

Influência da uniformidade de aplicação de água e da lâmina de irrigação na produção da cultura do milho

Paulo Sérgio Lourenço de Freitas^{1*}, Everardo Chartuni Mantovani², Gilberto Chohaku Sedyama² e Luiz Cláudio Costa²

¹Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil.

²Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Av. P. H. Rolfs S/N, 36571-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. *Autor para correspondência.

RESUMO. Avaliaram-se, no experimento, os efeitos de duas uniformidades, uma alta (> 80%) e a outra baixa (<70%), com o coeficiente de uniformidade de Christiansen de aproximadamente 82 e 67%, respectivamente, na aplicação da lâmina de água por meio de um sistema de irrigação por aspersão convencional e cinco lâminas de água na cultura do milho, *Zea mays* L. (Poaceae). O tratamento com a lâmina de água adequada foi denominado de L₁, e os demais, L₂, L₃, L₄ e L₅, receberam lâminas de água relativas ao tratamento L₁, da seguinte forma: 50, 75, 125 e 150%, respectivamente. A semeadura foi realizada no dia 17 de maio e a colheita, no dia 23 de novembro de 1999. Utilizou-se o cultivar BR 201. A uniformidade de aplicação de água, 84 e 67%, para os tratamentos L1A e L1B, respectivamente, influenciou a produtividade da cultura do milho, sendo estas de 6.360 e 4.675 kg . ha⁻¹, respectivamente.

Palavras-chave: uniformidade de aplicação de água, lâmina de irrigação, cultura do milho.

ABSTRACT. Maize cropping yield as affected by the water uniformity application and depth irrigation. An experiment was installed in the field in order to evaluate the effect from water application uniformity in maize crop, *Zea mays* L. (Poaceae). The treatments consisted of five water depth applied at two water application uniformities: one high (> 80%) and another low (<70%), with Christiansen coefficient about 82 and 67%, respectively. Sprinkler-lateral system was used by depth water application. The treatment with the adequate net water depth application for the seven days irrigation interval was called L₁, the other treatments L₂, L₃, L₄ and L₅ were applied at the percentage of 50, 75, 125 and 150% of the L₁, respectively. The sowing was performed from May 17 to November 23, 1999. The cultivar BR 201 was used. The water application uniformity of 84 and 67%, for the treatments L1A and L1B, respectively, affected the crop yield, where the average maize seed yield was 6360 e 4675 kg . ha⁻¹, respectively.

Key words: application uniformity, water depth, maize crop.

Introdução

A água é um dos principais fatores de produção na agricultura, e cada espécie de planta necessita de um adequado nível de água no solo para que suas necessidades fisiológicas sejam atendidas. Se a quantidade de água aplicada na irrigação das culturas for determinada pelo critério da maximização de lucros, em detrimento da maximização da produção, considerável quantidade de água poderia ser economizada (Letey *et al.*, 1984). Nenhum sistema de irrigação é capaz de aplicar água com perfeita uniformidade, e, para aumentar o grau da uniformidade de aplicação, são necessários investimentos, para aquisição de sistemas mais

eficientes ou para adequação do sistema existente e, ainda, para cobrir o custo de mão-de-obra, para o manejo de irrigação.

Quando o fator água não é limitante, tem-se compensado a desuniformidade de aplicação de água com aplicações de quantidades superiores às necessárias se a aplicação fosse uniforme, com o objetivo de permitir que apenas pequenas áreas do campo apresentem déficit hídrico (Walker, 1979).

Alguns desuniformidade de aplicação de água deve ser tolerada para os sistemas de irrigação. Vários autores (Howell, 1964; Walker, 1979; von Bermuth, 1983; Clemens, 1988; Duke *et al.*, 1992; Rezende *et al.*, 1998) avaliaram a relação entre a uniformidade de aplicação de água e os parâmetros de desempenho

de sistemas de irrigação, ou variabilidade da produtividade das culturas.

A aplicação de água por um sistema de irrigação sempre apresenta um grau de desuniformidade. A variação na umidade do solo é dependente da distribuição e da quantidade de água aplicada. Intuitivamente, sabe-se que a distribuição de água em todo o ciclo da cultura será mais uniforme que a média das distribuições individuais e que as variações na direção do vento no período das irrigações poderão causar altas e baixas aplicações nas áreas, cancelando o efeito umas das outras e resultando em um menor desvio das médias das aplicações (Warrick et al., 1983).

Eficiência de irrigação

A eficiência de aplicação de água é a razão entre a água média armazenada na zona radicular e a água aplicada. Ela é somente um indicativo das perdas que ocorrem durante a aplicação da água, exprimindo a fração de água aplicada, armazenada na zona radicular, que está disponível para as plantas. Assim, a eficiência de aplicação exprime parte do processo, pois não considera a forma como a água foi distribuída na área irrigada, ou seja, a uniformidade de aplicação.

O conceito de eficiência de irrigação incorpora a eficiência de aplicação e os efeitos da uniformidade de aplicação de água, representando, de maneira adequada, as imperfeições do processo de aplicação de água nas culturas. Keller e Bliesner (1990) propuseram uma metodologia de cálculo da eficiência de irrigação o que considera a uniformidade de aplicação de água, as perdas por evaporação e o arraste das gotas de água pelo vento.

Uniformidade de irrigação

A uniformidade espacial da água de irrigação aplicada em uma dada cultura influencia a produção. Cada período de irrigação apresenta um grau de desuniformidade, que depende da forma como a água é aplicada no solo, da topografia, do "layout", da velocidade do vento e de outras características variáveis. Portanto, o conhecimento do efeito da uniformidade de irrigação na produção das culturas é essencial para selecionar o período de irrigação e suas especificações de projeto, manejo e avaliação econômica (Wallach, 1990).

A uniformidade de distribuição é definida como uma medida por meio da qual a água de irrigação é distribuída em diferentes áreas, em um campo. A uniformidade de distribuição é expressa em termos de água infiltrada após a irrigação, desconsiderando a água interceptada pela cultura e a

evaporação durante a irrigação, o que é mais importante para as condições em que as irrigações são realizadas com alta frequência e com aplicações de pequenas lâminas. A definição de uniformidade de distribuição deve ser universal, para que possa ser aplicada para todas as culturas, e esta deveria incorporar os conceitos de elemento, que é definido como a menor porção de uma área na qual a variação da distribuição não é importante, e o elemento de escala (Burt et al., 1997).

Embora o fator de escala afete o coeficiente de uniformidade, a escolha é geralmente arbitrária. Se uma planta individual tem um extenso sistema radicular horizontal, por exemplo, os citros, é óbvio que o coeficiente de uniformidade obtido com uma pequena escala pode não considerar a efetiva uniformidade, portanto a escala deveria ser considerada como sendo a projeção horizontal do sistema radicular (Seginer, 1979; Cogels, 1983).

Existem vários coeficientes para expressar a uniformidade de aplicação de água por sistemas de irrigação e por aspersão, com base em dados obtidos em coletores adequadamente dispostos no campo. O coeficiente proposto por Christiansen é um dos mais utilizados para quantificar a uniformidade de aplicação de água por um sistema de irrigação do tipo convencional, sendo expresso pela seguinte equação:

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - X_m|}{n X_m} \right] \quad (1)$$

em que

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %;

n = número de coletores na área entre quatro emissores;

X_i = água média coletada no i ésimo coletor, em mm; e

X_m = valor médio das águas médias coletadas, em mm.

O coeficiente de uniformidade de Christiansen é uma medida da dispersão da água aplicada por um sistema de irrigação, não apresentando um significado físico. Solomon (1984) apresentou uma metodologia para relacionar a produção com a uniformidade de irrigação para algumas culturas.

O CUC é pouco sensível, em razão de ele utilizar, como medida de dispersão, o desvio absoluto das águas médias aplicadas (média aritmética do valor absoluto das diferenças da água coletada em cada pluviômetro e a média das águas coletadas). Diferentes distribuições de água podem

produzir valores de CUC iguais (Klar, 1991). Frizzone (1992) relatou que nenhum dos coeficientes de uniformidade propostos como alternativa ao CUC apresentou vantagens significativas em relação a ele.

Tradicionalmente, um CUC de 80% ou mais é adotado como critério de projeto (Bernardo, 1995). Entretanto, em um contexto em que a água é fator limitante, o nível de uniformidade torna-se variável, em vez de um critério, e sua magnitude seria a função dos custos e das expectativas de receita. Von Bernuth (1983) desenvolveu um método para determinar a uniformidade ótima de projeto, quando o fator água é limitante, e apresentou um exemplo para cultura do milho com CUC entre 50 e 95%. O autor observou que o coeficiente de uniformidade aumentou com o valor do produto e com a lâmina diária aplicada.

Walker (1979) apresentou uma metodologia para determinar a área adequadamente irrigada. Para isto, propôs um coeficiente que foi denominado de (Δ) e que expressa a diferença entre a lâmina diária aplicada e a lâmina diária requerida. Para o valor de $\Delta = 0$, a lâmina diária aplicada é igual à lâmina requerida, portanto em 50% da área ocorre a percolação da água e nos outros 50% ficou lúdrico.

Efeito da uniformidade de aplicação da água na produtividade das culturas

Mateos *et al.* (1997) avaliaram a resposta da cultura do algodão à desuniformidade de aplicação da água e a duas lâminas de irrigação. No tratamento de reposição total da lâmina, foram aplicados 400 e 260 mm de água, tendo os coeficientes de uniformidade de Wilcox e Swailes sido de 90 e 67%, para alta e baixa uniformidade, respectivamente. No entanto, não houve diferença significativa entre os tratamentos de lâmina e o coeficiente de uniformidade, quando analisaram a produtividade da cultura, que foi em média de 2.349 kg ha⁻¹. Os autores relataram que as razões para a não observação das diferenças foram o plantio tardio e as baixas temperaturas durante o ciclo da cultura. Eles observaram diferenças significativas para o IAF (índice de área foliar), para as duas lâminas de irrigação, porém não houve diferença significativa para as duas uniformidades, em nível de 5%.

O efeito da uniformidade de irrigação na produção das culturas é um importante fator a ser considerado em projetos de irrigação por aspersão. Vários modelos relacionam a uniformidade de irrigação e a produção de uma determinada cultura. Mantovani *et al.* (1995) desenvolveram um modelo de função de produção, denominado Combinado, que

considera a influência da uniformidade de aplicação da água na produção. Esses autores observaram que a lâmina de água necessária para obter a produtividade máxima aumenta com a diminuição da uniformidade de aplicação; para obter a mesma produtividade necessária para aplicar 500, 700 e 1000 mm para valores de CUC de 95, 75 e 55%, respectivamente. Outros autores relatam também que, conforme o coeficiente de uniformidade, o nível de irrigação depende da relação entre o preço do produto e o da água. Li (1998) apresentou um modelo que relaciona a produção ao índice de evapotranspiração a partir de uma função de produção. As simulações realizadas mostraram que a quantidade ótima de irrigação depende da uniformidade de aplicação da água e dos fatores econômicos, decrescendo com a uniformidade, mas aumentando com a razão do preço do produto e da água. Seginer (1978) desenvolveu um modelo que gerou um diagrama da uniformidade de distribuição da água, por um sistema de irrigação por aspersão, e do preço da água como fatores que podem ser utilizados para determinar a lâmina ótima aplicada e o retorno econômico para uma cultura. O diagrama é baseado em uma simplificada forma de função de produção e de distribuição da água.

Ayars *et al.* (1991) avaliaram a resposta da cultura do algodão, a desuniformidade de aplicação da água e a variação da lâmina de irrigação. As avaliações do índice de área foliar, da altura da planta e da matéria seca total mostraram resposta à desuniformidade de aplicação da água, para os tratamentos de irrigação de 0,7, 0,9 e 1,1 ETc. Para o tratamento de 1,3 ETc, o excesso de água inibiu o efeito do tratamento de uniformidade.

No presente trabalho, objetivou-se avaliar a influência de duas uniformidades de aplicação da água e de cinco lâminas de irrigação na produção da cultura do milho, *Zea mays* L. (Poaceae), cultivar BR 201, utilizando um sistema de aspersão convencional, no período de inverno.

Material e métodos

O estudo foi conduzido na Estação Experimental de Coimbra, do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, localizada no município de Coimbra, Estado de Minas Gerais, no ano de 1999, em solo do tipo ARGILOSSO VERMELHO-AMARELO, cujas coordenadas geográficas são: latitude de 20° 51' S, longitude de 42° 47' W e a altitude 720 m.

Dados de solo

Para a realização das análises dos parâmetros físicos e químicos do solo, como densidade aparente,

e granulometria do solo, foram retiradas amostras a cada 20 cm, até a profundidade de 80 cm (Tabela 1).

O limite superior de água no solo foi determinado em campo, utilizando a metodologia descrita por Bernardo (1995), e os valores obtidos foram de 0,426 e 0,45 m³ . m⁻³, para as camadas de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente, e o limite inferior de água disponível foi assumido como sendo umidade correspondente a - 1500 kPa. Os valores obtidos foram 0,30 e 0,32 m³ m⁻³, respectivamente.

Tabela 1. Análise granulométrica

Camada (cm)	Areia Grossa (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)
0 - 20	08	03	18	71
20 - 40	05	03	06	86
40 - 60	02	02	27	69
60 - 80	02	01	39	58

Esquema experimental

O experimento de campo foi instalado de acordo com o esquema apresentado na Figura 1. As parcelas apresentaram dimensões de 12 m de largura e 36 m de comprimento. Os dados para a análise foram obtidos em áreas em torno dos coletores instalados nas parcelas. No tratamento denominado de L1A foi aplicada uma lâmina de água suficiente para elevar a umidade do solo, determinada antes da irrigação, até atingir a umidade de capacidade de campo. A lâmina de água aplicada no tratamento L1A será doravante denominada de lâmina de água adequada. As lâminas aplicadas nos demais tratamentos foram determinadas a partir do L1A. Nos tratamentos L2A, L3A, L4A e L5A, foram aplicados 50, 75, 125 e 150% da lâmina adequada, com uniformidade maior que 80%, respectivamente. L1B, L2B e L3B correspondem a 50, 75 e 100%, respectivamente, da lâmina aplicada em L1A, com uniformidade menor que 70%. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, e os tratamentos constaram de cinco lâminas e de duas uniformidades de irrigação (CUC): alta (>80%) e baixa (<70%). Para análise estatística do experimento, fez-se a seguinte consideração aos tratamentos L1A, L1B, L2A, L2B e L3B apresentaram três repetições, com nove coletores de água, totalizando 27 coletores. Para os outros tratamentos, L3A, L4A e L5A, foram realizadas três repetições, com três coletores cada, totalizando nove coletores. Para a análise estatística, considerando todos os tratamentos, considerou-se apenas o bloco 3, dos tratamentos com 27 coletores (Figura 1).

Nos tratamentos de alta uniformidade, os aspersores foram dispostos nos quatro cantos da parcela, com um ângulo de giro do aspersor de 180°, e nos de baixa uniformidade estes foram colocados em uma das diagonais da parcela, com ângulo de

giro de 90°. Para obter a uniformidade de irrigação em torno de 67%, foi necessário atuar no defletor do jato de água do aspersor, com o objetivo de fracionar o jato para que o seu alcance, em um dos aspersores, fosse reduzido, a fim de que ele atingisse apenas um número de coletores da parcela, enquanto o jato de água do outro aspersor, localizado na diagonal oposta, atingisse todos os coletores. Desta forma, os coletores próximos ao aspersor, com defletor ajustado, recebiam lâminas de água superiores às dos demais. Na irrigação seguinte, retornou-se o defletor do aspersor para a posição normal e ajustou-se o defletor do aspersor da diagonal oposta, fazendo com que a cada duas irrigações determinadas áreas dentro da parcela recebessem uma lâmina muito superior à adequada. Foram utilizados aspersores da marca NAAN, modelo 427, setorial, com bocal de 3,5 mm e com pressão de serviço de 285 kPa; nestas condições, o aspersor apresentava uma vazão de 0,68 m³ h⁻¹. As irrigações foram realizadas antes do amanhecer, por causa dos fortes ventos ocorridos no local.

Lâmina de irrigação

As irrigações foram realizadas semanalmente. A lâmina a ser reposta ao solo foi calculada mediante o uso da umidade diária, nas camadas de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm, obtida com sonda de rítrons, em três pontos, por meio de tubos de acesso instalados na parcela L1A. Em todas as parcelas foram instalados tubos de acesso da sonda; nos tratamentos de alta uniformidade foram instalados três tubos na diagonal da parcela (Figura 1), enquanto nos tratamentos de baixa uniformidade foram instalados nove tubos de acesso. A profundidade radicular da cultura foi estimada com o uso do perfil de extração de água.

A lâmina de água a ser reposta ao solo, em cada irrigação, foi determinada pela equação:

$$L = \frac{(CC - UA)}{10} Z \quad (2)$$

em que

L = lâmina de água aplicada em cada irrigação, em mm;

CC = capacidade de campo (% vol);

UA = umidade do solo no perfil explorado pelas raízes da cultura (%vol); e

Z = profundidade do sistema radicular, cm.

A umidade do solo foi determinada no final do dia anterior às irrigações, a partir das leituras realizadas com uma sonda de rítrons, modelo

CPN 503, nos pontos com os tubos de acesso (Figura 1)

A lâmina bruta aplicada foi calculada mediante o uso da eficiência potencial de aplicação, estimada a partir de irrigações realizadas anteriormente, para condições aproximadas ao horário das irrigações. A partir deste valor calculou-se a lâmina bruta a ser aplicada, e esta era monitorada por meio de hidrômetro, previamente calibrado em laboratório, com capacidade de $30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, instalado na tubulação principal (Figura 1).

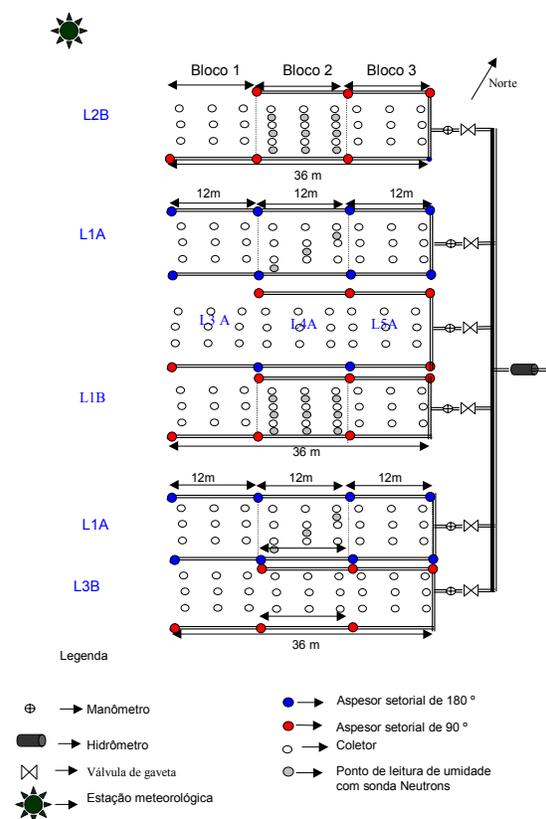


Figura 1. Esquema do sistema de irrigação instalado na área experimental

A pressão foi medida com um manômetro mecânico, cuja escala de medida variava de 0 a 475 kPa, instalado na entrada da linha lateral. A pressão foi regulada por meio de uma válvula de gaveta instalada na entrada da parcela. O volume aplicado foi calculado a partir da lâmina de água a ser reposta ao solo, em cada tratamento. O volume a ser aplicado em cada tratamento era função do percentual da lâmina de água a ser aplicada no tratamento L1A. Após atingir o volume aplicado nos tratamentos de menor lâmina de água, isto é, L2A e L2B, que corresponde a 50% da lâmina de água do

tratamento L1A, fechou-se a válvula de gaveta, e o volume foi novamente calculado, para completar a irrigação nos outros tratamentos.

Cálculo do coeficiente de uniformidade de Christiansen

Para calcular o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), foram dispostos nove coletores em cada repetição de cada tratamento. Após as irrigações, as lâminas precipitadas em cada coletor foram medidas com o auxílio de uma proveta graduada. Os coletores foram inicialmente colocados a uma altura de 1 m e o aspersor, a 1,2 m, em relação ao solo; após 80 DAS (dias após sementeira), os coletores foram elevados para a altura de 1,8 m e o aspersor, para 2,2 m.

Cálculo da área adequadamente irrigada

A área adequadamente irrigada foi calculada com as médias das lâminas de água coletadas nos coletores dispostos nos tratamentos, durante o ciclo da cultura. Determinou-se a relação entre as lâminas de água coletadas em cada coletor (L_i), para os tratamentos, e a lâmina de água adequada aplicada no tratamento (L_m). Em seguida, calculou-se a distribuição de frequências desta relação e plotaram-se os gráficos de área e lâmina relativa.

A colheita do experimento foi realizada a partir do dia 23 de novembro de 1999, época em que a cultura atingiu a maturidade fisiológica. Foram colhidas cinco plantas em torno do coletor, representando uma área de 1 m^2 . Elas foram levadas para o laboratório, onde foram separados os grãos, a palha da espiga, o sabugo, o colmo e as folhas, que foram, então, levados para uma estufa ventilada, para determinação da matéria seca.

Resultados e discussão

Efeitos do clima

As temperaturas baixas durante o ciclo da cultura (Figura 2) fizeram com que esse tivesse uma duração de aproximadamente 183 dias, enquanto para o período de verão ele foi de aproximadamente de 144 dias. As precipitações pluviárias, ocorridas durante o ciclo da cultura (Figura 3), não afetaram os resultados do experimento, pois elas se concentraram na época em que os grãos estavam na fase do farinheo. O total precipitado durante o ciclo da cultura foi de 265 mm.

Lâminas aplicadas em cada coletor e produtividade

As lâminas de água aplicadas nos tratamentos, as produtividades da cultura do milho nas áreas em

torno dos coletores e a relação das lâminas de água líquidas aplicadas para os tratamentos L1A e L1B são apresentadas nas Figuras 4 e 5. Doravante, a lâmina de água líquida aplicada será denominada de lâmina de água, pois as lâminas de água mencionadas no texto foram todas coletadas nos recipientes dispostos nos tratamentos.

As lâminas de água aplicadas nos tratamentos L1A e L1B são apresentadas nas Figuras 4 e 5, respectivamente. As discrepâncias entre as lâminas de água, Figura 5 (A), proporcionaram uma variabilidade na produtividade da cultura do milho no tratamento, Figura 5 (B), em razão da baixa uniformidade de aplicação de água, que apresentou uma área adequadamente irrigada de aproximadamente 55%. Apesar deste baixo valor de área adequadamente irrigada e da aplicação da lâmina com um CUC de 67%, que é a média dos CUC das irrigações realizadas durante o ciclo da cultura, a produtividade foi de 4.675 kg ha⁻¹. Já no tratamento L1A, em que o CUC médio foi de 84% e a área adequadamente irrigada de aproximadamente 88%, a produtividade da cultura do milho foi de 6.384 kg ha⁻¹. Observa-se que para as lâminas de água de maiores magnitudes em determinado coletor existe uma relação positiva com a produtividade no tratamento L1B (Figura 5), o que não ocorreu no tratamento L1A. O efeito das lâminas na produtividade foi menor no tratamento com maior uniformidade, L1A (Figura 4).

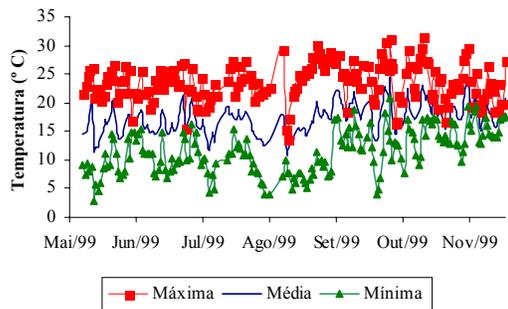


Figura 2. Temperaturas diárias, máximas e mínimas ocorridas durante o ciclo da cultura

No tratamento L1B, a disposição dos aspersores nas diagonais das parcelas e a regulagem do deflector do aspersor, com o objetivo de fracionar o jato de água, concentraram a lâmina de água nas áreas próximas dos aspersores, o que permitiu obter uma variabilidade entre as lâminas de água e, consequentemente, uma variabilidade na produtividade da cultura, Figura 5 (A), dentro do tratamento. Houve a alternância de aplicações de lâminas de água excessivas nas áreas próximas aos

aspersores, a cada irrigação, em um intervalo de 14 dias, as quais recebiam uma lâmina de água muito superior à necessária. Considerando as áreas em torno dos coletores próximos aos aspersores, a produtividade da cultura do milho foi de 5.378 kg . ha⁻¹, o que representa um aumento de 703 kg . ha⁻¹, quando comparado com a média geral do tratamento. No tratamento L1A, as lâminas de água aplicadas apresentaram uma variabilidade baixa, quando comparada com a do tratamento L1B, mas a despeito da baixa variabilidade da lâmina de água no tratamento, Figura 4 (A), a produtividade da cultura apresentou alguma variabilidade, devendo ser ressaltado que a maior produtividade obtida, nas áreas em torno dos coletores, não foi na área em torno do pluviômetro que recebeu a maior lâmina de água.

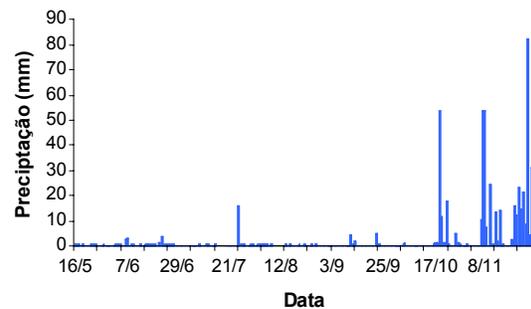


Figura 3. Precipitação ocorrida durante ciclo da cultura

A lâmina de água aplicada por um sistema de irrigação por aspersão apresenta uma distribuição normal, para valores de CUC superiores a 60%, (Walker, 1979; Keller e Blisner, 1990), mas os resultados obtidos mostram que a distribuição das lâminas de água segue a distribuição normal, porém esta não é sinéctica em relação à média, apresentando um determinado grau de assimetria. Isto faz com que a área adequadamente irrigada para o tratamento L1A seja superior a 50%. Entretanto, para o tratamento L1B, a área adequadamente irrigada foi de aproximadamente 55% (Figura 5 C). Esta diferença, na área adequadamente irrigada, para os tratamentos com altos coeficientes de uniformidade e lâminas de água de reposição iguais ou superiores à adequada, fez com que a produtividade obtida nesse tratamento fosse superior à dos demais tratamentos com baixa uniformidade.

Os valores dos CUC médios, apresentados na Tabela 2, foram calculados com a média dos CUC das 25 irrigações realizadas durante o ciclo da cultura. O coeficiente de variação indica uma baixa variabilidade dos coeficientes ao longo do ciclo, exceto para o tratamento L2B, que foi de 14,7%. O

CUC acumulado, calculado com a lâmina de água diária aplicada nos tratamentos, apresentou valores superiores aos dos CUC diários de cada irrigação.

os fatores não-controlados tiveram maior influência do que estes pequenos acréscimos na lâmina de água.

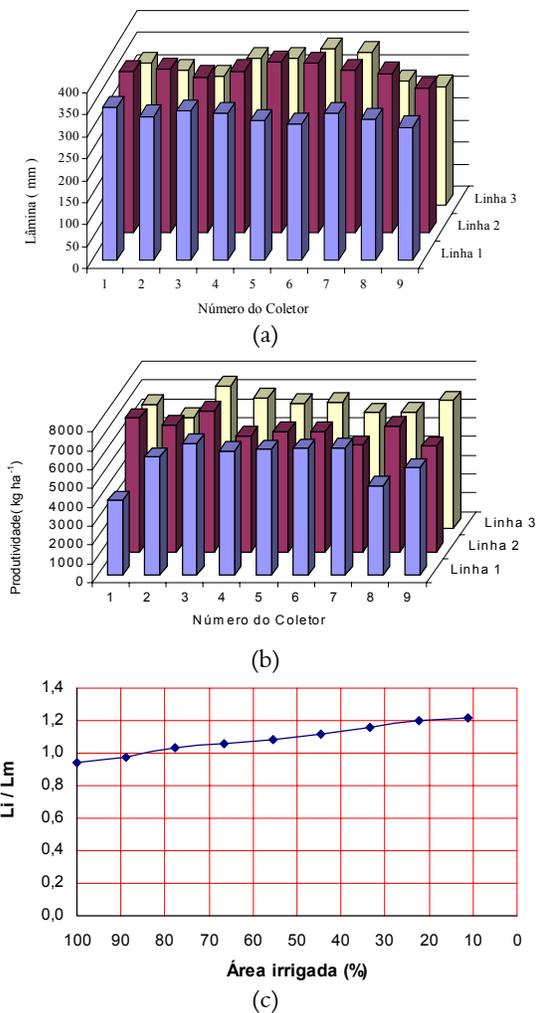


Figura 4. Lâminas de água aplicadas (A), produtividade da cultura do milho (B) e relação entre a superfície e a lâmina aplicada (C), para o tratamento L1A

Os tratamentos em que foram aplicadas lâminas de água superiores ou iguais à adequada apresentaram coeficientes de variação da produtividade baixos, entretanto os tratamentos com uniformidade baixa e alta, mas com lâminas de água inferiores à adequada, apresentaram coeficientes de variação altos (Tabela 3). A variação nas produtividades nas áreas em torno dos coletores, nos tratamentos, é reflexo da variabilidade da lâmina de água aplicada entre essas áreas.

Pequenos acréscimos na lâmina de água não promoveram aumento na produtividade da cultura dentro do tratamento L1A, devendo-se ressaltar que

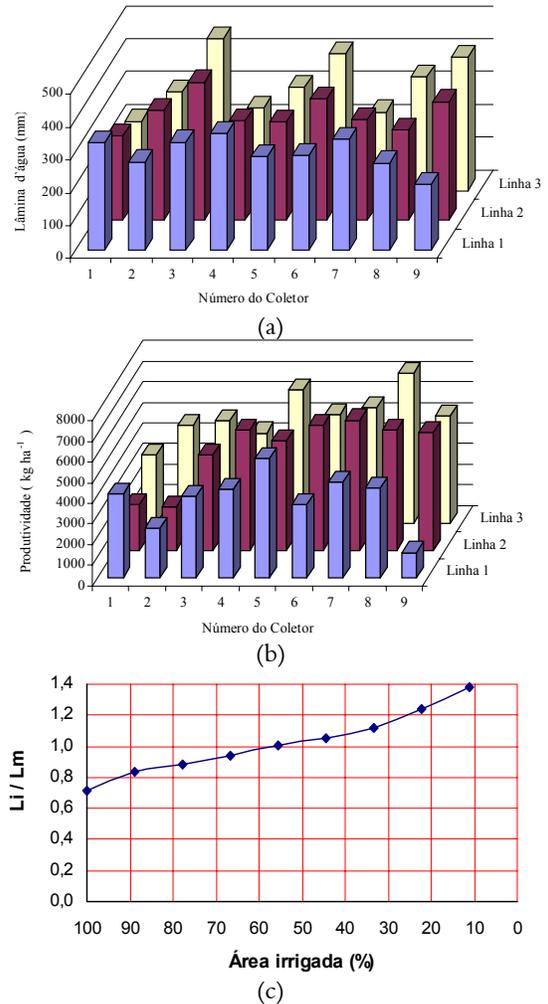


Figura 5. Lâminas de água aplicadas (A), produtividade da cultura do milho (B) e relação entre a superfície e a lâmina aplicada (C), para o tratamento L1B

Tabela 2. Valores de lâminas de água aplicadas durante o ciclo e coeficiente de uniformidade de Christiansen para os tratamentos

Tratamentos	Lâmina Média (mm)	Lâmina Mínima (mm)	Lâmina Máxima (mm)	CUC Médio	CUC Acumulado	CV (%)
L1A	390	271	337	84,0	92,8	5,4
L1B	462	199	316	67,0	84,1	11,1
L2A	260	197	235	84,0	94,7	5,5
L2B	312	123	208	67,0	82,4	14,7
L3A	361	223	303	77,6	89,8	10,7
L3B	331	168	258	70,0	87,6	11,2
L4A	448	361	408	84,2	94,2	5,1
L5A	540	420	480	82,0	94,1	8,4

Para a análise apresentada na Tabela 4, foram tomados os dados do bloco 3, com nove coletores (Figura 1). A produtividade não apresentou

diferença estatística dos tratamentos L5A para L1B, a despeito de uma diferença de produtividade de 1.219 kg ha⁻¹ ou aproximadamente 30%. O aumento da eficiência de água no tratamento L5A, comparado ao do tratamento L1A, aproximadamente 50%, proporcionou um acréscimo na produtividade de 348 kg . ha⁻¹ de apenas 6,2% em relação ao tratamento L1A. O tratamento L1A apresentou uma área adequadamente irrigada de 88%, enquanto esta área foi de 100% para o tratamento L5A.

Tabela 3. Valores de produtividades nos tratamentos, considerando os valores do bloco 3

Tratamentos	Produtividade Média (kg ha ⁻¹)	Produtividade Mínima (kg ha ⁻¹)	Produtividade Máxima (kg ha ⁻¹)	CV (%)
L1A	6.783	4783	6.038	11,0
L1B	7.344	1.218	5.157	33,4
L2A	3.801	1.192	2.601	32,6
L2B	5.562	2.083	3.816	32,6
L3A	5.851	2.708	4.475	23,4
L3B	5.019	668	3.309	48,8
L4A	6.827	5.848	6.360	5,5
L5A	7.196	5.666	6.413	6,8

Tabela 4. Produtividade da cultura do milho, kg ha⁻¹, com a umidade corrigida para 13%, para os tratamentos utilizando o teste de Tukey, 5%

Tratamentos	Produtividade (kg ha ⁻¹)	Comparação
L5A	6.413	A
L4A	6.360	A
L1A	6.038	A B
L1B	5.157	A B C
L3A	4.475	B C D
L2B	3.816	C D E
L3B	3.309	D E
L2A	2.601	E

A uniformidade de aplicação de água, 84 e 67%, para os tratamentos L1A e L1B, respectivamente, influenciou a produtividade da cultura do milho, sendo estas de 6.360 e 5.157 kg . ha⁻¹, respectivamente. Para os tratamentos L2A e L2B, as produtividades foram 2.601 e 3.816 kg . ha⁻¹, respectivamente. Verificou-se uma inversão, pois o tratamento com baixa uniformidade de aplicação apresentou produtividade superior ao tratamento com alta uniformidade, resultados estes também encontrados por Mantovani (1993). Quando a irrigação foi realizada com eficiência drica, somente no tratamento L2 a baixa uniformidade de aplicação apresentou melhores resultados do que quando a irrigação foi feita com alta uniformidade de aplicação de água, para as condições do experimento.

Referências

AYARS, J. E. et al. Influence of cotton canopy on sprinkler irrigation uniformity. *Trans. ASAE*, Madison, v.34, n.3, p.890-896, 1991.

BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. Viosa: UFV, Imprensa Universitária, 1995. 657p.

BURT, C. M. et al. Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. *J. Irrig. Drainage*, New York, v.123, p.423-442, 1997.

CLEMENS, A. J. Method for analyzing field scale surface irrigation uniformity. *J. Irrig. Drainage*, ASCE, New York, n.1R1, p.74-88, 1988.

COGELS, O. G. An irrigation system uniformity function relating the effective uniformity of water application to the scale of influence of the plant root zones. *Irrig. Sci.*, Berlin, v.4, p.289-299, 1983.

DUKE, H. R. et al. Appropriate depths of application for scheduling center pivot irrigations. *Trans. ASAE*, Madison, v.35, p. 1457-1464, 1992.

FRIZZONE, J. A. *Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência*. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Engenharia Rural, 1992. (Série Didática, 3)

HOWELL, D. T. Nonuniformity and sprinkler application efficiency. *J. Irrig. Drainage*, ASCE, New York, n.1R3, p.55-67, 1964.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. *Sprinkle and trickle irrigation*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.

KLAR, E. A. *Irrigação: frequência e quantidade de aplicação*. São Paulo: Nobel, 1991.

LETEY, J. et al. Optimum crop water as affected by uniformity of water infiltration. *Agron. J.*, Madison, v.76, p.435-441, 1984.

LI, J. S. Modeling crop yield as affected by uniformity of sprinkler system. *Agric. Water Manag.*, Amsterdam, v.38, p.135-146, 1998.

MANTOVANI, E. C. et al. Modeling the effects of sprinkler irrigation uniformity in crop yield. *Agric. Water Manag.*, Amsterdam, v.27, p.243-257, 1995

MANTOVANI, E. C. *Desarrollo y evaluación de modelos para el manejo del riego: estimación de la evapotranspiración y efectos de la uniformidad de aplicación del riego sobre la producción de los cultivos*. 1993. Tesis (Doctoral) - Escuela Técnica Superior Ingenieros Agrónomos, Universidad de Córdoba, Córdoba, 1993.

MATEOS, L. et al. Cotton response to non-uniformity of conventional sprinkler irrigation. *Irrig. Sci.*, Berlin, v.17, p.47-52, 1997.

REZENDE, R. et al. Influência do Espalhamento Entre Aspersores na Uniformidade de Distribuição de Água Acima e Abaixo da Superfície do Solo. *Rev. Bras. Eng. Agr. Ambiental*, Campina Grande v.2, p.247-352, 1998.

SEGINER, I. A note on the economic significance of uniform water application. *Irrig. Sci.*, Berlin, v.19, p.19-25, 1978.

SEGINER, I. Irrigation uniformity related to horizontal extend of root-zones. *Irrig. Sci.*, Berlin, v.1, p.89-96, 1979.

SOLOMON, K. H. Yield related interpretations of irrigations uniformity and efficiency measures. *Irrig. Sci.*, Berlin, v.5, p.161-172, 1984.

VON BERNUTH, R. D. Uniformity design criteria under limited water. *Trans. ASAE*, Madison, v.26, n.5, p.1418-1421, 1983.

WALKER, W. Explicit sprinkler irrigation uniformity: efficiency model. *J. Irrig. Drainage, ASCE*, New York, n.1R2, p129-136, 1979.

WALLACH, R. Effective irrigation uniformity as related to root zone depth. *Irrig. Sci.*, Berlim, v.11, p.15-21, 1990.

WARRICK, A.W.; GARDNER, W. R. Crop yield affected by spatial variations of soil and irrigations. *Water Resour. Res.*, Washington, v.19, n.1, p.181-186, 1983.

Received on July 13, 2001.

Accepted on April 22, 2002.