

UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA EM IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO COM TUBOS EMISSORES

Sebastião Avelino Neto¹, Marcos Ramos Ferreira², Felipe Vinicius de Oliveira Silva³

RESUMO: O objetivo do trabalho foi realizar a caracterização hidráulica dos tubos emissores das marcas Drip-Plan e Rivulis Irrigação, modelo Drip-Tech PC/AS e Hydro PC, respectivamente. Os ensaios foram realizados no laboratório de Engenharia Agrícola da CET, onde foi coletada com água natural e residuária, submetidos as pressões de 40, 60, 80, 100, 120 e 144 kPa. O tubo emissor Drip-Tech PC/AS segundo a norma ISO 9261:2006 tem ótima uniformidade de fabricação para todos os tipos de água e pressões ensaiadas, baixo valor do expoente “x”, e excelentes valores de CUC, CUE e Us. O tubo emissor Hydro PC apresentou baixo valor do expoente “x”, e atendeu a norma ISO 9261:2006 de uniformidade de fabricação, quando ensaiado com água natural, submetido às pressões de 100, 120 e 144 kPa, e esteve em desacordo com a norma trabalhando com água natural nas pressões de 40, 60 e 80 kPa. Quando ensaiado com água residuária, o tubo emissor Hydro PC atendeu a norma nas pressões de 60, 80 e 100 e 120 kPa, e esteve em desacordo com a norma trabalhando com água residuária nas pressões de 40 e 144 kPa. Os valores de CUC, CUE e Us foram considerados excelentes, sendo recomendado para ser utilizado por agricultores.

PALAVRAS-CHAVE: coeficiente de uniformidade, irrigação localizada, tubo gotejador.

UNIFORMITY OF WASTEWATER DISTRIBUTION IN DRIP IRRIGATION WITH EMITTING PIPES

ABSTRACT: The objective of this work was to perform the hydraulic characterization of the emitting tubes of the brands Drip-Plan and Rivulis Irrigation, model Drip-Tech PC/AS and Hydro PC, respectively. The tests were carried out in the Agricultural Engineering laboratory of CET, where it was collected with natural and wastewater under pressures of 40, 60, 80, 100,

¹ Doutor em Engenharia Civil, Professor Engenharia Agrícola Campus de Ciências Exatas e Tecnológicas Henrique Santillo (CCET), Caixa Postal 459, CEP: 75132400, Anápolis – GO, savneto@gmail.com

² Engenheira Agrícola

³ Engenharia Civil

120 and 144 kPa. The Drip-Tech PC/AS emitter tube according to ISO 9261:2006 has excellent manufacturing uniformity for all types of water and pressures tested, low value of the exponent "x", and excellent values of CUC, CUE and Us. The Hydro PC emitting tube presented low value of the exponent "x", and met the ISO 9261:2006 standard of manufacturing uniformity, when tested with natural water, subjected to pressures of 100, 120 and 144 kPa, and was in disagreement with the standard working with natural water at pressures of 40, 60 and 80 kPa. When tested with wastewater, the Hydro PC emitting tube met the standard at pressures of 60, 80 and 100 and 120 kPa, and was at odds with the standard working with wastewater at pressures of 40 and 144 kPa. The values of CUC, CUE and Us were considered excellent and were recommended for use by farmers.

KEYWORDS: coefficient of uniformity, localized irrigation, drip tube.

INTRODUÇÃO

Na irrigação por gotejamento, as vazões fornecidas pelos emissores são pequenas e qualquer variação observada pode causar problemas, muitas vezes irreversíveis às culturas irrigadas, tanto pelo excesso de água aplicada, como principalmente, pelo déficit de água, portanto, essa distribuição de água torna-se crítica (ANDRADE & BORGES JUNIOR, 2008).

O controle de qualidade na fabricação dos emissores é de suma importância, pois lotes de emissores com alto coeficiente de variação de fabricação podem proporcionar vazões inconstantes (SOUZA et al., 2012). Os materiais utilizados no processo de fabricação dos tubos gotejadores, bem como o próprio processo de fabricação, fazem com que os emissores de um mesmo modelo não sejam exatamente iguais entre si, e como consequência, podem ocasionar diferentes vazões, mesmo quando trabalhando com a mesma pressão de serviço. Isto caracteriza os efeitos dos aspectos construtivos, que são avaliados pelo coeficiente de variação de fabricação (VON BERNUTH & SOLOMON, 1986; GOMES, 2013).

São diversas as marcas de tubos emissores e gotejadores existentes no mercado, e devido a todas as variáveis envolvidas no processo de fabricação, e as prováveis consequências de uniformidade e eficiência na aplicação da água, podendo afetar diretamente o dimensionamento de um sistema de irrigação. Assim, torna-se importante avaliar através de ensaios laboratoriais e de campo, sendo objetivo deste trabalho caracterizar hidráulicamente os tubos de emissão com água residuária, pois, com a tendência mundial do uso de águas residuárias em sistemas

de irrigação por gotejamento, as características de desempenho hidráulicos dos tubos de emissão e de gotejadores podem mudar, justificando desta forma este trabalho.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Câmpus Central - Sede: Anápolis – CET, sendo utilizado água natural de um poço artesiano e água residuária de uma fossa séptica.

Delineamento experimental

No delineamento experimental: foram analisados dois tubos emissores autocompensantes, das marcas Drip-Tech PC/AS e Hydro PC, utilizando-se dois tipos de água, água natural (AN) e água residuária (AR), sendo submetidos a seis diferentes pressões, sendo elas 40; 60; 80; 100; 120 e 144 kPa. Foi montada, uma bancada para a realização dos ensaios dos tubos emissores, constituída por dois reservatórios de 250 litros, motobomba, filtro de disco com 200 mesh, manômetro, coletores e balança digital.

Ensaio e amostragem

Para o ensaio e amostragem foi seguido a norma ABNT (2006), para cada modelo de tubo emissor, foi coletada a vazão das 36 unidades de emissores, quatro repetições cada, para cada uma das seis diferentes pressões, com 2 tipos de água, totalizando 864 vazões para cada modelo em um determinado tipo de água, sendo 3456 vazões registradas no total. A vazão foi medida com o auxílio de uma balança digital com precisão de 0,01 g, e transformada em volume, sendo que o tempo para cada ensaio foi de 3 minutos.

Coefficiente de variação de fabricação

Segundo Solomon (1979) está relacionado diretamente ao processo de fabricação, sendo obtido a partir dos valores das vazões medidas e expressa através das equações 1.

$$C_{vf} = \frac{s}{\bar{q}} \cdot 100 \quad (1)$$

Em que: C_{vf} - coeficiente de variação de fabricação, (%); s - desvio-padrão da vazão da amostra, ($L h^{-1}$); \bar{q} - vazão média da amostra, ($L h^{-1}$);

Equação característica do emissor

Descreve o comportamento da vazão em função da pressão de funcionamento do sistema, e depende das características geométricas dos emissores, pressão de serviço e viscosidade do fluido (KELLER & KARMELI, 1974) obtida pela equação 2.

$$q = K.P^x \quad (2)$$

Em que: K - constante de proporcionalidade, específica para cada emissor; q - a vazão do gotejador, (L h⁻¹); P - pressão em que opera o emissor, (kPa); x - expoente que caracteriza o regime de fluxo no emissor (adm).

Coefficientes de uniformidade

Foram efetuados os cálculos de uniformidade de aplicação de água pelos métodos mais utilizados na literatura: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade Estatística (Us), e o Coeficiente de Uniformidade de Emissão (CUE).

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - q_m|}{n \cdot q_m} \right] \quad (3)$$

Em que, CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, (%); q_i - vazão de cada emissor, (L h⁻¹); q_m - vazão média dos emissores, (L h⁻¹); n - número de emissores.

$$Us = 100 \left\{ 1 - \frac{Sq}{q_m} \right\} \quad (4)$$

Em que, Us - coeficiente de uniformidade estatística, (%); Sq - desvio padrão da vazão do emissor, (L h⁻¹); q_m - vazão média do emissor, (L h⁻¹).

$$CUE = 100 \left(\frac{q_{25\%}}{q_{med}} \right) \quad (5)$$

Em que, CUE - coeficiente de uniformidade de emissão, (%); q_{25%} - média de 25% dos menores valores de vazões observadas, (L h⁻¹); q_{med} - média de todas as vazões coletadas, (L h⁻¹).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Coeficiente de variação de fabricação emissor

Os valores que constituem o tubo emissor de modelo Drip-Tech PC/AS quando ensaiado com água natural e água residuária, apresentaram variação do coeficiente de variação de fabricação entre 4,04 e 6,21 % para todas as pressões, sendo classificados segundo a norma da ABNT (2006), como de ótima uniformidade de fabricação, estando abaixo do limite de variação permitido de 7%, e classificado Solomon (1979), uniformidade de fabricação média, com valores que variam entre 3 e 7 %.

Tabela 1. Coeficiente de variação de fabricação (Cvf) dos Tubos Emissor Drip-Tech PC/AS e Hydro PC utilizando água natural e água residuária.

Pressões (kPa)	Cvf (%)			
	Tubo Emissor Drip-Tech PC/AS		Tubo Emissor Hydro PC	
	Água Natural	Água Residuária	Água Natural	Água Residuária
40	5,28	5,49	10,66	7,38
60	6,21	6,08	9,93	5,64
80	5,74	6,17	10,46	6,67
100	5,60	4,87	6,13	5,36
120	5,26	4,04	5,58	5,18
144	4,56	5,26	5,21	8,21

O tubo emissor de modelo Hydro PC, pode ser classificado segundo a norma da ABNT (2006) como de ótima qualidade de fabricação quando ensaiado com água natural, trabalhando nas faixas de pressões de 100, 120, e 144 kPa, com coeficientes variando entre 5,21 e 6,13 %, enquanto para água residuária trabalhando nas pressões de 60, 80, 100 e 120 kPa, com valores variando entre 5,18 e 6,67 %, estando abaixo do limite de variação permitido pela norma de 7%.

Solomon (1979), classifica como uniformidade de fabricação média o tubo de modelo Hydro PC quando utilizando água natural nas pressões de 100, 120, e 144 kPa, e para a água residuária nas pressões de 60, 80, 100 e 120 kPa pois possuem valores de Cvf variando entre 3 e 7 % conforme tabela 1.

O tubo emissor Hydro PC esteve em desacordo com a norma ABNT (2006) quando ensaiado com água natural trabalhando nas pressões de 40, 60 e 80 kPa, e para água residuária nas pressões de 40 e 144 kPa com valores estando acima do limite de variação de 7 % conforme tabela 1, apresentando uma uniformidade de fabricação ruim, com valores de Cvf e por Solomon (1979), como de uniformidade marginal à pobre.

Equação característica emissor Drip-Tech PC/AS

Quando utilizado água natural, e plotando-se 144 valores de vazões média coletados para cada pressão, através de uma regressão linear simples resultaram na equação $q = 2,3945 \cdot P^{0,0879}$, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,2013 o que indica que a variação de pressão tem 20,13 % de influência na variação de vazão. O expoente “x” da equação característica do tubo emissor Drip-Tech PC/AS é representado por 0,0879, demonstrando um menor efeito da variação da pressão sobre a vazão (KELLER & KARMELI, 1974) e atende a norma da ABNT (2006), onde tubos autocompensantes não devem exceder 0,2.

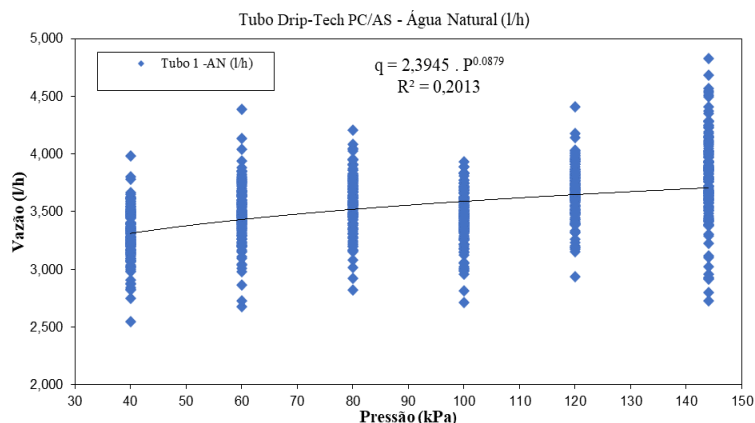


Figura 1. Curva Característica do Tubo emissor Drip-Tech PC/AS utilizando-se água natural.

A curva característica do tubo emissor Drip-Tech PC/AS, quando utilizado água residuária, obtida com 144 valores de vazão é apresentado no gráfico 2, sendo obtida a equação $q=1,7532 \cdot P^{0,1447}$, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,3837 o que significa uma menor relação entre a pressão e a vazão, indicando que o aumento da vazão deve-se em 38 % ao aumento da pressão. O valor do expoente “x” é 0,1447, apresentando o mesmo comportamento quando utilizado com água natural, onde existe um menor efeito da variação da pressão sobre a vazão (KELLER & KARMELI, 1974).

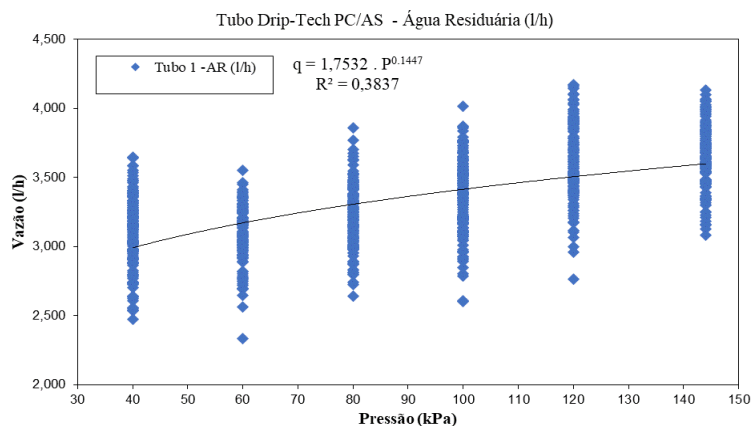


Figura 2. Curva Característica do Tubo emissor Drip-Tech PC/AS utilizando-se água residuária.

Equação característica emissor Hydro PC

A equação característica obtida com água natural, através da regressão linear simples de 144 valores de vazões coletados para cada pressão é representada por $q = 1,3684 \cdot P^{0,1237}$, com um valor de expoente “x” próximo a 0, onde segundo Keller & Karmeli (1974), isso demonstra um menor efeito da variação da pressão sobre a vazão, atendendo a norma da ABNT (2006), onde tubos autocompensantes o valor do expoente “x” não deve exceder 0,2. O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,199, o que confirma essa menor dependência da vazão em relação a pressão, o que indica que a variação de pressão representa em 19,9 % a variação de vazão, Gráfico 3.

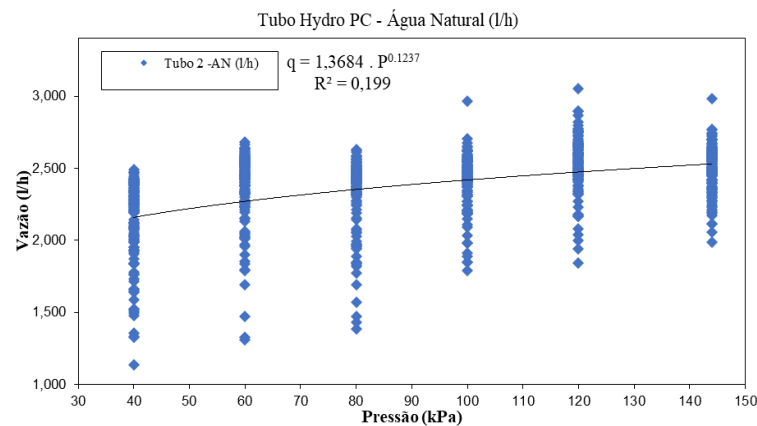
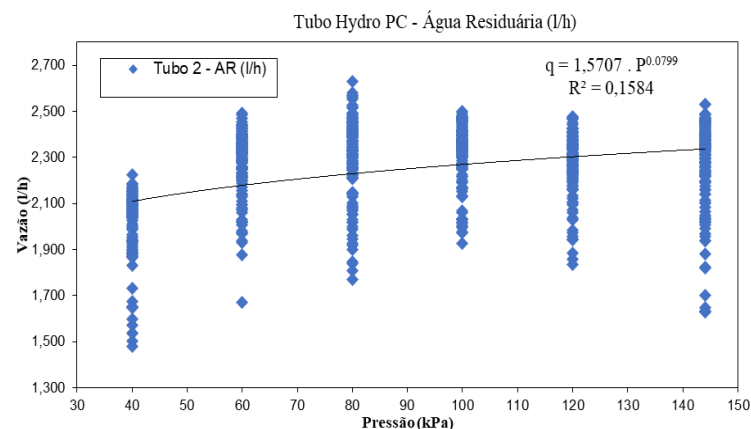


Figura 3. Curva Característica do Tubo emissor Hydro PC utilizando-se água natural.

A Figura 4, mostra a relação vazão versus pressão dos valores obtidos através da coleta de dados utilizando água residuária, a curva característica do emissor, e sua respectiva equação característica obtida através de uma regressão linear simples, sendo representada por $q = 1,5707 \cdot P^{0,0799}$, com coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,1584, o que representa que o aumento da vazão se deve em 15,84 % ao aumento da pressão. O valor de expoente “x” para o tubo Hydro PC, quando utilizado água residuária, tende a 0, sendo expresso por 0,0799, atendendo a norma da ABNT (2006).



Fonte: Autor, 2022.

Figura 4. Curva Característica do Tubo emissor Hydro PC utilizando-se água residuária.

Uniformidade de Christiansen (CUC)

Utilizando água residuária, o Tubo emissor Drip-Tech apresentou excelente uniformidade segundo a classificação de Christiansen (1942) obtidos pela equação 3, para todas as seis pressões ensaiadas, com valores entre 94,96 e 96,60 %. Tais resultados confirmam os excelentes índices de uniformidade do sistema de irrigação localizada por gotejamento. Os valores de CUC geralmente apresentam valores elevados, pois utilizam em sua formulação todos os dados coletados, dados estes que giram em torno da média, portanto, apresentam valores baixos somente quando existe problemas severos de entupimento de emissores.

O tubo emissor Hydro PC, CUC apresentaram excelente uniformidade para as seis pressões ensaiadas com água residuária, com percentuais variando entre 94,04 e 96,07 %. Os resultados obtidos confirmam as excelentes taxas de uniformidade do sistema de irrigação localizada por gotejamento, onde não houve influências diretas do parâmetro de qualidade da água, no percentual de uniformidade.

Uniformidade estatística emissor (Us)

Os coeficientes de uniformidade estatística do tubo emissor Drip-TechPC/AS, calculados através da Equação 4, utilizando os 144 valores de vazões coletados durante o experimento, para cada tipo de água e pressão. Valores de Us para água residuária, variaram entre 93,82 e 95,95 %, para o Tubo emissor Drip-Tech PC/AS, apresentando excelente uniformidade de distribuição de água, segundo a classificação de Mantovani (2001).

O tubo emissor Hydro PC, quando utilizado com água residuária, apresentou valores de Us que variam entre 91,58 e 94,84 %, sendo classificados segundo Mantovani (2001), como de excelente uniformidade de distribuição de água.

Uniformidade de emissão (CUE)

Os valores de CUE para o tubo emissor Drip-Tech PC/AS, calculados através da Equação 5, utilizando água residuária, apresentaram excelente uniformidade de distribuição de água, segundo classificação de Mantovani (2001), com valores que variam entre 88,42 e 92,80 %. Utilizando água residuária, o tubo emissor Hydro PC apresentou excelente uniformidade de distribuição de água, de acordo a classificação de Mantovani (2001), apresentando valores superiores à 84 %, que variam entre 92,62 e 94,82 %.

CONCLUSÕES

A qualidade da água não foi fator determinante para a uniformidade dos tubos emissores autocompensantes Drip-Tech PC/AS e Hydro PC.

Quando ensaiado com água natural, o tubo emissor Hydro PC atendeu a norma da ABNT (2006) quando ensaiado nas pressões de 100, 120 e 144 kPa, com valores de Cvf abaixo de 7 %, variando entre 5,21 e 6,13 %. O referido tubo esteve em desacordo com a norma trabalhando nas pressões de 40, 60 e 80 kPa, com Cvf variando entre 9,93 e 10,66 %,

O tubo emissor Drip-Tech PC/AS apresentou valores de coeficientes de variação de fabricação dentro dos limites de 7 % permitidos pela norma da ABNT (2006), quando utilizado água natural e água residuária, variando entre 4,56 e 6,21 %.

Quando ensaiado com água residuária, o tubo emissor Hydro PC atendeu a norma da ABNT (2006) quando trabalhado nas pressões de 60, 80 e 100 e 120 kPa, com valores de Cvf abaixo de 7 %, variando entre 5,18 e 6,67 %. O referido tubo esteve em desacordo com a norma trabalhando nas pressões de 40 e 144 kPa, com Cvf de 7,38 e 8,21 %.

Os tubos emissores Drip-Tech PC/AS e Hydro PC apresentaram vazões médias superiores quando utilizado água natural, em todas as pressões ensaiadas.

Os tubos emissores Drip-Tech PC/AS e Hydro PC apresentaram valores de expoente "x" menor que 0,2 quando utilizado água natural e residuária, atendendo exigências da norma da ABNT (2006) para tubos autocompensantes.

Quando utilizado água natural e residuária, os tubos emissores Drip-Tech PC/AS e Hydro PC obtiveram valores de CUC variando entre 91,97 e 96,60 %, valores de Us variando entre 91,58 e 95,95 %, e valores de CUE entre 85,13 e 94,82 %, sendo todos classificados como de excelente uniformidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 9261:2006**. Equipamentos de Irrigação Agrícola – Emissores e tubos emissores – Especificação e métodos de ensaio, Rio de Janeiro, 2006, 17p.

ANDRADE, C. DE L. T DE; BORGES JUNIOR, J. C. F. Seleção do método de irrigação. In: ALBUQUERQUE, P. E. P. DE; DURÃES, F. O. M. (Ed.). **Uso e manejo de irrigação**. Brasília: EMBRAPA, 2008. cap. 7, p. 317-399.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by Sprinkling**. Berkeley: California Agricultural Station. 1942. 124p. Bulletin, 670.

GOMES, H. P. Irrigação por Gotejamento e Microaspersão. In: **Sistemas de Irrigação: Eficiência Energética**. João Pessoa: Editora da UFPB, 2013, p. 71-104.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design parameters**. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 17, n. 2, p. 678-684, 1974.

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

SOLOMON, K. **Manufacturing variation of trickle emitters**. Transactions of the ASAE. St. Joseph. 22, n.5, p. 1034-1038, 1979.

SOUZA, W. DE J.; BOTREL, T. A.; COELHO, R. D.; NOVA, N. A. V. Irrigação localizada subsuperficial: gotejador convencional e novo protótipo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 811-819, 2012.

VON BERNUTH, R; SOLOMON, K, H. Emitter construction. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production**. Phoenix, Chapter 2, p. 27-52, 1986.