

UNIFORMIDADE DA UMIDADE DO SOLO PARA DIFERENTES ESPAÇAMENTOS EM UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL

**MAYCON DIEGO RIBEIRO¹; FÁBIO PONCIANO DE DEUS¹; EDUARDO
AGNELLOS BARBOSA¹; DANIEL RODRIGUES CAVALCANTE FEITOSA¹;
NATALIA FLÓREZ TUTA¹; IVO ZUTION GONÇALVES¹; EDSON EIJI MATSURA¹**

¹Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Avenida Candido Rondon, no 501, Barão Geraldo, Campinas – SP, CEP 13083-875, e-mail: ribeiro.md@gmail.com, fabio.deus@feagri.unicamp.br, eduardo.agnellos@gmail.com, daniel.feitosa@yahoo.com.br, natalia1_t@yahoo.es, ivo_zution@yahoo.com.br, matsura@feagri.unicamp.br

1 RESUMO

Usualmente os sistemas de irrigação por aspersão são dimensionados com base em critérios que avaliam a distribuição da água na superfície do solo, mas como a planta consome a água armazenada no interior deste, os dimensionamentos deveriam basear-se em avaliações que preconizam a distribuição da água no perfil do solo. Diante do exposto, este trabalho objetivou avaliar a uniformidade e a eficiência de um sistema de irrigação por aspersão convencional em condições de campo, comparando os resultados originados de informações acima e abaixo da superfície do solo, com perspectivas para dimensionamento de sistemas. Para isso, procedeu-se o ensaio de uniformidade de distribuição de água, com a instalação de um aspersor no centro de uma malha de coletores, baseando em procedimentos preconizados por norma. Além das informações de lâmina precipitada, determinou-se a lâmina infiltrada no solo pela diferença de umidade após e antes à irrigação, onde em alguns pontos da área foi determinado pela espacialização (krigagem) de informações amostradas de determinados pontos da malha de coletores, utilizando o software Surfer 9.0. Adicionalmente à determinação da umidade antes e após a irrigação, determinou-se a umidade 4 e 8 horas após o ensaio, com o intuito de avaliar o processo de redistribuição de água no solo pela avaliação da uniformidade dos dados sem sobreposição. Foi possível observar que a metodologia aplicada se mostrou eficiente na avaliação do sistema de irrigação por aspersão convencional, onde a utilização das informações de lâmina infiltrada tornou a análise mais confiável, indicando a melhor disposição dos equipamentos em campo com reflexo nos parâmetros econômicos do projeto.

Palavras-Chave: coeficientes de uniformidade, distribuição de água no solo, simulação

**RIBEIRO, M. D.; de DEUS, F. P.; BARBOSA, E. A.; FEITOSA, D. R. C.; TUTA, N. F.;
GONÇALVES, I. Z.; MATSURA, E. E.**

**SOIL MOISTURE UNIFORMITY FOR DIFFERENT SPACING IN A
CONVENTIONAL SPRINKLER IRRIGATION SYSTEM**

2 ABSTRACT

Usually the sprinkler irrigation systems are dimensioned based on parameters measured on the soil surface, but as the plant consumes the water stored in the soil, the dimensioning should be based in evaluations of the soil profile water distribution. Based on the above, this work aimed evaluate the uniformity and efficiency of a conventional sprinkler irrigation system under field conditions, comparing the results above and below of the soil surface, with prospects for system design. Thus, it was realized the uniformity standard test using an isolated sprinkler, installed in the center of a grid of collectors, based in standard procedures. In addition to the precipitated depth information, it was determined the infiltrated depth by the difference between the moisture after and before the irrigation, that was a result from the spatialization (kriging) of the information sampled from certain points from the mesh collectors, using the Surfer 9.0 software. In addition to determining the soil moisture before and after the irrigation, it was determined the soil moisture four and eight hours after the test, aiming to evaluate the water redistribution process in the soil assessing the data uniformity without overlap. It was observed that the methodology was efficient on the conventional sprinkler irrigation system, in which the use of infiltrated depth information resulted in a analysis more trusted, showing the better layout of the equipment in field, reflecting in the economic parameters of the project.

Keywords: uniformity coefficient, water distribution in soil, simulating

3 INTRODUÇÃO

A irrigação assume papel fundamental na produção das culturas diante do aumento da frequência de ocorrência de maiores períodos de estiagem, que comprometem diretamente a produção de áreas cultivadas sem irrigação. Adicionalmente, o excesso de água também é um fator de diminuição da produção, onde o correto manejo e operação da irrigação, juntamente com a manutenção dos equipamentos que compõem o sistema, são fatores essenciais para a maximização da produção agrícola com o mínimo de danos ao ambiente, havendo consequência direta na obtenção de uma agricultura irrigada viável economicamente (Capra & Scicolone, 2004; Bernardo et al., 2006; Oliveira et al., 2009; Paulino et al., 2009).

Em uma irrigação eficiente é fundamental que os elementos que compõem o sistema apresentem adequado funcionamento, onde essa qualificação é atingida pela quantificação da uniformidade de aplicação de água (Keller & Bliesner, 1992). Na irrigação por aspersão, de acordo com Frizzone (1992), os coeficientes de uniformidade de distribuição e a eficiência de aplicação são os principais parâmetros utilizados nesta avaliação, pois expressam a qualidade da irrigação e são decisivos no planejamento e na operação desses sistemas. Os coeficientes de uniformidade expressam em termos numéricos a variabilidade da lâmina de irrigação na superfície do solo e é função do espaçamento entre aspersores, velocidade do vento e pressão de serviço (Haman et al., 1997). As medidas da eficiência quantificam fisicamente a qualidade da irrigação e dependem da uniformidade e do manejo do sistema (Frizzone, 1992).

Usualmente os sistemas de irrigação por aspersão são dimensionados com base em critérios que avaliam a distribuição da água na superfície do solo, mas como a planta consome a água armazenada no interior deste, os dimensionamentos deveriam basear-se em avaliações que preconizam a distribuição da água no perfil do solo. De acordo com Rezende et al. (1992) e em concordância com Rocha et al. (1999), a avaliação de sistemas de irrigação por aspersão

convencional, por medidas de superfície, subestima a sua uniformidade, o que torna inadequado se o objetivo do projeto é resultar nas disposições dos equipamentos de forma mais econômica. Por outro lado, Rocha et al. (1999) salientam a importância do tipo de solo no comportamento diferenciado da redistribuição de água no solo, onde em solos arenosos, baixos valores de uniformidade de aplicação de água na superfície do solo podem resultar em elevadas perdas por percolação profunda.

De maneira geral, a avaliação de sistemas de irrigação por aspersão convencional na superfície, adicionada à avaliação no perfil do solo, assegura melhores interpretações, e resultaria na disposição econômica dos equipamentos em campo. Diante do exposto, este trabalho objetivou avaliar a uniformidade e a eficiência de um sistema de irrigação por aspersão convencional em condições de campo, comparando os resultados originados de informações acima e abaixo da superfície do solo, com perspectivas para dimensionamento de sistemas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em outubro de 2011, na Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), localizado no município de Campinas – SP, cujas coordenadas geográficas são: 22° 48' 57" de latitude Sul, 47° 03' 33" de longitude Oeste e altitude média de 640 metros. O clima da região, segundo a classificação de Koppen, é uma transição entre os tipos Cwa e Cfa, indicando ser um clima tropical de altitude com inverno seco e verão úmido.

A água utilizada no experimento é proveniente de reservatório (açude) existente no local, concebido para atender as atividades de irrigação do campo experimental, o qual recebe água de uma microbacia que apresenta um solo classificado como sendo Latossolo Vermelho Distroférrico (Embrapa, 1999), cujas características físicas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características físicas do solo da área experimental¹

Camada (m)	Densidade do solo (kg m ⁻³)	Porosidade Total (%)	Textura (g kg ⁻¹)			Umidade (m ³ m ⁻³)		Ks (m h ⁻¹)
			Argila	Silte	Areia	CC	PMP	
0,0 – 0,2	1306	51	580	170	250	0,40	0,27	0,032
0,2 – 0,4	1361	49	590	170	240	0,39	0,26	0,031
0,4 – 0,6	1283	52	640	140	220	0,43	0,29	0,033

¹CC – umidade na capacidade de campo; PMP – umidade no ponto de murcha permanente; Ks – condutividade hidráulica.

Utilizou-se no ensaio o sistema de irrigação por aspersão convencional, cujo aspersor foi instalado no centro de uma malha de 196 coletores espaçados em 2 metros (26 x 26 m) (ABNT, 1999), sendo este da marca NaanDanJain, modelo 5022 ½" M, bocal azul (3,5 x 2,5 mm), operando à pressão de 300 kPa, e resultando em 1,16 m³ h⁻¹ de vazão, aplicados em 24 metros de diâmetro molhado.

O controle e a leitura da pressão de serviço do aspersor foram realizados por regulador de pressão e por manômetro tipo Bourdon respectivamente, sendo estes instalados no tubo de subida onde foi posicionado o aspersor ensaiado (Figura 1).

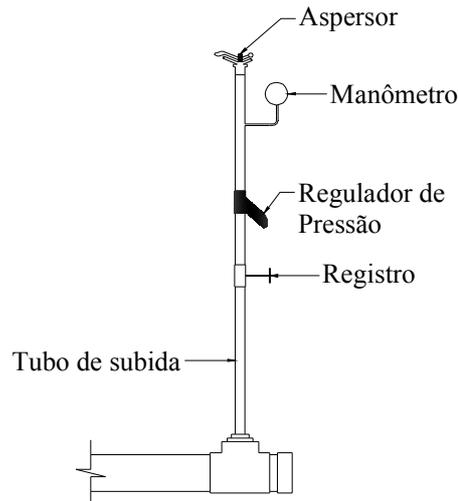


Figura 1. Detalhe dos equipamentos instalados no tubo de subida no ensaio do aspersor.

O ensaio foi conduzido monitorando concomitantemente a pressão de ensaio e as condições de vento, sendo este último medido por meio de um anemômetro instalado a 2 m de altura em relação à superfície do solo. A velocidade do vento apresentou valores menores que $0,7 \text{ m s}^{-1}$, estando abaixo de 2 m s^{-1} , valor máximo preconizado pela norma de ensaio (ABNT, 1999).

Visando aplicar a quantidade de água até atingir a umidade na capacidade de campo ($\theta_{cc} = 0,4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) na profundidade de 0,15 m (z), determinou-se o tempo de irrigação baseado nos valores de intensidade máxima de aplicação de água do aspersor ($I_{máx.} = 6,6 \text{ mm h}^{-1}$), e na capacidade máxima de armazenamento de água no solo ($A_{máx.}$).

Antes da irrigação foram realizadas 24 amostragens de solo, e utilizando o método gravimétrico, determinou-se a umidade em determinados pontos, onde o valor médio foi de $0,21 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, com desvio padrão de $0,01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Posteriormente à irrigação, foram realizadas mais 24 amostragens da umidade gravimétrica, nos mesmos pontos anteriormente coletados, para determinação da lâmina de água infiltrada em cada ponto. A Figura 2 ilustra as posições dos pontos onde foram realizadas as amostragens de solo.

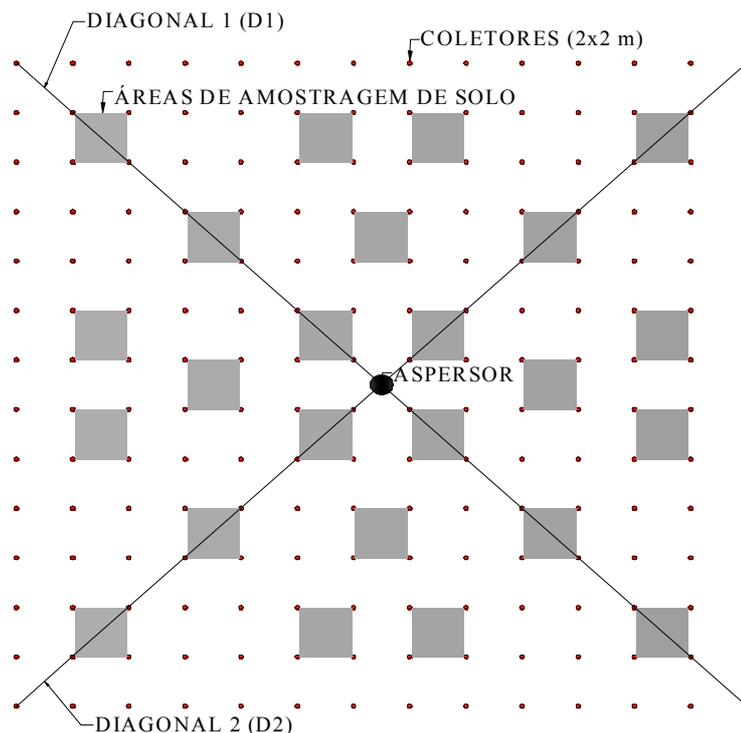


Figura 2. Posições onde foram realizadas as amostragens de solo.

Adicionalmente à determinação da umidade antes e após a irrigação, determinou-se novamente a umidade às 4 e 8 horas após o ensaio, nos mesmos pontos mencionados anteriormente, com o intuito de avaliar o processo de redistribuição de água no solo pela avaliação da uniformidade dos dados sem sobreposição.

Utilizando o software Surfer 9.0, realizou-se a espacialização dos dados de lâmina infiltrada e de umidade avaliada no tempo, utilizando o método da Krigagem, sendo possível estimar valores nos pontos onde não foram realizadas amostragens de solo. Para verificar a coerência entre as informações de lâmina precipitada nos coletores, e infiltrada no solo, foram comparados os valores nas respectivas posições de amostragem, utilizando as diagonais D1 e D2 como posições para comparação (Figura 2).

Com todos os dados de lâmina precipitada (leitura dos coletores) e lâmina infiltrada (estimativa), e utilizando o software Catch 3D versão 4.6, simulou-se diversos cenários de sobreposição de dados, onde se modificou o espaçamento entre aspersores, sendo: 6 x 6 m; 6 x 12 m; 12 x 12 m; 12 x 18 m; 18 x 18 m; 18 x 24 m; 24 x 24 m; 24 x 30 m; e 30 x 30 m. Com os dados sobrepostos para cada cenário, determinou-se os valores de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD), e utilizando o modelo linear como modelo de distribuição de água, proposto por Karmeli (1978), determinou-se a eficiência de aplicação (E_a) e de armazenamento (E_s), as perdas por percolação (P_p), e o Deficit (D).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em termos de informação para irrigação, a capacidade máxima de armazenamento de água no solo ($A_{máx.}$) foi de 28,5 mm, determinada pela diferença de umidade entre a capacidade de campo ($\theta_{cc} = 0,4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e a umidade média antes da irrigação ($\theta_i = 0,21 \text{ m}^3$

m^{-3}), na profundidade de 0,15 m. Com base na intensidade máxima de aplicação de água proporcionada pelo aspersor ($I_{\text{máx.}} = 6,6 \text{ mm h}^{-1}$), determinou-se o tempo de irrigação (T_i) que foi de 4 horas e 19 minutos, para elevar a umidade do solo à capacidade de campo na posição onde ocorre a máxima intensidade de aplicação de água.

A Figura 3 ilustra o comportamento da lâmina precipitada e infiltrada em dois perfis de distribuição, no qual refere-se às duas diagonais da malha quadrada de coletores (diagonais D1 e D2 da Figura 2).

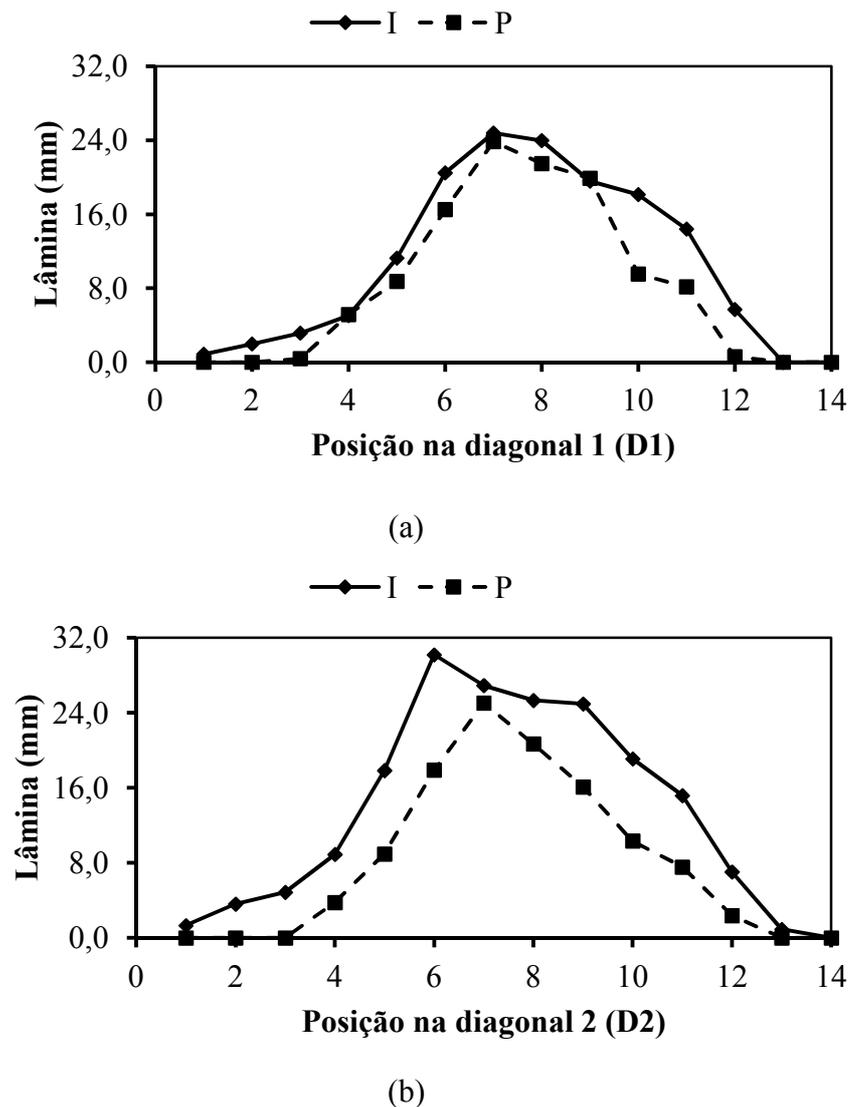


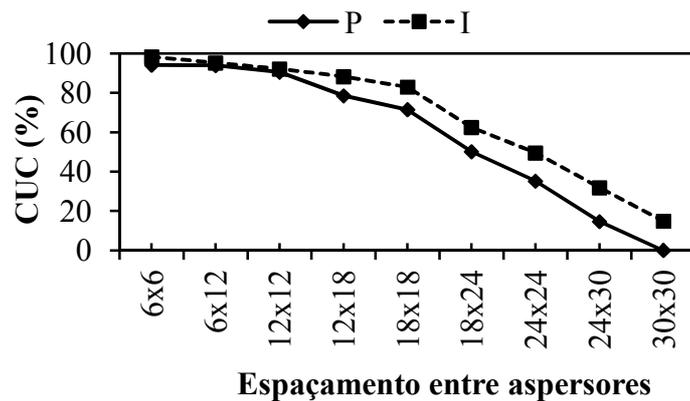
Figura 3. Lâminas infiltradas (I) e precipitadas (P) em dois perfis (diagonal 1 (a) e diagonal 2 (b)).

Pode-se observar equivalência entre as lâminas precipitadas e as informações estimadas de lâmina infiltrada pelo método da Krigagem, no qual foi mantida a mesma tendência de comportamento. As diferenças existentes entre os valores de lâmina infiltrada e precipitada devem-se à diferenciação da área de coleta, onde em termos de probabilidade, existe maior propensão à ocorrência de precipitação na área da malha em comparação à área do coletor.

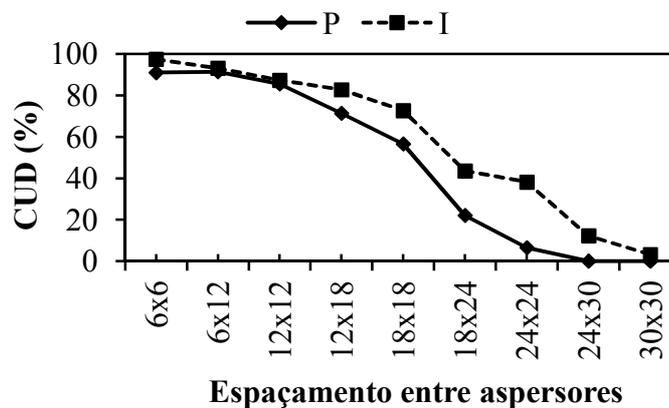
Na Tabela 2, são apresentados os resultados relativos aos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) para os dados de lâmina precipitada e infiltrada, para diferentes espaçamentos entre aspersores, e a Figura 4 ilustra esse comportamento.

Tabela 2. Coeficientes de uniformidade (CUC e CUD), para as lâminas precipitadas (P) e infiltradas (I) no solo, para diferentes espaçamentos entre aspersores

Espaçamento (m)	CUC (%)		CUD (%)	
	P	I	P	I
6x6	94,2	98,4	91,1	97,5
6x12	93,9	95,3	91,5	93,2
12x12	90,6	92,2	85,6	87,4
12x18	78,6	88,3	71,4	82,8
18x18	71,5	83,0	56,6	72,7
18x24	50,2	62,5	22,1	43,6
24x24	35,2	49,5	6,5	38,2
24x30	14,7	31,9	0,0	12,2
30x30	0,0	14,9	0,0	3,2



(a)



(b)

Figura 4. Variação dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) (a) e de distribuição (CUD) (b) em função do espaçamento entre aspersores, para as lâminas precipitadas (P) e infiltradas (I).

Semelhantes às observações de Faria et al. (2009) e Martins et al. (2012), observou-se diminuição nos valores de CUC e CUD com o aumento do espaçamento entre aspersores, onde os valores de CUC e CUD, utilizando os dados de lâmina infiltrada, foram respectivamente 9,7% e 11,8% em média maiores quando comparado à utilização dos dados de lâmina precipitada. Resultados semelhantes foram verificados por Rocha et al. (1999) e Rezende et al. (1998), os quais expõem que a redistribuição da água promovida pelo solo, pela tendência da água se movimentar de regiões mais úmidas para aquelas de menor umidade, proporciona a uniformização das lâminas infiltradas, resultando em maiores índices de uniformidade.

Uma consequência prática referente à diferenciação dos valores de uniformidade acima e abaixo da superfície do solo refere-se às questões de dimensionamento dos sistemas de aspersão convencional, onde analisando a tabela anterior (Tabela 2), pode-se observar que para alcançar o valor mínimo de CUC (80%), como preconizado por Bernardo et al., (2006), para um desempenho normal em sistemas de aspersão convencional, o espaçamento deve ser de no máximo de 12x12 m utilizando os dados de lâmina precipitada, e de 18x18 m utilizando os dados de lâmina infiltrada. Tal fato sinaliza a possibilidade da utilização da lâmina infiltrada como informação adicional no dimensionamento de sistemas de aspersão convencional, permitindo o alcance de um sistema de menor custo, tal como salienta Pereira (2003). Espaçamentos maiores entre aspersores resultará em menor número de emissores por linha lateral, que reduzirá a vazão e o diâmetro da tubulação, e conseqüentemente o consumo energético do sistema de bombeamento. Este fato também foi observado por Resende et al. (1998), onde salientam que a uniformidade de distribuição abaixo da superfície do solo deve ser levada em conta e não apenas as informações acima da superfície como é feito tradicionalmente nos projetos de sistemas de irrigação.

Com o objetivo de observar o efeito da redistribuição de água no solo, determinou-se os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) antes, e depois da irrigação nos tempos 0, 4 e 8 horas, onde para isso utilizou-se os dados de umidade do solo sem sobreposição das informações. A Figura 5 apresenta o comportamento do CUC e do CUD da umidade do solo em função do tempo.

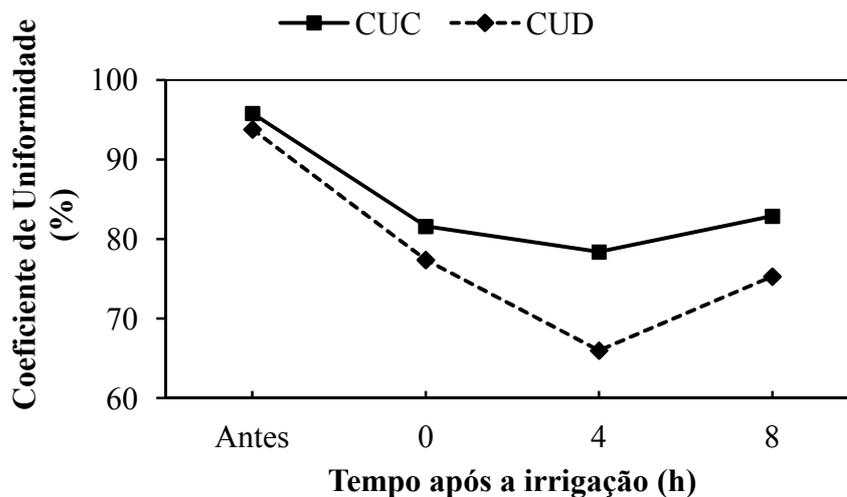


Figura 5. Variação do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) da umidade do solo sem sobreposição em função do tempo (antes da irrigação, e 0, 4 e 8 horas após o ensaio).

Com relação aos dados de umidade antes da irrigação, pôde-se observar que a uniformidade apresentava-se alta ($CUC = 95,8\%$ e $CUD = 93,8\%$), devido ao fato que a umidade no solo estava redistribuída na camada de avaliação (0,15 m) (Figura 6).

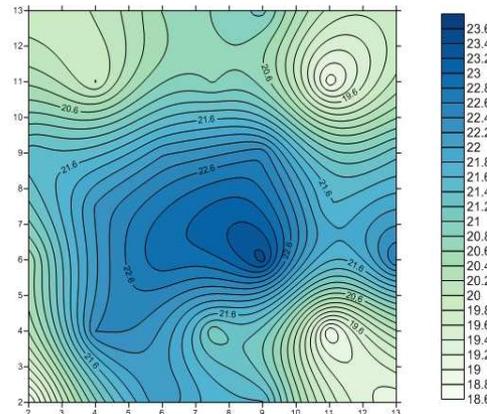


Figura 6. Distribuição da umidade do solo sem haver sobreposição dos dados anteriormente à irrigação.

Logo após a irrigação (tempo 0 hora), observou-se diminuição dos valores de coeficiente de uniformidade ($CUC = 81,6\%$ e $CUD = 77,4\%$), atingindo o menor valor após 4 horas do ensaio ($CUC = 78,4\%$ e $CUD = 66,0\%$), sendo este fato inerente à aplicação diferenciada de água proporcionada pelo aspersor no seu raio de ação (Figura 7).

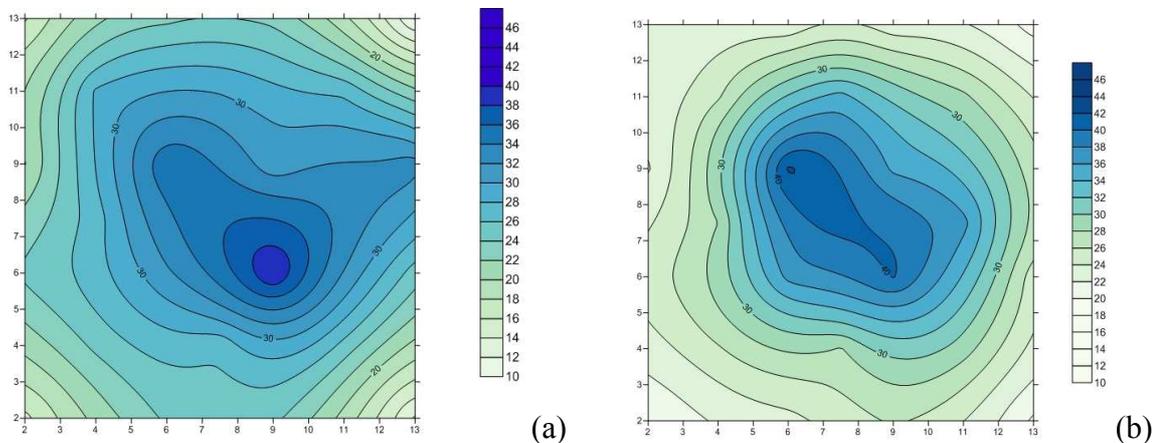


Figura 7. Distribuição da umidade do solo sem sobreposição dos dados, imediatamente após (a) e 4 depois da irrigação (b).

Por outro lado, observou-se que 8 horas após do teste houve aumento dos valores de uniformidade ($CUC = 82,9\%$ e $CUD = 75,3\%$), evidenciando o início do processo de redistribuição de água no solo (Figura 8).

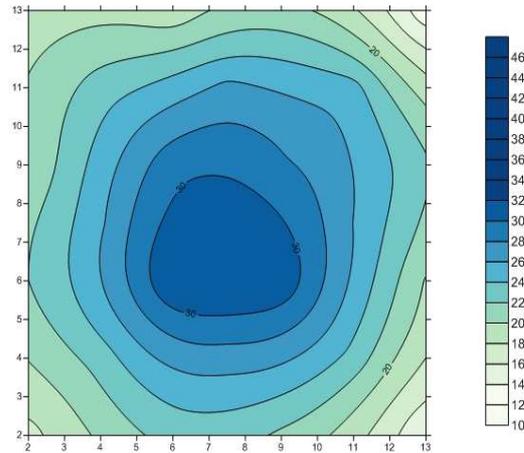


Figura 8. Distribuição da umidade do solo sem sobreposição dos dados, 8 horas após a irrigação.

Fica evidente pelas Figuras 6, 7 e 8, a ocorrência da redistribuição da água no solo, onde comparando as figuras observa-se diminuição do intervalo dos valores, onde para o tempo 8 horas a diferença foi a menor.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados relacionados aos índices Ea (Eficiência de aplicação), Es (Eficiência de armazenamento), Pp (Perdas por percolação) e D (Déficit), para os dados de lâmina precipitada e infiltrada, para diferentes espaçamentos entre aspersores. As Figuras 9 e 10, ilustram o comportamento dos índices Ea e Es, e de Pp e D respectivamente.

Tabela 3. Eficiência de aplicação (Ea) e armazenamento (Es), perdas por percolação (Pp) e déficit (D), para as lâminas precipitadas (P) e infiltradas no solo (I), para diferentes espaçamentos entre aspersores

Espaçamento (m)	Ea (%)		Es (%)		Pp (%)		D (%)	
	P	I	P	I	P	I	P	I
6x6	27,7	17,3	100,0	100,0	72,3	82,7	0,0	0,0
6x12	55,7	34,6	100,0	100,0	44,3	65,4	0,0	0,0
12x12	99,2	69,3	88,9	100,0	0,8	30,7	11,1	0,0
12x18	100,0	95,7	59,9	92,1	0,0	4,3	40,1	7,9
18x18	100,0	100,0	39,9	64,2	0,0	0,0	60,1	35,8
18x24	100,0	100,0	30,0	48,2	0,0	0,0	70,0	51,8
24x24	100,0	100,0	23,0	36,2	0,0	0,0	77,0	63,8
24x30	100,0	100,0	19,2	29,6	0,0	0,0	80,8	70,4
30x30	100,0	100,0	16,0	24,6	0,0	0,0	84,0	75,4

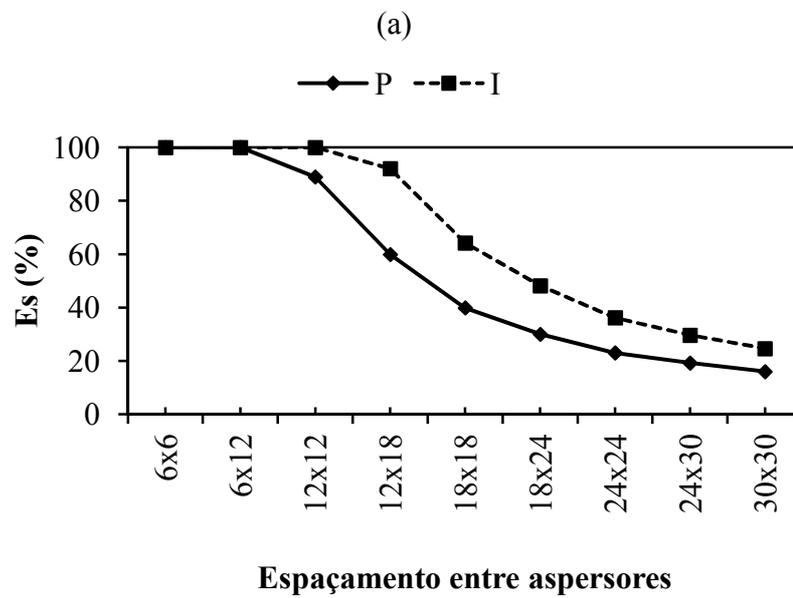
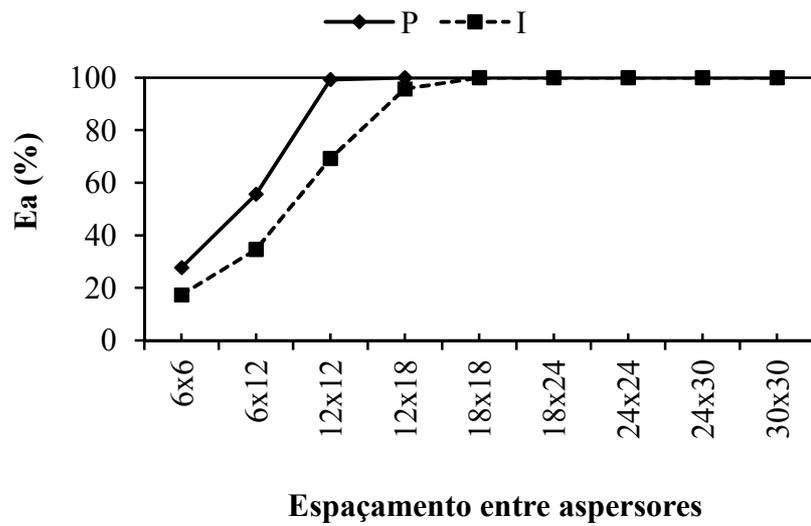
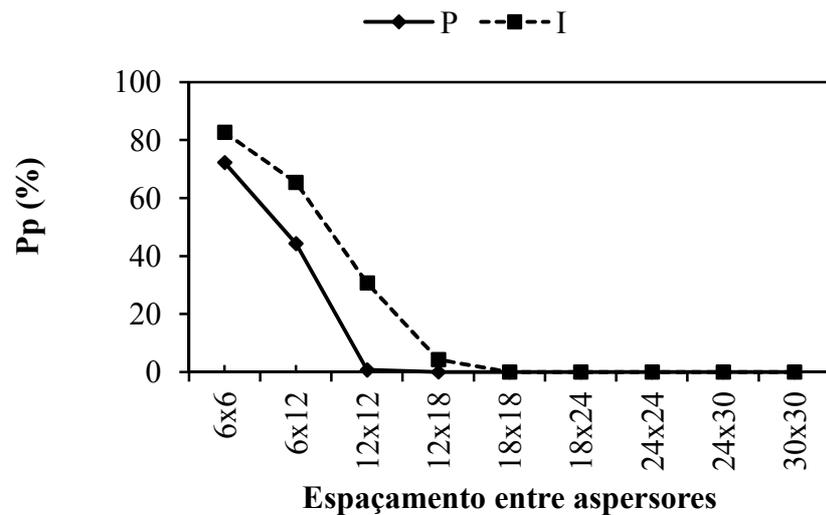
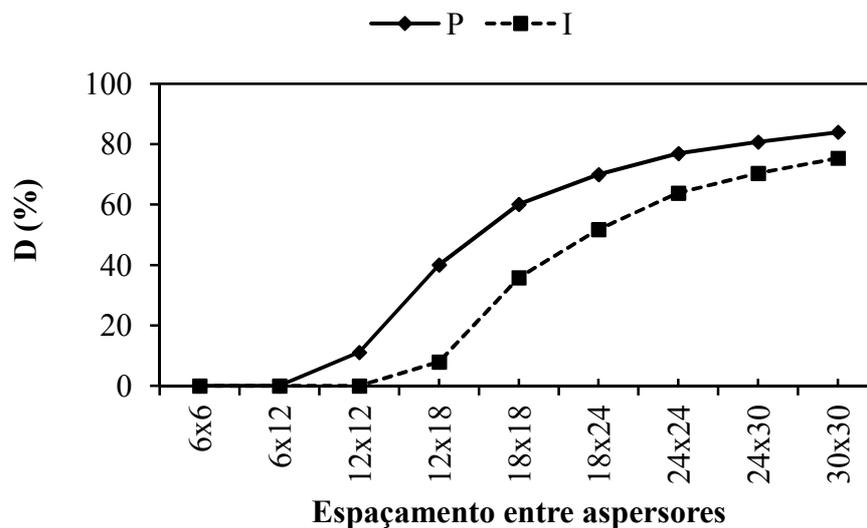


Figura 9. Variação dos índices eficiência de aplicação (E_a) e de armazenamento (E_s), em função da simulação do espaçamento entre aspersores, para lâminas precipitadas (P) e infiltradas (I).



(c)



(d)

Figura 10. Variação dos índices perdas por percolação (P_p) e Déficit (D), em função da simulação do espaçamento entre aspersores, para lâminas precipitadas (P) e infiltradas (I).

Pode-se observar que para ambos os dados (lâmina precipitada e infiltrada), o aumento nos valores de eficiência de aplicação (E_a) com o aumento do espaçamento entre aspersores, determinam a diminuição da eficiência de armazenamento (E_s) e das perdas por percolação (P_p), aumentando o déficit (D). Entretanto, existe notável diferença entre os valores referentes aos dados de lâmina precipitada em relação aos dados de lâmina infiltrada, onde considerando os dados observados no solo (lâmina infiltrada) como sendo os corretos, se observa que para o mesmo espaçamento entre aspersores, os dados de lâmina precipitada superestimam os valores de eficiência de aplicação (E_a) e de déficit (D), e subestimam os valores de eficiência de armazenamento (E_s) e perda por percolação (P_p). De maneira geral, a avaliação na

superfície subestima os valores de eficiência de irrigação quando comparado ao subsuperficial, fato também observado por Rocha et al. (1999)

De maneira geral, a utilização das informações de lâmina infiltrada como parâmetro adicional na avaliação de sistemas de irrigação por aspersão convencional, pode proporcionar a otimização econômica dos projetos, além de assegurar interpretações mais seguras referentes às avaliações desses sistemas já instalados em campo.

6 CONCLUSÕES

A metodologia aplicada foi eficiente na avaliação do sistema de irrigação por aspersão convencional, sendo que a utilização das informações de lâmina infiltrada tornou a análise mais confiável, indicando a melhor disposição dos equipamentos em campo com reflexo nos parâmetros econômicos do projeto.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Equipamentos de irrigação agrícola: Aspersores rotativos. Parte 1: Requisitos para projetos e operação. Projeto 04:015.08-012. Parte 2: Uniformidade de distribuição e métodos de ensaio. Projeto 04:015.08-013. Rio de Janeiro: ABNT, 1999. 22p.
- BERNARDO, S; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: Imprensa Universitária, UFV, 2006. 625p.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter test for wastewater reuse by drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v.68, p.135–149, 2004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412 p.
- FARIA L.C.; COLOMBO, A.; OLIVEIRA, H. F. E. de; PRADO, G. Simulação da uniformidade da irrigação de sistemas convencionais de aspersão operando sob diferentes condições de vento. **Engenharia Agrícola**, v.28, p.427-437, 2009.
- FRIZZONE, J.A. **Irrigação por aspersão**. Piracicaba: ESALQ – Departamento de Engenharia Rural, 1992. 53p. Série Didática, 3.
- HAMAN, D.Z; SMAJSTRLA, A.G.; PITTS, D.J. **Uniformity of sprinkler and microirrigation system for nurseries**. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Boletim 312. 1997.
- KARMELI, D. Estimating sprinkler distribution patterns using linear regression. **Transactions of the ASAE**, v. 21, n. 4, p. 682-686, 1978.
- KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: AVI Book, 1992. 652p.

MARTINS, P.E.S.; ZANINI, J.R.; SILVA, E.R.; LEMOS FILHO, M.A.F. Perfil radial e uniformidade de precipitação do aspersor NaanDanJain 427, em função da regulagem do defletor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.3-9, 2012.

OLIVEIRA, H.F.E. de; COLOMBO, A.; FARIA, L.C. Modelagem dos efeitos do vento sobre as dimensões do alcance do jato de um canhão hidráulico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.818-824, 2009.

PAULINO, M.A. de O.; FIGUEIREDO, F.P. de; FERNANDES, R.C.; MAIA, J.T.L.S.; GUILHERME, D. de O.; BARBOSA, F.S. Avaliação da uniformidade e eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão convencional. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.3, p.48-54, 2009.

PEREIRA, G.M. Aspersão Convencional. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. Irrigação. Piracicaba: FUNEP, 2003. v.2, 703p.

REZENDE, R.; FRIZZONE, J.A.; BOTREL, T.B. Desempenho de um sistema de irrigação pivô-central quanto à uniformidade de distribuição de água, abaixo e acima da superfície do solo. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.2, n.19, p.01-07, 1992.

REZENDE, R.; FRIZZONE, J.A.; GONÇALVES, A.C.A.; FREITAS, P.S.L. Influência do espaçamento entre aspersores na uniformidade de distribuição de água acima e abaixo da superfície do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.257-261, 1998.

ROCHA, E. M. M.; COSTA, R. N. T.; MAPURUNGA, S. M. S.; CASTRO, P. T. Uniformidade de distribuição de água por aspersão convencional na superfície e no perfil do solo. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.2, p.154-160, 1999.