

## CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DA FITA GOTEJADORA TURBO TAPE®

Ana Claudia Sátiro de Araujo<sup>1</sup>, Diego José de Sousa Pereira<sup>2</sup>, Verônica Martins Gaspar de Melo<sup>3</sup>, Wagner Ávila Bombardelli<sup>2</sup>, Antonio Pires de Camargo<sup>4</sup>, José Antônio Frizzone<sup>5</sup>

**RESUMO:** Foram estudadas as características hidráulicas da fita gotejadora Turbo Tape® com emissor contínuo de fluxo turbulento não compensador de pressão integrado, com espessuras de parede de 6 e 8 MIL (0,150; 0,200mm, respectivamente). O experimento foi conduzido no Laboratório de Ensaio de Material de Irrigação do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP. Para cada amostra foram determinadas as equações características do emissor, o coeficiente de variação de vazão devido a efeitos de fabricação e a variação do diâmetro externo na temperatura de  $23\pm 3$  °C e em diferentes temperaturas da água (30, 40 e 50°C). As características hidráulicas estudadas estão de acordo com o recomendado pela norma ABNT (2006). O diâmetro externo da fita gotejadora apresentou deformação proporcional à pressão aplicada, quando submetidas à temperatura de 50°C, entretanto, para a temperatura de 23°C essa deformação se mostrou melhor ajustada por um modelo potencial.

**PALAVRAS-CHAVE:** emissor; irrigação por gotejamento; temperatura

## HYDRAULIC CHARACTERIZATION OF TURBO TAPE® DRIP TAPE

**ABSTRACT:** The hydraulic performance of Turbo Tape® drip tape with continuous non-compensating emitter and thicknesses of 6 and 8 MIL (0.150 and 0.200mm, respectively) was evaluated. The experiment was conducted at the Laboratory of Tests of Irrigation Material of the Department of Engineering of Biosystems of the School of Agriculture "Luiz de Queiroz" - ESALQ / USP. For each sample, were determined the characteristic equations, the coefficient

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ-USP, Piracicaba – SP, email: satiroagro@gmail.com

<sup>2</sup> Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ-USP, Piracicaba – SP

<sup>3</sup> Mestranda em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ-USP, Piracicaba – SP

<sup>4</sup> Professor doutor, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas-SP

<sup>5</sup> Professor titular, Departamento de Engenharia de Biosistemas, ESALQ-USP, Piracicaba-SP

of flow variations and the variation of the external diameter at the temperature of  $23 \pm 3$  °C and at different water temperatures (30, 40 and 50 °C). The hydraulic characteristics studied are in accordance with the recommended by ABNT (2006). The external diameter of the drip tape presented a deformation proportional to the applied pressure at temperature of 50 °C. However, for the temperature of 23 °C, this deformation was better adjusted by a potential model.

**KEYWORDS:** emitter; drip irrigation; temperature

## INTRODUÇÃO

No Brasil, considerando os diferentes usos consuntivos da água, a irrigação é responsável pelo uso de 67% da vazão de consumo, sendo a média global de cerca de 70% (ANA, 2017). Com o aumento populacional e conseqüentemente maior demanda de alimentos e água, a irrigação ganha destaque no debate sobre uma agricultura mais eficiente e sustentável. Segundo Zhangzhong et al (2018), encontrar um equilíbrio entre os recursos hídricos disponíveis e o aumento da demanda de água pela produção agrícola é crítico, especialmente nas regiões áridas e semi-áridas. Neste cenário, estudos sobre técnicas voltadas à diminuição do consumo de água pelas culturas, associadas a sistemas de irrigação mais eficientes, têm sido amplamente observados pelo mundo. O sistema de irrigação por gotejamento, quando manejado adequadamente, oferece muitas vantagens sobre outros sistemas de irrigação, tais como: maior uniformidade de distribuição, melhor eficiência do uso da água, diminuição das perdas por percolação e por escoamento superficial (CORDEIRO et al., 2001) e baixa ou nenhuma perda por evaporação (BERNARDO; SOARES; MONTOVANI, 2006). Embora apresente inúmeras vantagens, fatores relacionados ao projeto desses sistemas, tais como, variações de pressão, temperatura da água e obstrução, exercem considerável influência quanto ao seu uso, pois refletem na vazão dos emissores e conseqüentemente na uniformidade de distribuição de água. A irrigação por gotejamento tem como um dos mecanismos centrais o emissor, que segundo Dasberg & Or (1999) é um dispositivo usado para dissipar a energia de pressão e descarregar a água a uma taxa constante em diversos pontos ao longo de uma lateral. A dissipação de energia nos emissores se dá por meio de um bocal estreito ou por um caminho de fluxo longo, que diminui a pressão da água e permite a descarga de apenas alguns litros por hora (KELLER & KARMELI, 1974). Portanto, uma importante variável a se considerar no projeto é variação de fabricação dos emissores,

pois, de acordo com Oliveira et al. (2000), as seções transversais de fluxo são normalmente de diâmetros reduzidos e assim, a fabricação deverá ser precisa e bastante uniforme, pois pequenas variações poderão causar grandes diferenças na vazão. Conhecer e quantificar a influência destes fatores é de extrema importância para a caracterização hidráulica do emissor. A relação vazão-pressão, a perda de carga ao longo da linha lateral e no emissor e o percurso da água no mesmo, constituem as características hidráulicas que influenciam diretamente o desempenho do sistema. Essas características dependem do tipo de emissor, do material, do processo de fabricação e da forma de conexão do emissor na linha lateral (FRIZZONE et al., 2012). Assim, para o projeto e operação de um sistema de irrigação é fundamental o conhecimento das suas características hidráulicas (KANDA et al., 2018).

O objetivo deste trabalho foi determinar as características hidráulicas da fita gotejadora Turbo Tape® com emissor contínuo de fluxo turbulento não compensador de pressão integrado, analisando-se a equação característica do emissor, o coeficiente de variação de vazão devido a efeitos de fabricação e a variação do diâmetro externo, uma vez que essas especificações técnicas não se encontram completas no catálogo do fabricante.

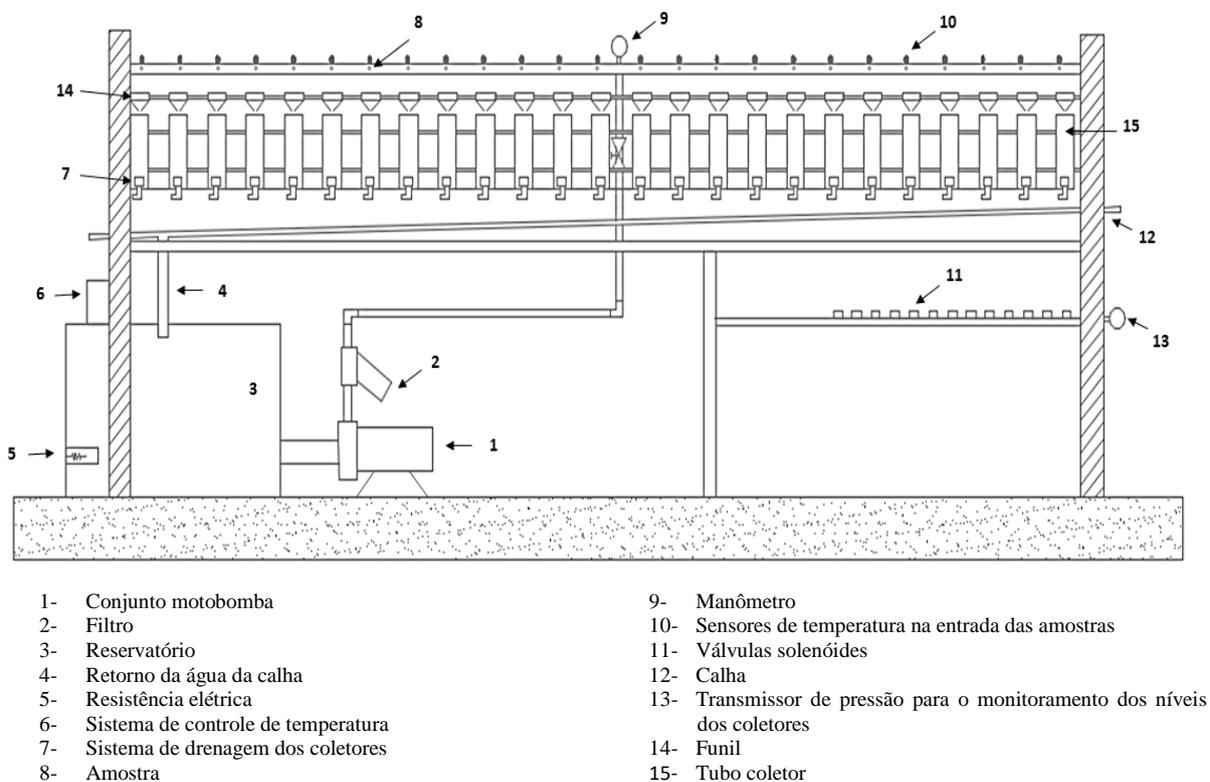
## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Ensaios de Material de Irrigação (LEMI) do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP.

A estrutura de ensaios (Figura 1) contou com um sistema de bombeamento integrado a um inversor de frequência, esse sistema permitia a variação de velocidade do motor de acordo com a pressão requerida no ensaio, evitando assim o controle manual da pressão através de válvulas ou registros. Um sistema automatizado permitiu a inserção dos dados pertinentes aos ensaios (vazão nominal do emissor, pressão inicial, pressão final e intervalo entre pressões) através da interface gráfica de um software que acionava a rotina de ensaio. A partir disso o software gerenciava rotinas executadas por um módulo microcontrolado responsável pelo monitoramento do processo e controle dos atuadores. O sistema possuía recursos que permitiam: o controle e monitoramento contínuo da pressão de ensaio utilizando controle Proporcional, Integral, Derivativo (PID); determinação automatizada da vazão individual de 25 emissores instalados na bancada utilizando transdutor de pressão que determinava as variações de nível no interior dos tubos coletores; monitoramento da temperatura da água e do

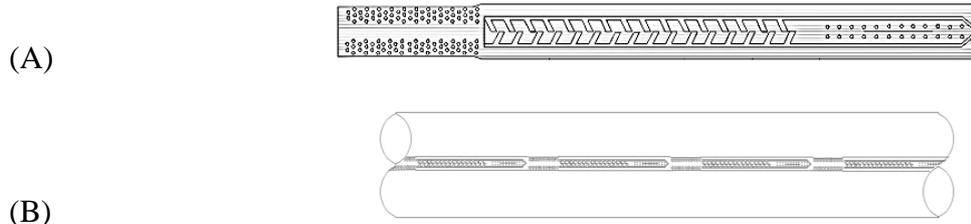
ar; geração de relatórios de ensaio. Todas as variações intervenientes nos ensaios podiam ser visualizadas continuamente na interface gráfica do software.

Uma linha de derivação permitia a instalação de 25 seguimentos de fitas gotejadoras em paralelo. A coleta dos dados de vazão dos emissores foi realizada a partir de um sistema de medição automatizado baseado na diferença de nível final e inicial de água em tubos coletores de corpo cilíndrico, com diâmetro da seção circular de aproximadamente 0,2 m e altura de aproximadamente 1 m. Um transmissor de pressão e válvulas solenóides, foram responsáveis pelo fechamento e abertura automático do sistema de drenagem dos referidos tubos coletores. A pressão durante cada ensaio foi monitorada com a utilização de um transmissor de pressão, com faixa de leitura de 0 a 5 bar. Um reservatório para o suprimento de água possuía capacidade de 300L.



**Figura 1.** Esquema da bancada de ensaios

Foram avaliadas fitas gotejadoras com espessura de parede de 6 e 8 MIL (0,150; 0,200mm, respectivamente) com emissor contínuo integrado (Figura 2), denominado Turbo Tape®, fabricado pela Naan Dan Jain©. As especificações do material são apresentadas na Tabela 1.



**Figura 2.** (A) Esquema do emissor contínuo integrado Turbo Tape®; (B) Esquema do emissor integrado ao tubo de polietileno

**Tabela 1.** Características gerais dos materiais utilizados

Emissor	Fabricante	Vazão nominal q (L h <sup>-1</sup> )	Pressão de serviço P (kPa)	Espessura de parede (mm)	Espessura de parede (MIL*)
Turbo Tape®	Naan Dan Jain	0,95	70	0,150	6
		0,95	70	0,200	8

\*Milésimo de polegada

Para cada amostra foram determinadas as curvas vazão-pressão na temperatura de 23±3°Ce em diferentes temperaturas da água (30, 40 e 50°C). Foram utilizados 25 segmentos de tubos emissores com aproximadamente 0,5 m de comprimento cada, escolhidos de forma aleatória. As amostras foram submetidas a pressões no intervalo de 20 kPa a 100 kPa com incrementos de 20 kPa. A relação entre a vazão do emissor e pressão de operação, foi ajustada com o auxílio da ferramenta solver do Excel®. O modelo matemático utilizado para o ajuste pode ser observado na equação (1) a seguir:

$$q = K p^x \quad (1)$$

em que, q: vazão do emissor (L h<sup>-1</sup>); p: pressão de operação do emissor (kPa); k: constante de proporcionalidade que caracteriza cada emissor; x: o expoente de fluxo do emissor.

A variação de fabricação dos emissores foi determinada estatisticamente pelo coeficiente de variação de vazão devido a efeitos de fabricação (CV<sub>f</sub>), seguindo as recomendações estabelecidas pela norma ABNT (2006) e calculada de acordo com a relação a seguir:

$$CV_f = S_q / \bar{q}_{med} \quad (2)$$

em que, CV<sub>f</sub>: coeficiente de variação de fabricação; S<sub>q</sub>: desvio padrão das vazões da amostra analisada (L h<sup>-1</sup>);  $\bar{q}$ : vazão média dos emissores que compõem a amostra (L h<sup>-1</sup>).

Para a determinação da curva experimental de deformação do diâmetro das fitas gotejadoras em função da temperatura e pressão aplicada, foram utilizadas amostra de

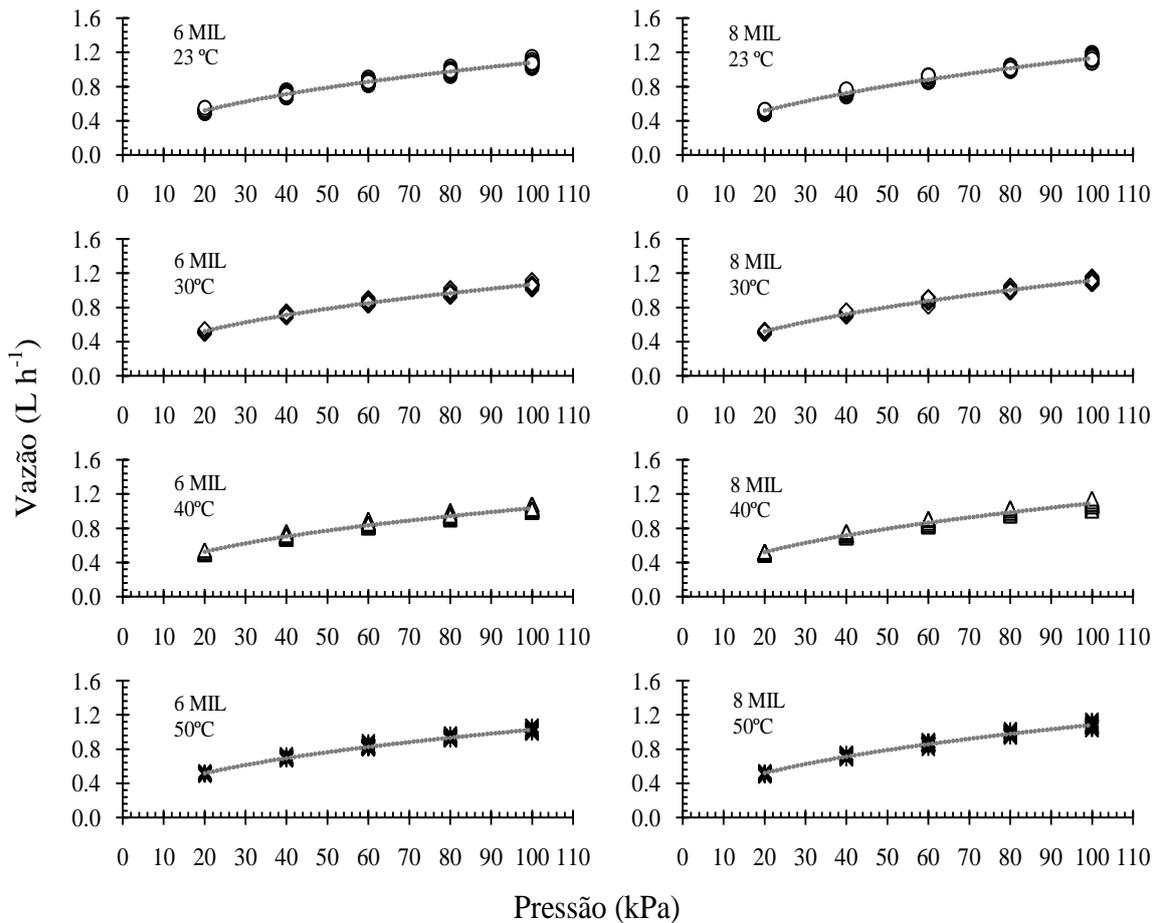
aproximadamente 0,3m, submetidas a dez pressões de operação diferentes, no intervalo de 20 a 100 kPa, com incrementos de 10 kPa. A amostra teve todos os seus emissores obstruídos com o auxílio de adesivo termoplástico e fita adesiva de contato, garantindo assim que não houvesse escoamento de água durante o teste. Inicialmente a amostra foi condicionada a pressão mínima de ensaio (20 kPa) durante o período de 10 minutos a uma temperatura constante de  $23^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ , na qual se procedeu à medição do diâmetro externo com o uso de um micrômetro de varredura à laser, da marca Mitutoyo, modelo LSM 503 S, com capacidade de medição de 3 a 30 mm e resolução de 0,2 a 100  $\mu\text{m}$ , que foi alinhado e fixado na bancada de forma a monitorar o diâmetro no ponto médio do comprimento de cada amostra; o erro de leitura devido ao posicionamento é de  $\pm 1\mu\text{m}$ .

Sequencialmente, foram incrementados 10 kPa seguindo o mesmo procedimento citado anteriormente, até que se obtivesse os dez pontos diferentes de pressão, até o máximo de 100 kPa. Da mesma forma, também foi realizado o mesmo procedimento para a amostra submetida a temperatura máxima estudada ( $50^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As curvas-vazão pressão das fitas gotejadoras com espessura de parede de 6 e 8 MIL operando sob diferentes temperaturas da água são representadas na Figura (3). Os parâmetros K e x (Tabela 2) para cada equação característica, nas diferentes temperaturas da água, apresentaram diferentes valores. Entretanto, não foi observada uma tendência específica de aumento ou redução nos valores de K e x em detrimento à essas variações térmicas.

Os valores dos expoentes de fluxo para o emissor, foram inferiores a 0,5, com valores máximos de 0,491. Segundo Keller e Karmeli (1974) um emissor é caracterizado como de fluxo totalmente turbulento quando o expoente de fluxo apresenta valores iguais a 0,5, porém, atualmente, os fabricantes buscam projetar emissores com expoentes de fluxo menores que 0,5 (Al-Muhammad et al., 2016; Li; et al., 2006), como é o caso do material utilizado neste estudo. O desenvolvimento de emissores com  $x < 0,5$  busca atribuir ao material menor sensibilidade às variações de pressão.



**Figura 3.** Curvas vazão pressão da fita gotejadora Turbo Tape® em diferentes temperaturas e espessuras de parede.

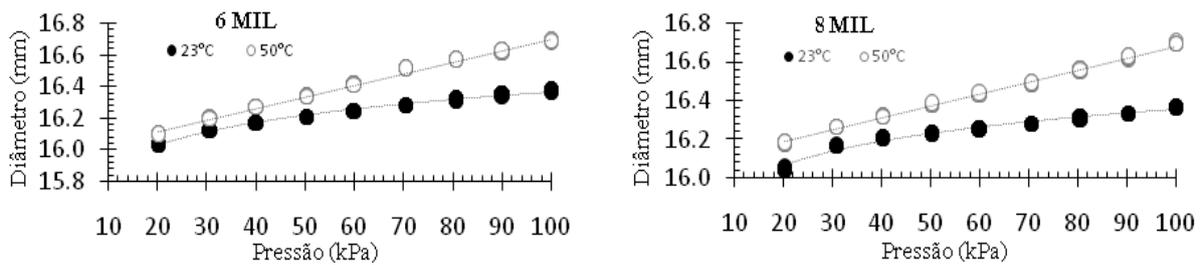
Os valores médios do  $CV_f$  para as fitas com diferentes espessuras de parede operando em diferentes temperaturas da água apresentaram valores inferiores a 3% (Tabela 2). Este resultado indica que, segundo as normas ABNT (2006) e ASABE EP405 (2014), as fitas gotejadoras são classificadas como excelentes quanto a sua uniformidade de fabricação. Não houve tendência para os valores de  $CV_f$  com o incremento temperatura da água, sugerindo que esse emissor apresente condições de operação semelhante sob qualquer temperatura.

**Tabela 2.** Caracterização hidráulica das fitas gotejadoras Turbo Tape® (TT) com espessura de parede de 6 e 8 MIL

T (°C)	TT 6 MIL				TT 8 MIL			
	K	x	$CV_{f\text{méd}}io$	$R^2$	K	x	$CV_{f\text{méd}}io$	$R^2$
23°C	0,131	0,457	0,027	0,987	0,118	0,491	0,026	0,988
30°C	0,137	0,445	0,025	0,988	0,124	0,476	0,022	0,987
40°C	0,148	0,422	0,025	0,986	0,131	0,459	0,020	0,985
50°C	0,143	0,423	0,024	0,987	0,131	0,458	0,028	0,984

A variação da vazão observada em relação à vazão nominal para ambas as espessuras de parede não ultrapassou o máximo estipulado de 7%, em conformidade com este requisito da norma ABNT (2006).

As curvas de variação do diâmetro em função da pressão aplicada (Figura 4), para as duas espessuras de parede, apresentaram uma tendência diferente para as duas temperaturas. Para a temperatura de 23°C, o diâmetro seguiu uma relação potencial; já para a temperatura de 50°C a tendência foi linear, o ajuste das curvas pode ser observado na Tabela 3.



**Figura 4.** Curvas de variação do diâmetro em função da pressão aplicada à fita gotejadora Turbo Tape® em diferentes temperaturas e espessuras de parede.

**Tabela 3.** Equações ajustadas do diâmetro em função da pressão aplicada nas temperaturas de 23°C e 50°C para as espessuras de parede de 6 e 8 MIL

T (°C)	Material	Equação	R <sup>2</sup>
23°C	6 MIL	$D = 15,429 p^{0,013}$	0,995
23°C	8 MIL	$D = 15,542 p^{0,011}$	0,996
50°C	6 MIL	$D = 0,007 p + 15,969$	0,996
50°C	8 MIL	$D = 0,006 p + 16,062$	0,977

A variação máxima do diâmetro da fita gotejadora foi de 2,11% para temperatura da água de 23°C e de 3,67% para 50°C para a espessura de parede 6 MIL, enquanto para a parede de 8 MIL, esses valores foram de 3,20% a 50°C e 1,95% em 23°C.

## CONCLUSÕES

As curvas vazão-pressão para o material com espessuras de parede diferentes, apresentaram diferentes valores para a constante de proporcionalidade (K) e para o expoente de fluxo (x) das equações características dos emissores em função da temperatura da água. Não houve correlação entre a temperatura da água e os valores de  $CV_f$ . As características hidráulicas estudadas estão de acordo com o recomendado pela norma ABNT (2006).

O diâmetro externo da fita gotejadora apresentou deformação proporcional à pressão aplicada, quando submetidas à temperatura de 50°C, entretanto, para a temperatura de 23°C essa deformação se mostrou melhor ajustada por um modelo potencial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9261: Agricultural irrigation equipment. Emitters and emitting pipe. Specification and test methods. São Paulo, 2006.

AL-MUHAMMAD, J.; TOMAS, S.; ANSELMET, F. Modeling a weak turbulent flow in a narrow and wavy channel: case of micro-irrigation. *Irrigation Science*, v.34, n.5, p. 361–377, 2016.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS: Atlas Irrigação. Uso da água na agricultura irrigada. Brasília, 2018.

ASABE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERING. ASABE standarts: EP405.1 (R2014): Design and Installation of Microirrigation Systems. St. Joseph, 2014.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. Viçosa: UFV, 2006.

DASBERG, S.; OR, D. Drip Irrigation. Berlim: Springer-Verlag, 1999.

FRIZZONE, J. et al. Microirrigação: gotejamento e microaspersão. Maringá: Eduem, 2012.

KANDA, E. K., MABHAUDHI, T., & SENZANJE, A. Hydraulic and clogging characteristics of moisture irrigation as influenced by water quality. *Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua*, v. 67, n. 5, p. 438-446, 2018.

KELLER, J.; KARMELLI, D. Trickle Irrigation Design parameters. *Transactions of the ASAE*, Saint Joseph, v. 17, n. 4, p.678-684, 1974.

LI, Y.; YANG, P.; REN, S. Hydraulic characterizations of tortuous flow in path drip irrigation emitter. *Journal of Hydrodynamics*, v. 18, n. 4, p. 449–457, 2006.

Ana Claudia Sátiro de Araujo et al.

OLIVEIRA, A. M. de S.; PORTO FILHO, F. de Q.; MEDEIROS, J. F. de; COSTA, M. da C. Caracterização hidráulica do tubo gotejador Hidrodrip II. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 4, n. 3, p. 483–486, 2000.

ZHANGZHONG, L.; YANG, P.; ZHENG, W.; WANG, C.; ZHANG, C.; NIU, M. Effects of drip irrigation models on chemical clogging under saline water use in Hetao district, China. *Water*, v. 10, n. 345, p. 1–13, 2018.