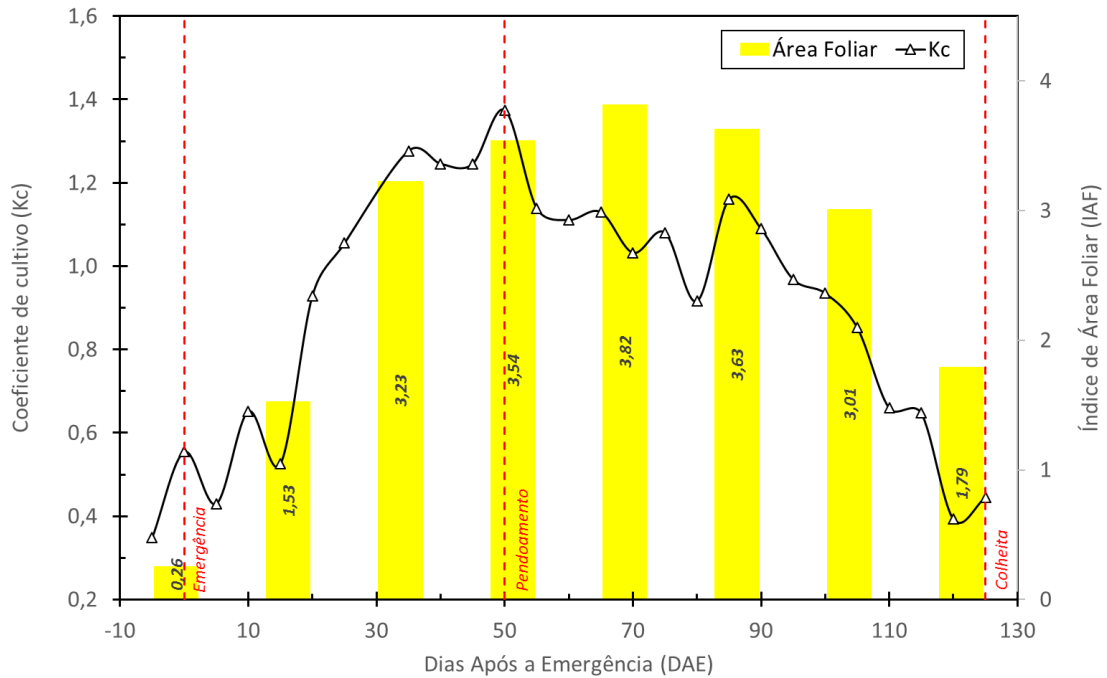
Figura 5. Evapotranspiração de referência (ETo) e evapotranspiração da cultura do milho (ETc), durante o período de outono-inverno de 2014, em Dourados, MS. Os valores de ETo e ETc se referem às médias quinidiais.



Uma vez que as diferenças entre os lisímetros foram desconsideradas, a etapa seguinte consistiu em avaliar a evolução dos coeficientes de cultura ao longo do ciclo da cultura. Nesse processo, os valores de Kc médios foram relacionados aos valores do índice de área foliar (IAF) da cultura do

milho, obtidos em oito coletas ao longo do ciclo (Figura 6). Foi notável o decréscimo dos valores de Kc após o pendoamento do milho, quando seria esperada a manutenção de altos valores frente à expressão do máximo IAF (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2009).

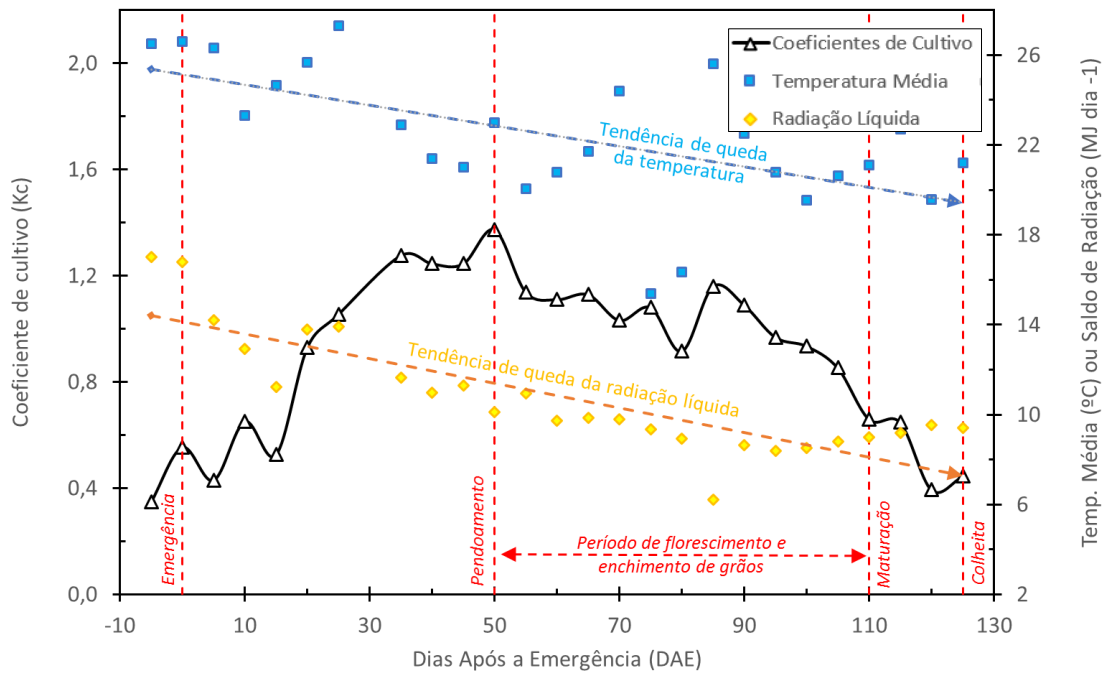
Figura 6. Coeficiente de cultura (Kc) médio e índice de área foliar (IAF) do milho ao longo do ciclo, no período de outono-inverno de 2014, em Dourados, MS.



O decréscimo observado nos valores de Kc na fase reprodutiva parece estar relacionado aos decréscimos de temperatura e a radiação líquida, o que é normal para o período de outono. Constatou-se que a sequência de queda só foi revertida justamente após o solstício de inverno, em 22 de junho, quando era esperado que os valores dessas variáveis voltassem a crescer. Nessa época, a cultura se encontrava com 99 DAE. Temperatura e a radiação líquida são variáveis que

reconhecidamente interferem nos processos fisiológicos da cultura do milho, evapotranspiração e produção de biomassa (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2009). A Figura 7 relaciona a tendência de queda observada nos valores de Kc a partir do pendamento, assim, com a tendência de queda na temperatura do ar e no saldo de radiação, o que obviamente limitou a manutenção do índice de área foliar na faixa mais elevada, aproximadamente igual a 4, mesmo com a cultura sendo irrigada.

Figura 7. Coeficientes de cultura (K_c) quinquidiais, saldo de radiação (R_n) e temperatura média do ar (T) observados ao longo do ciclo da cultura do milho cultivado no período de outono-inverno de 2014, em Dourados, MS.



Os maiores valores de K_c seriam esperados por ocasião do pendoamento e na ocorrência do máximo IAF (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2009). Sendo assim, conforme aponta a literatura, deveria haver certa estabilidade nos valores de K_c durante a fase reprodutiva, decrescendo lentamente a partir daí, com a senescência das folhas inferiores. Contudo, é usual reportar um único valor de K_c para essa fase, presumindo, portanto, a manutenção de um patamar durante essa fase. Todavia, é necessário ressaltar que a grande maioria dos trabalhos disponíveis na literatura se referem ao milho cultivado no verão, período em que se poderia supor a ocorrência de temperaturas e saldo de radiação estáveis ao longo do ciclo da cultura.

No caso do milho de outono-inverno, há uma situação distinta, como se pode observar na Figura 7. Embora fosse esperado que a demanda hídrica tornasse potencialmente maior e estável na fase reprodutiva, foram observados valores

decrecentes de K_c , podendo-se inferir que a necessidade hídrica da cultura não pode ser plenamente satisfeita, em alguns períodos, com o manejo de irrigação adotado.

A Figura 5 auxilia o entendimento do processo de queda dos coeficientes de cultura (K_c). Nela é possível verificar a queda concomitante tanto da evapotranspiração de referência (E_{To}) quanto da evapotranspiração da cultura (E_{Tc}). Todavia, a queda se mostra menos acentuada na E_{To} , enquanto para a E_{Tc} a queda é mais expressiva, especialmente entre 55 e 80 DAE.

Apesar do problema reportado acima, os valores de iniciais de K_c estão coerentes com os valores reportados por Bergamaschi e Matzenauer (2009). Enquanto nesse trabalho foram obtidos valores de 0,54 na fase inicial do cultivo (0-15 DAE) e 1,37 na fase de pendoamento (50 DAE); os autores apresentam dados com valores de 0,50 na fase inicial e de 1,20 na

fase de pendoamento, os quais evoluem para valores de até 1,4 na fase reprodutiva. Por outro lado, os valores de Kc de 0,80 e 0,40 obtidos na maturação fisiológica (110 DAE) e colheita (125 DAE) são notadamente inferiores.

Nas condições do presente estudo, o consumo hídrico potencial, calculado para esse cultivo durante todo seu ciclo, foi de 475 mm, estando dentro do intervalo apresentado por Doorenbos e Kassam (1994), que é de um consumo médio de 410 a 610 mm, dependendo da cultivar, do ciclo e das condições meteorológicas ao longo deste.

6 CONCLUSÕES

Apesar das ligeiras diferenças entre os lisímetros, as unidades se equivalem estatisticamente, viabilizando seu uso em estudos comparativos de demanda hídrica.

Eventuais discrepâncias podem ser consideradas como decorrentes da fonte de variação considerada (genótipos, população de plantas e manejo) e não das diferenças físicas e estruturais das unidades lisimétricas.

A demanda hídrica do milho no outono-inverno apresentou comportamento próprio, distinto do milho cultivado no verão, havendo decréscimo nos valores do coeficiente de cultivo (Kc) na fase reprodutiva, devido às condições meteorológicas (temperatura e radiação solar) vigentes nesse período.

Apesar da redução dos valores de Kc no período entre 55 e 80 DAE, os valores obtidos para as diferentes fases da cultura se mostraram compatíveis com a literatura, atingindo 0,54, 1,37, 0,80 e 0,40, respectivamente, para as fases inicial do cultivo, pendoamento, maturação fisiológica e final do ciclo.

7 REFERÊNCIAS

- ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. **Lysimeters**. Rome: FAO, 1982. 68p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 39).
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and drainage paper, 56).
- BERGAMASCHI, H. MATZENAUER, R. Milho. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Instituto Nacional de Meteorologia, p. 237-260, 2009.
- CAMPECHE, L. F. M. S; AGUIAR NETTO, A. O.; SOUSA, I. F.; FACCIOLI, G. G.; SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V. Lisímetro de pesagem de grande porte. Parte I: Desenvolvimento e calibração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 519–525, 2011.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

FARIA, R. T. de; CAMPECHE, F. de S. M.; CHIBANA, E. Y. Construção e calibragem de lisímetros de alta precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 237-242, 2006.

FIETZ, C. R.; SILVA, F. C. da; URCHEI, M. A. Instalação e calibração de lisímetros de pesagem para medida da evapotranspiração de culturas anuais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13, 2003, Santa Maria, RS. Situação atual e perspectivas da agrometeorologia: **Anais...** Santa Maria, RS: UNIFRA: SBA: UFSM, 2003. p.411-412.

FIETZ, R. C.; FISCH, G. F. **O Clima da Região de Dourados, MS**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 32p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 92).

HOWELL, T. A., SCHNEIDER, A. D., JENSEN, M. E. History of lysimeter design and use for evapotranspiration measurements. In ALLEN, R. G., HOWELL, T. A., PRUITT, W. O. (Eds.), **Proceedings of the International Symposium on Lysimetry: Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements**, July 23-25, 1991, Honolulu, Hawaii. American Society of Civil Engineers, New York City, NY. 1991.

IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. [Rio de Janeiro, 2009?]. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/brasil_2006/Brasil_censoagro2006.pdf>. Acesso em: 13 set. 2015.

IBGE. **Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA**: Banco de Dados Agregados: Produção Agrícola Municipal: Brasil e Mato Grosso do Sul. [Rio de Janeiro, 2014?]. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo9.asp>>. Acesso em: 03 nov. 2014.

WALTER, I. A.; SIEMER, E.; DIRKS, L. R.; QUINIAN, J. P.O.; BURMAN, R. D.. Lysimeters vs. buffer areas: evapotranspiration and agronomic comparisons. In ALLEN R G, HOWELL T A, PRUITT W O, et al. (Eds.), **Proceedings of the International Symposium on Lysimetry: Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements**, July 23-25, 1991, Honolulu, Hawaii. American Society of Civil Engineers, New York City, NY. 1991.

WRIGHT, J. L. Using weighing lysimeters to develop evaporation crop coefficients. In ALLEN R G, HOWELL T A, PRUITT W O, et al. (Eds.), **Proceedings of the International Symposium on Lysimetry: Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements**, July 23-25, 1991, Honolulu, Hawaii. American Society of Civil Engineers, New York City, NY. 1991.