

**9ª JORNADA ACADÊMICA**  
**26 a 28 de Novembro de 2015**  
**UEG - Câmpus Santa Helena de Goiás, GO**

**COEFICIENTE DE VARIAÇÃO EM GOTEJADORES SUBMETIDOS À**  
**APLICAÇÃO DE FERRO SOLÚVEL**

Flávio Henrique Ferreira Gomes<sup>1</sup>, Lilian Cristina Castro de Carvalho<sup>2</sup>, Rubens Duarte Coelho<sup>3</sup>, Marconi Batista Teixeira<sup>4</sup>, Fernando Nobre Cunha<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Discente do curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. E-mail: [flaviohenriquefg@hotmail.com](mailto:flaviohenriquefg@hotmail.com),  
[fernandonobrecunha@hotmail.com](mailto:fernandonobrecunha@hotmail.com).

<sup>2</sup> Docente do Instituto Federal do Ceara, IFCE; E-mail: [liliancarv@ifce.edu.br](mailto:liliancarv@ifce.edu.br).

<sup>3</sup> Docente do DER - Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. E-mail: [rdcoelho@esalq.usp.br](mailto:rdcoelho@esalq.usp.br).

<sup>4</sup> Docente do curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. E-mail: [marconibt@gmail.com](mailto:marconibt@gmail.com) .

**RESUMO**

Esta pesquisa foi desenvolvida visando quantificar possíveis distúrbios de vazão em emissores gotejadores submetidos à aplicação de ferro solúvel, sólidos em suspensão (partículas de solo). Foi realizado o experimento com 26 modelos de tubos gotejadores em uso, com suas respectivas linhas gotejadoras montadas em uma bancada de ensaios em estrutura metálica localizada no Laboratório de Irrigação, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP. No experimento, foi realizado um tratamento onde se avaliou a susceptibilidade de diferentes tubos gotejadores em uso ao entupimento por ferro solúvel. Os modelos 19 e 21 apresentaram o pior desempenho quando submetidos aos ensaios realizados com o tratamento (hidróxido de ferro + água LAB).

**Palavras-chave:** emissores, entupimento, qualidade da água, hidróxido de ferro.

## **INTRODUÇÃO**

O entupimento de emissores é um grave problema associado ao gotejamento, pois dificulta a operação de sistemas de irrigação, é de difícil detecção e sua limpeza e substituição podem ser bastante onerosas (NAKAYAMA; BUCKS, 1991).

Conforme Capra e Scicolone (2004) a filtração da água é a principal ação preventiva quanto ao entupimento de emissores, causada por partículas tanto de origem mineral quanto orgânica. Se a água de irrigação for residuária e apresentar elevada concentração de sólidos suspensos, recomenda-se o emprego de sedimentadores, eficientes na remoção de areia e silte.

Em um sistema de gotejamento deve se prezar sempre por uma boa uniformidade de distribuição de água. 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). Para Cunha et al. (2014) a chance de encontrar o entupimento parcial ou total em um tubo gotejador diminui conforme diminui a quantidade de pontos (emissores) avaliados, pois a dispersão das partículas sólidas no diâmetro interno tem maior influência na uniformidade conforme diminui o número de pontos avaliados e aumenta a obstrução total, sendo a uniformidade bastante variável quando sob obstrução parcial.

O objetivo deste experimento foi avaliar o coeficiente de variação da vazão em tubos gotejadores ao entupimento por ferro solúvel na água de irrigação (óxido de ferro, sulfato ferroso e hidróxido de ferro).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A presente pesquisa foi conduzida no Laboratório de Irrigação de Irrigação da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP, localizada no município de Piracicaba - SP, cujo clima é classificado como Cwa - subtropical úmido, segundo classificação climática de Köppen, temperatura média máxima superior a 22° C e média mínima de 18° C, ocorrendo chuvas de verão e secas de inverno.

O experimento foi desenvolvido em uma bancada de ensaios, construída em estrutura metálica composta por três andares, com 11 m de comprimento, 4 m de largura e 5,8 m de altura, sendo cada andar da bancada independente dos demais.

**9ª JORNADA ACADÊMICA**  
**26 a 28 de Novembro de 2015**  
**UEG - Câmpus Santa Helena de Goiás, GO**

O sistema de pressurização utilizado no experimento foi composto por um conjunto de motobomba centrífuga da marca KSB, modelo KSB Hydrobloc C 750, cuja operação de funcionamento foi realizada manualmente, obedecendo rigorosamente os horários de início e fim de cada aplicação. Para evitar a entrada de partículas em suspensão no sistema, foi utilizado um filtro de disco de 120 mesh/Amiad, com capacidade para  $15 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  de vazão, cuja limpeza foi feita a cada 12 horas de funcionamento.

No preparo e armazenamento das soluções utilizaram-se caixas de amianto, com capacidade para 1000 L, que foram conectadas ao conjunto motobomba por meio de uma sucção de 0,06 m de diâmetro, através de um adaptador de caixa d'água e o bombeamento de cada solução foi controlado por um registro de esfera de 0,06 m, instalado na extremidade da sucção dentro da caixa, permitindo o bombeamento da solução.

O sistema de aplicação da solução foi adaptado de tal forma que permitia um processo de recirculação da mesma, onde a solução gotejada era recolhida por dois conjuntos de telhas de aço zincado (forradas com filme plástico), com uma inclinação de 3%, aonde conduzia a solução para uma calha de zinco revestida com fibra de vidro, localizada no centro do módulo, que retornava a solução para a caixa da respectiva captação, através de um conjunto de tubos PVC de 100 mm.

Ao final da aplicação, os registros eram fechados com o sistema ainda em funcionamento, para evitar o retorno da solução ao reservatório, garantindo assim que a solução permanecesse em contato com toda a superfície interna da linha gotejadora. Para evitar uma perda acentuada da solução ao longo da semana, foram colocadas cortinas de plásticos nas laterais da bancada de ensaio. Após cada ensaio de vazão, o sistema permanecia desligado por um dia, com o objetivo de se fazer limpeza, preparo da nova solução, reparos e manutenção do sistema.

O experimento foi realizado no módulo 3 da bancada de ensaio, no setor 5, onde realizou-se o tratamento, com duração de 648 horas. O setor 5 era composto por 26 modelos diferentes de tubos gotejadores, onde destes 9 eram convencionais (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9) e 17 autocompensantes (10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 e 26).

No tratamento foi aplicado  $20,0 \text{ mg L}^{-1}$  de ferro solúvel ( $\text{Fe}^{+2}$ ), tendo o hidróxido de ferro como fonte do mesmo, associado a água LAB (água do laboratório) (Tabela 1). O tratamento realizado no experimento pode ser resumido da seguinte forma: tratamento (linhas gotejadoras do setor 5):  $20,0 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{Fe}^{+2}$  (hidróxido de ferro) + água LAB.

**9ª JORNADA ACADÊMICA**  
**26 a 28 de Novembro de 2015**  
**UEG - Câmpus Santa Helena de Goiás, GO**

**Tabela 1.** Análise da água do Laboratório de Irrigação da ESALQ/USP, que foi utilizada na preparação da solução aplicada no tratamento.

Parâmetro	Unidade	Resultado
Alcalinidade ( $2\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ )	mg L <sup>-1</sup>	35,8
Cloreto (Cl <sup>-</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	33,9
Nitrato (N-NO <sub>3</sub> )	mg L <sup>-1</sup>	20,5
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	149,3
Fósforo (P)	mg L <sup>-1</sup>	0,05
Nitrogênio Amoniacal (N-NH <sub>3</sub> )	mg L <sup>-1</sup>	0,11
Sódio (Na <sup>+</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	44,0
Potássio (K <sup>+</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	7,1
Cálcio (Ca <sup>2+</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	33,2
Magnésio (Mg <sup>2+</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	9,2
Ferro (Fe <sup>2+</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	0
Cobre (Cu)	mg L <sup>-1</sup>	0,01
Manganês (Mn)	mg L <sup>-1</sup>	0,09
Zinco (Zn)	mg L <sup>-1</sup>	1,14
Boro (B)	mg L <sup>-1</sup>	0
Alumínio (Al)	mg L <sup>-1</sup>	0
Cor aparente	PtCo	4
Turbidez	FTU	4
Sedimentos em suspensão	mg L <sup>-1</sup>	6,0
Condutividade elétrica (CE)	mS cm <sup>-1</sup>	0,37
pH	---	7,5
Gás carbônico (CO <sub>2</sub> )	mg L <sup>-1</sup>	1,9
Acidez (CaCO <sub>3</sub> )	mg L <sup>-1</sup>	6,5
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )*	mg L <sup>-1</sup>	120,6

\*Dureza total calculada com base no equivalente de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>).

Durante o ensaio foram mantidos os espaçamentos originais das linhas gotejadoras, com o objetivo de evitar diferenças relacionadas à influência de emendas e da proximidade dos emissores, reduzindo os erros e mantendo, assim, as mesmas condições das linhas utilizadas pelos irrigantes. Desta forma o número de gotejadores presentes na linha dependeu do espaçamento fornecido pelo fabricante, porém foi assegurado um número mínimo de 10 emissores para cada modelo analisado.

A Tabela 2 apresenta os emissores com suas características técnicas e a vazão mais comercializada pelos irrigantes. Em função dos emissores ensaiados serem produtos comerciais e os ensaios a que foram submetidos não serem normatizados, os dados e análises realizados em todos os ensaios foram codificados para evitar qualquer tipo de especulação comercial dos resultados apresentados. A codificação utilizada na representação dos modelos de emissores, não tem nenhuma relação com os nomes comerciais dos produtos e nem tampouco com a sequência de emissores apresentados na Tabela 2.

**9ª JORNADA ACADÊMICA**  
**26 a 28 de Novembro de 2015**  
**UEG - Câmpus Santa Helena de Goiás, GO**

**Tabela 2.** Características técnicas: fluxo, vazão, diâmetro nominal ( $\varnothing N$ ) e espaçamento entre gotejadores dos modelos utilizados no experimento.

Fabricante	Modelo	Fluxo	Vazão (L h <sup>-1</sup> )	$\varnothing N$ (mm)	Espaçamento entre gotejadores (m)
Naandan	Naan tif PC	AC	1,6	16	0,50
	Naan Paz	NC	2,0	16	0,75
	Naan PC	AC	2,1	16	0,80
	Naan PC	AC	3,8	16	0,90
Netafin	Drip Net	AC	1,6	16	0,75
	Uniran	AC	1,6	16	0,33
	Ram	AC	2,3	16	0,50
	Ram	AC	2,3	17	0,50
	Tiran	NC	2,05	16	0,75
	Super Typhoon	NC	2,0	16	0,60
Plastro	Hydrogol	NC	3,0	17	0,40
	Hydro Pc	AC	2,0	17	0,80
	Hydro Pc	AC	2,2	17	0,80
	Hydro Pc	AC	2,2	16/25	0,75
	Hydro Pc Nd	AC	2,35	16/40	0,80
Amanco	Hydro Drip	AC	2,0	16	0,80
	Carbo Drip Cd/Ac	NC	2,2	16	0,50
Irrimon	Twin Plus	AC	1,8	17,5	1,00
	Vip Line	AC	3,6	16	1,00
	Irridrip Plus	AC	2,5	16	1,00
	Iriloc	NC	1,1	16,4	0,40
Azud	Azudline	NC	1,4	17	0,50
Toro Ag	Drip In	AC	2,5	17	0,75
Petroisa	Petroisa G1	NC	1,5	16	0,30
Queen Gil	Queen Gil	NC	4,0	16,5	0,10

Fonte: Catálogo dos fabricantes.

Depois de tabulados as massas, procedeu-se os cálculos para o coeficiente de variação da vazão, através da Equação 1.

$$CV_q = \frac{S_{usado}}{q_{usado}} \cdot 100 \quad (1)$$

em que:

$CV_q$  – coeficiente de variação da vazão, %;

$S_{usado}$  – desvio padrão da vazão dos gotejadores usados, L h<sup>-1</sup>; e

$q_{usado}$  – vazão média do gotejador usado, Lh<sup>-1</sup>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

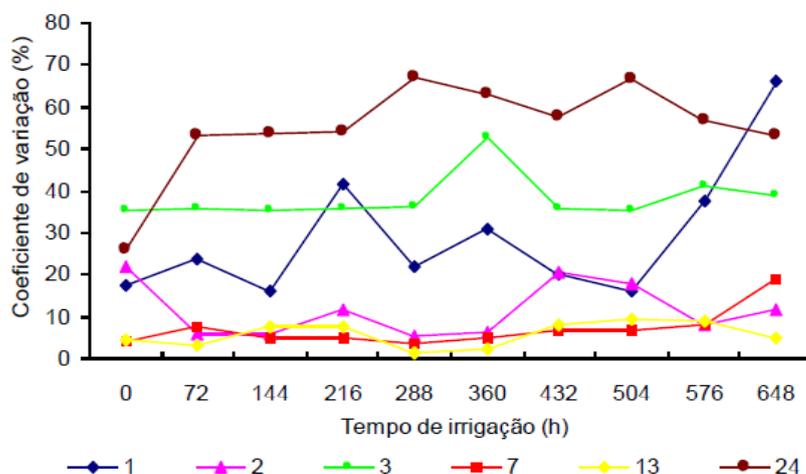
Emissores dos modelos de 4 a 10, os de 12 a 15 e os dos modelos 18, 20, 22, 25 e 26, mantiveram seus valores de coeficiente de variação inicial dentro dos considerados bons de acordo com a classificação da ABNT (1986), indicando que estes modelos, mesmo tendo sido

**9ª JORNADA ACADÊMICA**  
**26 a 28 de Novembro de 2015**  
**UEG - Câmpus Santa Helena de Goiás, GO**

utilizados anteriormente, possuem boa qualidade. Ainda para o coeficiente de variação de vazão inicial os modelos 1 e 17 são considerados médios, os modelos 2, 24 e 16 marginais e os modelos 3, 11, 19, 21 e 23 inaceitáveis.

O maior valor de coeficiente de variação de vazão foi apresentado pelo modelo 23, que chegou a 159,3% a partir de 576 horas de funcionamento, porém reduziu este valor para 39,1% ao final do ensaio (648 h).

Na Figura 5, observa-se que o modelo 13 manteve seu coeficiente de variação de vazão dentro dos valores considerados bons, durante todo o ensaio, o modelo 17, embora após 648 horas de funcionamento tenha apresentado um aumento no valor do coeficiente de variação, também se manteve numa faixa considerada média. O modelo 2 variou seus valores de coeficiente de variação de vazão entre a faixa do bom ao marginal até o final do ensaio. O modelo 3, mesmo tendo apresentado coeficiente de variação inicial inaceitável (35,3%) e mantido este valor praticamente constante até o final do ensaio, quando comparado aos valores de vazão relativa, notou-se que não houve variação da mesma ao longo de todo o experimento. Os modelos 1 e 24 apresentaram de coeficiente de variação de vazão de 66,2 e 53,1%, após 648 horas de funcionamento.

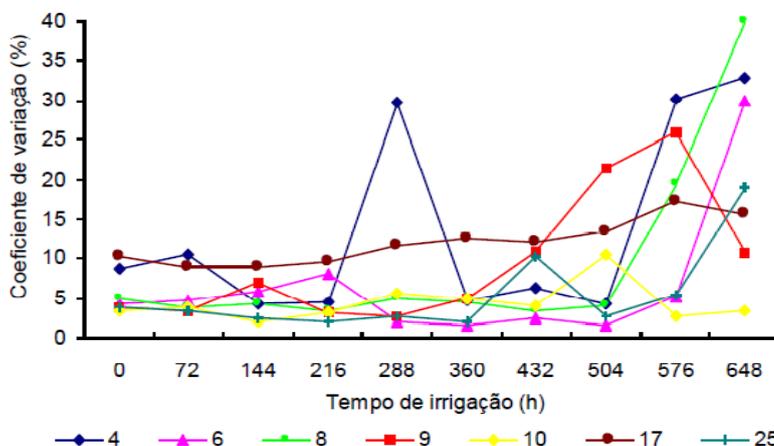


**Figura 5.** Coeficiente de variação (%) dos gotejadores 1, 2, 3, 7, 13 e 24 em função do tempo de irrigação.

Observando a Figura 6 constatou-se que o modelo 10 manteve seu valor de coeficiente de variação dentro da faixa considerada aceitável, durante todo o ensaio. Os modelos 4, 6 e 8 mantiveram-se praticamente constante ao longo do experimento, porém após 648 horas de funcionamento apresentaram valores inaceitáveis de coeficiente de variação de vazão, a saber: 32,8; 30 e 39,9%, respectivamente. Já os modelos 9, 17 e 25 apresentaram algumas alterações em seus valores de coeficiente de variação, no decorrer do experimento,

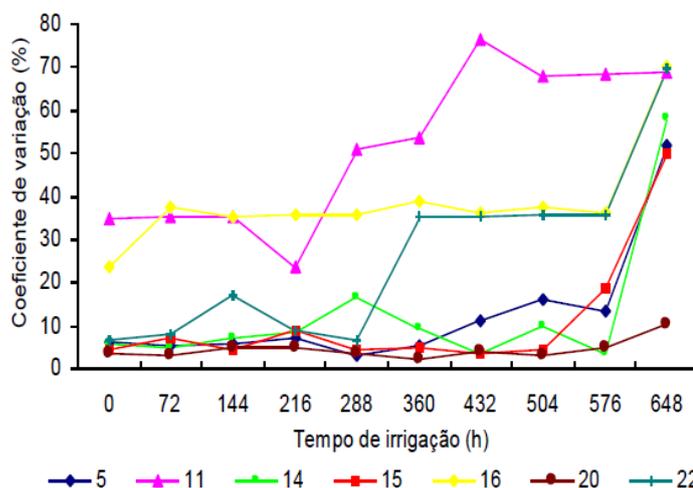
**9ª JORNADA ACADÊMICA**  
**26 a 28 de Novembro de 2015**  
**UEG - Câmpus Santa Helena de Goiás, GO**

contudo ao final do ensaio, demonstraram valores de coeficiente de variação de vazão de 10,8; 15,7 e 19,1; respectivamente, portanto dentro da faixa considerada média segundo a ABNT (1986).



**Figura 6.** Coeficiente de variação (%) dos gotejadores 4, 6, 8, 9, 10, 17 e 25 em função do tempo de irrigação.

Conforme se observa na Figura 7, apenas o modelo 20 manteve seu coeficiente de variação dentro da faixa considerada aceitável, por todo o ensaio, os modelos 5, 11, 14, 15, 16 e 22 apresentaram valores de coeficiente de variação superiores a 30%, sendo considerados, portanto inaceitáveis.

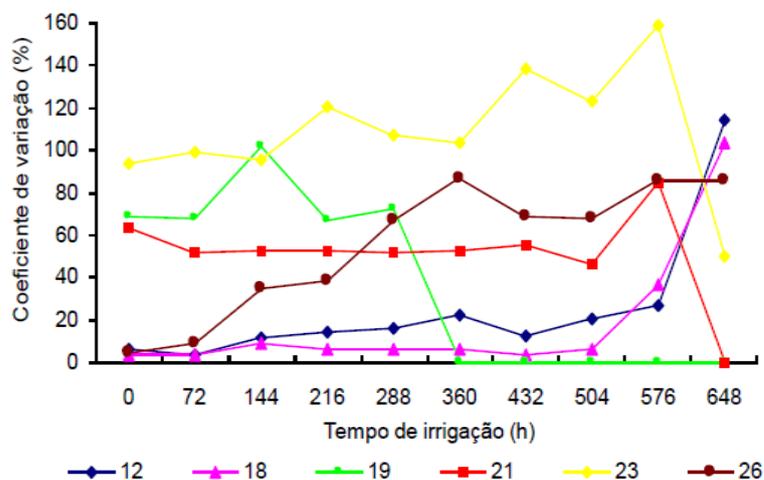


**Figura 7.** Coeficiente de variação (%) dos gotejadores 5, 11, 14, 15, 16, 20 e 22 em função do tempo de irrigação.

O pior desempenho foi observado pelos modelos 19 e 21 (Figura 8) que mostraram elevada suscetibilidade ao entupimento chegando a uma obstrução total de seus emissores a partir de 360 e 648 horas de funcionamento, respectivamente. Os modelos 12, 18 e 26 passaram a apresentar valores inadequados de coeficiente de variação de vazão a partir de 648, 576 e 144 horas de funcionamento, respectivamente. Com base nestes resultados é

**9ª JORNADA ACADÊMICA**  
**26 a 28 de Novembro de 2015**  
**UEG - Câmpus Santa Helena de Goiás, GO**

possível recomendar conforme Busato et al. (2012) que água com alto teor de ferro só deve ser utilizada em irrigação por gotejamento associada a um sistema de tratamento para evitar problemas de entupimento dos emissores.



**Figura 8.** Coeficiente de variação (%) dos gotejadores 12, 18, 19, 21, 23 e 26 em função do tempo de irrigação.

## CONCLUSÕES

Os modelos de tubos gotejadores apresentaram desempenhos variáveis na suscetibilidade ao entupimento, quanto no coeficiente de variação da vazão.

A velocidade com que o entupimento parcial tende ao entupimento total propende a ser maior em função da arquitetura interna dos emissores.

Os modelos 19 e 21 apresentaram os piores desempenhos quando submetidos a tratamento com hidróxido de ferro + água LAB.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e ao Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

**9ª JORNADA ACADÊMICA**  
**26 a 28 de Novembro de 2015**  
**UEG - Câmpus Santa Helena de Goiás, GO**

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Emissores para sistemas de irrigação localizada: avaliação das características operacionais**; PNBR 12: 02-08-021. São Paulo, 1986. 7p.

BUSATO, C. C. M.; SOARES, A. A.; REIS, E. F., RAMOS, M. M. Influência do entupimento no desempenho de gotejadores aplicando água ferruginosa. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 9, n. 2, p. 119-128, abr/ jun. 2012.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 68, n. 2, p. 135- 149, 2004.

CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B.; RIBEIRO, P. H. P.; MOURA, L. M. F.; SANTOS, C. C. Repetibilidade de um sistema de irrigação por gotejamento sob entupimento. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.8, nº. 4, p.343 - 353, 2014.

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. **Water quality in drip/trickle irrigation: a review**. *Irrigation Science*, New York, v. 12, p. 187-192, 1991.

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