

## DESEMPENHO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUPERFICIAL E SUBSUPERFICIAL

### PERFORMANCE OF SURFACE AND SUBSURFACE DRIP IRRIGATION SYSTEM

Luís Gonzaga Medeiros Figueredo Júnior<sup>1</sup>, Antônia Guadalupe Santos Duarte<sup>2</sup> e Francineuma Ponciano Arruda<sup>3</sup>

#### RESUMO

O trabalho objetivou avaliar a uniformidade de distribuição de água superficial e subsuperficial em sistemas de irrigação por gotejamento em solo de textura arenosa. O experimento foi conduzido na área da Faculdade de Agronomia da universidade Estadual do Piauí, durante o mês de novembro de 2020. Os tratamentos avaliados foram: T1: irrigação com mangueiras de gotejo sobre a superfície do solo; T2: irrigação com mangueiras subsuperficiais à profundidade de 0,20 m; e T3: irrigação com mangueiras subsuperficiais à profundidade de 0,40 m. Cada parcela foi constituída de 4 fitas gotejadoras com 10,0 m de comprimento, sendo utilizado os gotejadores do tipo *in-line* (embutido) Netafim modelo Microdrip, com espaçamento entre emissores de 0,3 m, vazão nominal de 2 L h<sup>-1</sup>, pressão de serviço de 15 mca. Após a implantação do sistema de irrigação foram realizados testes de vazão e de pressão. A duração de cada irrigação foi de 4,0 horas diárias em cada área, iniciando-se à meia-noite (00h00) e terminando às 04h00. As coletas de solo para a determinação da umidade foram realizadas a cada 4 (quatro) dias, sendo as amostras coletadas após 01 hora do término da irrigação. Na avaliação do gotejamento superficial, para quantificar a vazão de cada emissor, utilizaram-se copos de plástico com capacidade de 200 ml para coleta da água durante 01 minuto. Logo em seguida cada recipiente foi pesado em balança de precisão, para então converter o peso em volume e obtenção da vazão (L h<sup>-1</sup>). A uniformidade foi avaliada através dos coeficientes de uniformidade de distribuição (CUD), coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE). O sistema apresentou desempenho classificado como excelente para os diferentes coeficientes em todos os tratamentos avaliados. A umidade do solo situou-se sempre acima da umidade crítica, podendo ser adotada em diferentes situações de cultivo, clima e solo.

**Palavras-chave:** Gotejadores; eficiência de irrigação; uniformidade de distribuição.

#### ABSTRACT

*The present study aimed to evaluate the uniformity of surface and subsurface water distribution in drip irrigation systems in sandy soil. The experiment was conducted in the area of the Faculty of Agronomy of the State University of Piauí, from November, 2020. The treatments evaluated were: T1: irrigation with drip hoses on*

1 Possui graduação em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal do Piauí (1997), Mestrado em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas) pela Universidade Federal do Ceará (2001), Doutorado em Irrigação e Drenagem pela Universidade de São Paulo (2004) e Pós-Doutorado em Ingeniería Agrícola pela Universidad Politécnica de Valencia, Espanha (2013). Atualmente é Professor Associado do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Piauí. E-mail: luisjr@cca.uespi.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0938-3063>

2 Ensino médio técnico profissionalizante na Escola Família Agrícola Cocais - EFAcocais. Engenheira Agrônoma pela Universidade Estadual do Piauí - UESPI. E-mail: lupeduarte.santos@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8581-5632>

3 Possui graduação em Agronomia, mestrado em Manejo de Solo e Água (Manejo e conservação do solo) e doutorado em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas) pela Universidade Federal da Paraíba. Atualmente é Professora Associada do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Piauí. E-mail: neuma.arruda@cca.uespi.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5384-1482>

the soil surface; T2: irrigation with subsurface hoses at a depth of 0.20 m; and T3: irrigation with subsurface hoses at a depth of 0.40 m. Each plot consisted of 4 dripper strips, 10.0 m long, using the Drip Net in-line drippers, with 0.3 m spacing between emitters, nominal flow of 2 L h<sup>-1</sup>, service pressure 15 mca. After the implantation of the irrigation system, flow and pressure tests were carried out. The duration of each irrigation was 4.0 hours daily in each area, starting at midnight (0:00 am) and ending at 4:00 am. Soil collections for moisture determination were carried out every 4 (four) days, with samples collected after 01 hour of the end of irrigation. In the evaluation of the surface drip, to quantify the flow of each emitter, plastic cups with a capacity of 200 ml were used to collect water during 01 minute. Soon after, each container was weighed on a precision scale, to then convert the weight into volume and obtain the flow (L h<sup>-1</sup>). Uniformity was assessed using the distribution uniformity coefficients (CUD), Christiansen uniformity coefficient (CUC) and statistical uniformity coefficient (CUE). The system presented a performance classified as excellent for different coefficients in all evaluated treatments.

**Keywords:** Distribution uniformity; drippers; irrigation efficiency.

## INTRODUÇÃO

A produção agrícola depende das chuvas ou da irrigação para atender a demanda de água nas culturas. Sendo uma técnica antiga na agricultura, a irrigação vem sendo cada vez mais importante para reduzir riscos de perdas nas culturas agrícolas em geral, e conseqüentemente aumentar a produtividade (DOORENBOS & KASSAM, 1994). Entretanto, é uma tecnologia que requer investimentos representativos e está associada à utilização intensiva de insumos, tornando importante a análise econômica dos componentes envolvidos no sistema.

No Brasil, segundo levantamento realizado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA (2021), a agricultura irrigada abrange aproximadamente 8,2 milhões de hectares, sendo a área potencial irrigável de 55,85 milhões de hectares. Nesse sentido, vê-se que existe grande possibilidade de expansão da área irrigada no país. De acordo com Howell (2000), a irrigação é um recurso tecnológico fundamental para que a produção de alimentos e fibras ocorra em escala suficiente, a fim de suprir as necessidades de uma população mundial que cresce continuamente. Todavia, conforme Dasberg e Bresler (1985), para que este crescimento ocorra de forma sustentável, é necessário utilizar sistemas eficientes no uso da água, com o maior aproveitamento possível desse recurso pelas culturas.

A irrigação é uma prática agrícola que tem como finalidade básica colocar água à disposição das plantas, mantendo o solo com umidade adequada, utilizando, para isto, diferentes métodos e sistemas de irrigação (REZENDE *et al.*, 1998). Um dos sistemas de irrigação mais eficientes e em notável expansão no Brasil é o sistema de irrigação por gotejamento, que apresenta como uma das principais vantagens a economia de água e energia, sendo a redução do consumo devido à menor taxa evaporativa, com aplicabilidade em grande diversidade de culturas e condições climáticas (BERNARDO *et al.*, 2009).

A irrigação por gotejamento subsuperficial (SDI) deriva do gotejamento superficial, sendo constituída por emissores instalados na subsuperfície do solo, com aplicação da água diretamente na zona radicular da cultura. A primeira instalação de SDI ocorreu na década de 1960, em Israel (MARQUES *et al.*, 2006). No Brasil, estima-se que seu uso se iniciou em 1996 na Usina Sucroalcooleira São Martinho, no Município de Pradópolis, SP (AGUIAR, 2002). A irrigação por gotejamento subsuperficial pode ser usada para melhorar a uniformidade de irrigação e eficiência do uso da água numa série de sistemas de cultivo, aplicando baixo volume de água diretamente na zona radicular das culturas (AYARS *et al.*, 1999; YAO *et al.*, 2011). Destaca-se que, além da água ser depositada na região onde a planta consegue absorver os nutrientes dissolvidos na solução do solo, diminui também a evaporação que ocorre em relação a sistemas que aplicam água na superfície do solo. Segundo Phene & Ruskin (1995), a irrigação por gotejamento subsuperficial aperfeiçoa a eficiência de aplicação, pois o volume de água armazenado pode ser maior do que nos outros sistemas de irrigação, melhor aproveitamento de água e nutrientes devido à aplicação diretamente na zona de maior massa radicular das plantas.

O uso da tecnologia de irrigação subsuperficial requer a otimização dos parâmetros operacionais, tais como a frequência e a duração da irrigação, o tipo do emissor de descarga, o espaçamento e o local de instalação das laterais de gotejamento (SKAGGS *et al.*, 2004). Assim, conforme Rogers *et al.* (2018), torna-se fundamental o conhecimento da distribuição exata de água em torno dos emissores, a fim de fornecer uma ótima distribuição na zona radicular das culturas, evitando excedente hídrico na superfície do solo e conseqüentemente percolação ao longo do perfil.

A manutenção de elevada uniformidade de aplicação e distribuição de água nos sistemas de irrigação por gotejamento torna-se fundamental para uma eficiente irrigação e, conseqüentemente, um melhor aproveitamento dos recursos hídricos e redução dos custos (RIBEIRO *et al.*, 2012).

Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a uniformidade de distribuição de água superficial e subsuperficial em sistemas de irrigação por gotejamento em solo de textura arenosa.

## MATERIAL E MÉTODOS

### CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O presente trabalho foi realizado na área experimental da Universidade Estadual do Piauí, localizada no município de Parnaíba, PI. O clima da região é Aw' (tropical chuvoso), segundo a classificação de Köppen, com precipitação pluviométrica média anual de aproximadamente 1000 mm, distribuídas principalmente no verão, estendendo-se até o outono (BASTOS *et al.*, 2000). O solo utilizado é classificado como Neossolo Quartzarênico, com textura arenosa, topografia plana e suave ondulada (EMBRAPA, 2018).

Na Tabela 1 são apresentados a composição granulométrica e os parâmetros físico-hídricos para o solo da área experimental.

**Tabela 1** - Composição granulométrica, Capacidade de Campo (CC), Ponto de Murcha Permanente (PMP) e Umidade Crítica (UC) em Neossolo Quartzarênico.

Composição granulométrica (%)			Parâmetros físico-hídricos (%)		
Areia	Silte	Argila	CC	PMP	UC
89,0	4,0	7,0	12,8	4,6	8,7

Fonte: dados da pesquisa.

## CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Os ensaios de campo e de laboratório foram conduzidos durante o mês de novembro de 2020. Os tratamentos avaliados foram: tratamento 01 (T1), irrigação com mangueiras de gotejo sobre a superfície do solo; tratamento 02 (T2), irrigação com mangueiras subsuperficiais à profundidade de 0,20 m; e Tratamento 03 (T3), irrigação com mangueiras subsuperficiais à profundidade de 0,40 m.

Cada parcela foi constituída de 4 linhas de irrigação com 10,0 m de comprimento, espaçadas em 2,0 metros, sendo utilizado tubogotejadores integrados (*in-line*) Netafim modelo Microdrip, com espaçamento entre emissores 0,3 m. O fabricante indica a vazão nominal de 2,0 L h<sup>-1</sup> para a pressão nominal de 10,0 mca, sendo a pressão máxima recomendada de 40,0 mca. Esse modelo foi selecionado com base em levantamento no mercado local, sendo um dos mais comercializados na região de estudo, tendo como vantagem sua alta eficiência e durabilidade. Adotou-se a pressão de serviço de 15,0 mca para todos os ensaios. Além das linhas laterais, o sistema de irrigação foi composto por um conjunto motobomba de 1,5 CV, filtro de disco, manômetro e linha principal de 25,0 mm.

Após a implantação do sistema de irrigação foram realizados testes de vazão e de pressão. A duração de cada irrigação foi de 4,0 horas diárias em cada área, iniciando à meia noite (00h00) e encerrando às 04h00. As coletas de solo para a determinação da umidade foram realizadas a cada 4 (quatro) dias, sendo a amostragem iniciada uma hora após o término das irrigações.

## PARÂMETROS AVALIADOS

Os testes de uniformidade de distribuição da água foram realizados segundo metodologia proposta por Keller e Karmelli (1975), selecionando-se 16 pontos de coleta, sendo quatro linhas laterais ao longo da linha de derivação nas seguintes posições: início da área (primeira linha); 1/3 do comprimento da linha de derivação; 2/3 da linha de derivação e última linha. Em cada uma dessas linhas laterais, foram selecionados quatro pontos, nas seguintes posições: primeiro gotejador; gotejador

situado a 1/3 do comprimento; gotejador a 2/3 do comprimento e o último gotejador. Nesses pontos, as vazões dos emissores foram determinadas com auxílio de um recipiente plástico, um cronômetro e uma balança de precisão, convertendo-se o peso em volume. Para medir a pressão hidráulica no sistema de irrigação foi utilizado um manômetro acoplado ao início e ao final das linhas de irrigação, com escala de 0 a 100 mca.

Para avaliação da uniformidade de distribuição da água de irrigação, foram realizadas 03 (três) repetições de coleta para obtenção da média do volume. Em seguida foi calculada a vazão média de cada ponto considerando o tempo de 1,0 minuto, sendo o resultado transformado para  $L h^{-1}$ .

A uniformidade de distribuição da água em subsuperfície foi avaliada por meio da umidade do solo (método gravimétrico) em 2 (duas) profundidades: 0,20 m, e 0,40 m, utilizando-se a secagem do solo em estufa com variação de 105°C a 110°C, por 36 horas. Foram feitas 03 (três) coletas de solo após os eventos de irrigação, com intervalo de 04 (quatro) dias entre as coletas, com três amostras de solo para cada ponto. A distância lateral do ponto de coleta teve como base a linha de gotejo, sendo a amostragem realizada de 0,15 m a 0,20 m, alternando-se os lados em cada coleta.

Os parâmetros avaliados foram calculados a partir dos ensaios em superfície e subsuperfície, de acordo com a ABNT NBR ISO 9261 (2006), determinando-se: vazão dos emissores, coeficiente de variação de fabricação (CVf), Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE).

O coeficiente de variação de fabricação (CVf) é um parâmetro de suma importância na avaliação de sistemas de irrigação, tendo em vista que as vazões podem ser inconstantes entre emissores (SOUZA *et al.*, 2017), sendo calculado pelas equações (1) e (2):

$$CVf = \frac{Sq}{\bar{q}} \quad (1)$$

$$Sq = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |qi - \bar{q}|^2}{n}} \quad (2)$$

sendo:

$Sq$ : desvio padrão da amostra, em  $L h^{-1}$ ;

$\bar{q}$ : média das vazões coletadas nos gotejadores, em  $L h^{-1}$ .

O Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC, %) foi calculado empregando-se o modelo a seguir.

$$CUC = 100. \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |qi - \bar{q}|}{n. \bar{q}} \right] \quad (3)$$

sendo:

$n$ : número de amostras coletadas;

$qi$ : vazão do  $i$ -ésimo ponto coletado, em  $L h^{-1}$ ;

$\bar{q}$ : média das vazões coletadas nos gotejadores, em  $L h^{-1}$ .

A partir da equação (4) foi calculado o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD, %).

$$CUD = \frac{q_{25}}{\bar{q}} \tag{4}$$

sendo:

$q_{25}$ : média de ¼ das vazões com menores valores, em L h<sup>-1</sup>;

$\bar{q}$ : média das vazões coletadas nos gotejadores, em L h<sup>-1</sup>.

O Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE, %) foi determinado pela equação a seguir.

$$CUE = 100. \left(1 - \frac{Sq}{\bar{q}}\right) \tag{5}$$

sendo:

$Sq$ : desvio padrão dos valores de vazão dos gotejadores, em L h<sup>-1</sup>;

$q^i$ : vazão do i-ésimo ponto coletado, em L h<sup>-1</sup>;

$\bar{q}$ : média das vazões coletadas nos gotejadores, em L h<sup>-1</sup>;

$n$ : número de amostras coletadas.

Para as avaliações de uniformidade de irrigação na subsuperfície, foram considerados os valores de umidade do solo, em substituição à vazão dos coletores.

Os indicadores de desempenho do sistema de irrigação foram classificados seguindo critérios e limites estabelecidos pela literatura específica, conforme as Tabelas 2 e 3.

**Tabela 2** - Critérios para classificação do CVf para gotejadores (SOLOMON, 1979).

Classificação	Valores de CVf	Interpretação
Solomon (1979)	< 3	Excelente
	3 - 7	Média
	7 - 10	Baixa
	10 -14	Ruim
	> 14	Inaceitável
ABNT (1986)	< 10	Boa
	10 - 20	Média
	20 - 30	Marginal
	> 30	Inaceitável

Fonte: ABNT (1986); Solomon (1979)

**Tabela 3** - Critérios para classificação de CUC, CUD e CUE.

Classificação	CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)
Excelente	> 90	> 84	90 - 100
Bom	80 - 90	68 - 84	80 - 90
Razoável	70 - 80	52 - 68	70 - 80
Ruim	60 - 70	36 - 52	60 - 70
Inaceitável	< 60	< 36	< 60

Fonte: BERNARDO *et al.* (2009).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### IRRIGAÇÃO SUPERFICIAL

Os resultados referentes à vazão média, coeficiente de variação de fabricação (CVf) e desvio padrão dos ensaios de uniformidade do sistema de irrigação por gotejamento em superfície (T1) são apresentados na Tabela 4.

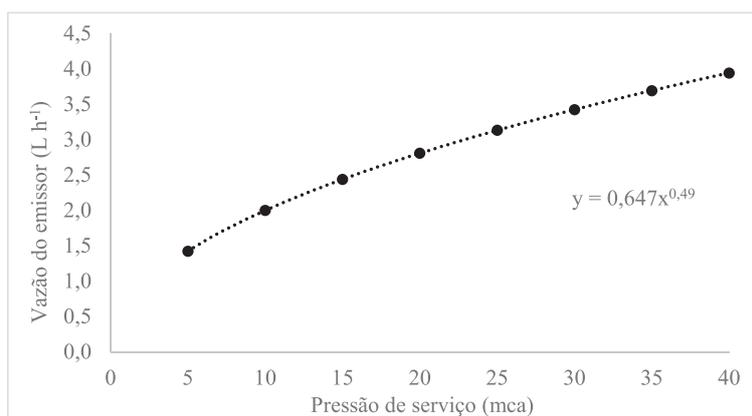
**Tabela 4** - Vazão média e coeficiente de variação de fabricação (CVf) em irrigação por gotejamento superficial (T1).

Parâmetros avaliados	1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	Média
Vazão média (L h <sup>-1</sup> )	2,26	2,25	2,24	2,25
CVf (%)	2,10	2,04	2,26	2,13
Desvio padrão	0,05	0,05	0,05	0,05

Fonte: dados da pesquisa.

De acordo com esses resultados, observa-se que as vazões médias apresentaram valores acima da vazão nominal do emissor avaliado, que é de 2,0 L h<sup>-1</sup> para uma pressão de serviço de 10,0 mca. A vazão varia positivamente com o aumento da pressão do sistema, sendo um parâmetro determinante para obtenção da lâmina de irrigação almejada. Considerando que a pressão utilizada durante os ensaios (15,0 mca) foi superior à pressão de serviço padrão indicada pelo fabricante, os valores obtidos estão na faixa normal de variação, não comprometendo os demais indicadores de desempenho avaliados. Ressalta-se que o catálogo do fabricante indica que o emissor pode operar com pressões de até 40,0 mca, conforme pode ser observado na curva característica do emissor (Figura 1).

**Figura 1** - Curva característica vazão x pressão do emissor Microdrip Netafim.



Fonte: construção do autor.

Com relação ao coeficiente de variação de fabricação (CVf), os valores variaram de 2,04 % a 2,26 %, com média de 2,13 %, enquadrando-se na classificação apresentada por Solomon (1979) como excelente para todos os testes realizados. De acordo com a ABNT (1986), esse índice é considerado

bom quando o valor é de até 10 %, portanto, o sistema avaliado encontra-se tecnicamente em conformidade com os padrões exigidos para utilização em campo.

Os resultados dos parâmetros avaliados a partir dos testes de uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação por gotejamento em superfície (T1) são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5** - Coeficientes de uniformidade (CUC, CUD e CUE) em irrigação por gotejamento superficial (T1).

Coeficientes	1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta	Média
CUC (%)	98,23	98,38	98,41	98,34
CUD (%)	97,37	97,23	96,97	97,19
CUE (%)	97,90	97,96	97,74	97,87

Fonte: dados da pesquisa.

Os valores obtidos situaram-se acima de 90% para todos os parâmetros nos diferentes ensaios, demonstrando o alto desempenho do sistema de irrigação quanto à distribuição da água na superfície do solo. De acordo com a literatura especializada (Merriam e Keller, 1978; Mantovani, 2001; Bernardo *et al.*, 2009), os coeficientes de distribuição de água: CUC, CUD e CUE, classificaram-se como excelentes para todas as avaliações realizadas. Souza *et al.* (2006) e Rodrigues *et al.* (2013) encontraram resultados semelhantes, o que corrobora com os resultados encontrados no presente trabalho. Uma das razões para explicar o alto desempenho nestes testes, é que os equipamentos e materiais instalados são novos, além de praticamente não haver variação da pressão de serviço durante os testes.

Nessas condições, portanto, a utilização da irrigação por gotejamento não comprometeria o rendimento das culturas irrigadas com esse sistema, seja pelo atendimento da lâmina pretendida, seja pela uniformidade de distribuição da água aplicada, não havendo necessidade de aplicar lâminas excedentes para compensar perdas. Com isso, o manejo da irrigação pode ser conduzido de forma a considerar as reais necessidades das culturas, evitando-se o desperdício de água e de energia.

## IRRIGAÇÃO SUBSUPERFICIAL

Na Tabela 6, apresenta-se a umidade no perfil do solo e a uniformidade de distribuição da irrigação por gotejamento subsuperficial nas profundidades de 0,20 m (T2) e 0,40 m (T3).

**Tabela 6** - Umidade do solo (Umid.) e coeficientes de uniformidade (CUC, CUD e CUE) em área irrigada por gotejamento subsuperficial.

Coletas	1ª coleta		2ª coleta		3ª coleta		Média	
	T2 (0,20m)	T3 (0,40m)	T2 (0,20m)	T3 (0,40m)	T2 (0,20m)	T3 (0,40m)	T2 (0,20m)	T3 (0,40m)
Umid. (%)	10,06	9,54	10,83	10,47	11,23	10,47	10,71	10,16
CUC (%)	94,26	94,52	89,74	95,49	92,58	93,81	92,19	94,61
CUD (%)	91,79	94,52	84,82	91,34	88,69	90,39	88,43	92,08
CUE (%)	93,40	91,99	88,20	94,32	91,44	92,71	91,02	93,01
Desv. Pad.	0,66	0,76	1,22	0,59	0,96	0,76	0,95	0,71

Fonte: dados da pesquisa.

De maneira geral, o sistema de irrigação apresentou excelente desempenho em subsuperfície, com resultados satisfatórios nas diferentes profundidades. Os valores médios dos coeficientes de uniformidade situaram-se entre 85,0 % e 95,0 %, sendo classificados como excelente (Bernardo *et al.*, 2009) para todos os parâmetros avaliados (CUC, CUD e CUE).

Os valores variaram de 89,74 % a 95,49% para o CUC, de 84,82 % a 94,52 % para CUD e de 88,20 % a 94,32 % para CUE. Os maiores valores de uniformidade registrados ocorreram na primeira coleta, na profundidade de 0,20 m (T2), para todos os coeficientes avaliados.

Os valores de CUD menores que os de CUC podem ser explicados devido as variáveis das equações na determinação dos coeficientes. O CUD possibilita uma medida mais restrita, dando maior peso às plantas que recebem menos água, sendo o mesmo adotado para o cálculo do tempo de irrigação (FRIZZONE e DOURADO NETO, 2003). Baixo valor de CUD indica que excessiva perda por percolação ocorreria se toda área recebesse lâmina maior ou igual à real necessária (MANTOVANI *et al.*, 2009). Em subsuperfície, é de grande importância que não ocorram perdas por percolação, haja vista, que a água já estará na zona radicular e por consequência mais propensa a se perder em profundidade (REIS *et al.*, 2017).

Os resultados referentes ao CUE ratificam que o sistema opera normalmente dentro dos valores aceitáveis de uniformidade para irrigação localizada, indicando um bom desempenho em ambas as profundidades estudadas.

A aplicação dos valores de uniformidade serve como referência do que está ocorrendo com os sistemas de irrigação localizada ao longo de seu uso (RODRIGUES *et al.*, 2013). As diferenças percentuais ora encontradas mostraram-se muito baixas, confirmando a validade das equações empregadas e viabilizando a comparação entre resultados de uniformidade dos diferentes métodos utilizados, através da estimativa desses coeficientes de uniformidade. Para Favetta e Brotel (2001), o uso dessas equações mostra-se potencialmente interessante na avaliação periódica pós implantação de sistemas de irrigação.

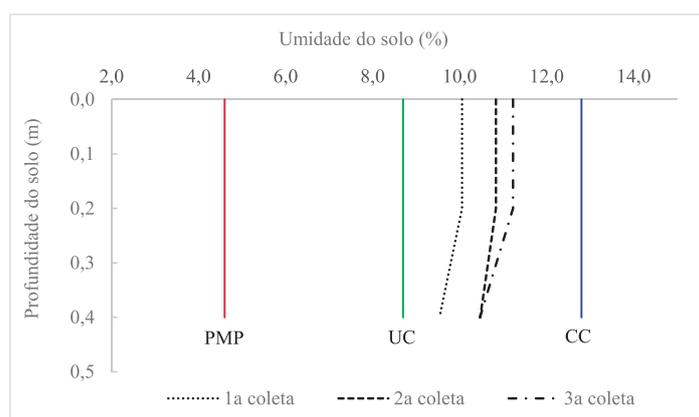
Com relação à umidade do solo, determinada uma hora após a irrigação (Tabela 6), os valores variaram de 9,54 % a 11,23 %, estando dentro da faixa da água disponível, ou seja, entre o ponto de murcha (4,6 %) e a capacidade de campo (12,8 %). Considerando a média das coletas em cada profundidade,

a umidade do solo situou-se sempre acima da umidade crítica (8,7 %). De acordo com PEREIRA *et al.* (2010), a umidade crítica representa o ponto em que a planta pode consumir água entre duas irrigações sucessivas, sem sofrer déficit hídrico. O valor utilizado no presente trabalho está de acordo com recomendação de Allen *et al.* (1998), que recomenda para o valor de umidade crítica, 50 % do esgotamento da umidade disponível do solo para culturas de campo em regiões áridas e semiáridas. Dessa forma, nas condições avaliadas, não haveria comprometimento da absorção de água pela maioria das culturas de interesse agrônômico, proporcionando rendimento máximo (DOORENBOS e KASSAM, 1994).

Analisando a umidade nas camadas do solo, observa-se que ocorreu pequena variação nos valores, tanto entre as coletas realizadas, quanto em profundidade, com boa distribuição da água no perfil do solo (Figura 2). Considerando que os valores não ultrapassaram a capacidade de campo em nenhuma das coletas, infere-se que não houve tendência de percolação. Com isso, a umidade manteve-se na faixa de armazenamento de água no solo, ou seja, em condições normais de atendimento das necessidades hídricas de diferentes culturas agrícolas.

**Figura 2** - Distribuição da umidade do solo no perfil em três coletas.

PMP: ponto de murcha permanente; CC: capacidade de campo; UC: umidade crítica.



Importante frisar que a lâmina a ser aplicada durante o manejo da irrigação em determinada cultura, varia com as características do solo, do clima e da própria cultura, incluindo as fases de desenvolvimento. Nesse sentido, os resultados obtidos não representam uma lâmina específica a ser adotada, sendo apenas um indicativo de que os valores empregados estão adequados para as condições estudadas.

## CONCLUSÃO

- I - Os coeficientes de uniformidade apresentaram excelente desempenho para todos os ensaios quanto à distribuição da água na superfície do solo;
- II - A distribuição da água em subsuperfície apresentou boa uniformidade para todos os parâmetros avaliados nas diferentes profundidades;

III - Com relação às lâminas aplicadas, os valores de umidade do solo indicaram boa distribuição no perfil do solo, situando-se acima da umidade crítica para as diferentes profundidades, podendo ser adotada em diferentes situações de cultivo, clima e solo.

## REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 9261**: equipamentos de irrigação agrícola. Emissores e tubos emissores. Especificação e métodos de ensaio. São Paulo: ABNT, 2006. 17p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Requisitos mínimos para elaboração de projetos de sistema de irrigação localizada**. São Paulo: ABNT, 1986.18p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. 2 ed. Brasília: ANA, 2021.

AGUIAR, F. **Gotejamento enterrado é novidade na irrigação da cana**. Agriannual 2002: FNP Consultoria e Comércio. São Paulo, p. 256-7, 2002.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO, 1998. 300p. (FAO - Irrigation and Drainage Paper, 56).

AYARS, J.E.; *et al.* Subsurface drip irrigation of rows crops: a review of 15 years of research at the water management research laboratory. **Agricultural Water Management**, n. 42, p. 1-27, 1999.

BASTOS, E. A.; NUNES, B. H.; ANDRADE JUNIOR, A. S. **Dados Agrometeorológicos para o município de Parnaíba, PI**. Teresina: EMBRAPA, 2000. 27p. (Documento, 46).

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2009. 625p.

DASBERG, S.; BRESLER, E. **Drip irrigation manual**. Israel: International Irrigation Information Center (IIIC), 1985. 95p. (IIIC Publication n 9).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, Estudos FAO Irrigação e Drenagem, n. 33, 1994. 306p. (Tradução de H.R. GHEYI).

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018. 356p.

FAVETTA, G. M.; BOTREL, T. A. Uniformidade de sistemas de irrigação localizada: validação de equações. *Scientific Agricola*. 2001, 58, 427-430.

FRIZZONE, J. A.; DOURADO NETO, D. **Avaliação de sistemas de irrigação**. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. de M. (Org.). Irrigação. Piracicaba, SP: FUNEP, 2003. p. 573-651.

HOWELL, T. A. **Irrigation role in enhancing water use efficiency**. In: National Irrigation Symposium. American Society of Agricultural Engineers, Phoenix, Arizona, 2000. p. 66-80.

KELLER, J; KARMELI, D. **Trickle Irrigation Design**. Glendora: Rain Bird Manufacturing Corporation, 1975. 132p.

MANTOVANI, E. C. **Avalia**: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada. Viçosa: UFV. 2001.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação**: princípios e métodos. 2. ed., atual. e ampl. Viçosa: UFV, 2009. 355p.

MARQUES, P. A. A.; *et al.* **O estado da arte da SDI**. Colloquium Agrarian, v. 2, p. 17-31, 2006.

MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation**: a guide for management. Logan: Utah State University, 1978. 271p.

PEREIRA, L.S.; VALERO, J.A.J.; BUENDÍA, M.R.P. ; MARTÍN-BENITO, J.M.T. **El riego e sus tecnologías**. Albacete: CREA-UCLM, 2010, 296p.

PHENE, C.J.; RUSKIN, R. Potential of subsurface drip irrigation for management of nitrate in wastewater. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5., 1995, St. Joseph. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 1995. p. 155-161.

REIS, R.M., *et al.* Vazão e uniformidade de distribuição de tubo gotejador em superfície e subsuperfície. **Brazilian Journal of Irrigation and Drainage - Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 4, p. 690-700, 2017.

REZENDE, R., *et al.* Influência do espaçamento entre aspersores na uniformidade de distribuição de água acima e abaixo da superfície do solo. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 257-261. 1998.

RIBEIRO, P. A. de A.; TEIXEIRA, M. B.; COELHO, R. D.; FRANCO, E. M.; SILVA, N. F.; CARVALHO, L. C. C. de; ALVES, M. E. B. Gotejadores submetidos a condições críticas de qualidade da água. **Brazilian Journal of Irrigation and Drainage - Irriga**, Botucatu, Ed. Especial, p. 368-379, 2012.

RODRIGUES, R. R.; COLA, M. P. A.; NAZÁRIO, A. A.; AZEVEDO, J. M. G. DE; REIS, E. F. DOS. Eficiência e uniformidade de um sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Ambiência**, Guarapuava. 2013, v. 9, n. 2, p. 323-334.

ROGERS, D.H; LAMM, F.R.; AGUILAR, J. **Subsurface Drip Irrigation in Kansas: An Overview**. K-State Research and Extension, Kansas State University, 2018.

SKAGGS, T.H., T.J. TROUT, J. SIMUNEK, AND P. J. SHOUSE. 2004. Comparison of HYDRUS-2D simulations of drip irrigation with experimental observations. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, ASCE, v. 130, Issue 4, p. 304-310.

SOLOMON, K. Manufacturing variation of trickle emitters irrigation equipment. **American Society of Agricultural Engineers**, v. 22, p. 1034-1038, 1979.

SOUZA, L. O. C.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A.; RAMOS, M. M.; FREITAS, P. S. L. Avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento, utilizados na cafeicultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 10, n. 3, jul./set. 2006.

SOUZA, M. H. C.; SANTOS, R. D. S.; BASSOI, L. H. Avaliação da uniformidade de um sistema de irrigação por gotejamento. In: IV Inovagri International Meeting. Fortaleza, 2017. Disponível em: <https://inovagri.org.br/anais/> Acesso em: mar. 2024.

YAO, W. W.; MA, X. Y.; LI, J.; PARKES, M. Simulation of point source wetting pattern of subsurface drip irrigation. **Irrigation Science**, Yangling, v. 29, n. 4, p. 331-339, 2011.