

USO DE ONDAS ULTRASSÔNICA NA RECUPERAÇÃO DE GOTEJADORES OBSTRUÍDOS

Márcio Roberto Klein¹, Carlos Alberto Vieira De Azevedo², Rafael Oliveira Batista³,
Delfran Batista Dos Santos⁴, Flavio Daniel Szekut⁵, Maycon Diego Ribeiro⁶

RESUMO: Métodos químicos de recuperação de gotejadores obstruídos nem sempre apresentam bons resultados e representam riscos de contaminação. A limpeza ultrassônica é um tratamento de recuperação alternativo e foi objeto deste estudo que foi realizado no Instituto Nacional do Semiárido, em Campina Grande, PB. Gotejadores obstruídos artificialmente pela aplicação de cal hidratada dissolvida em água residuária doméstica foram submetidos a limpeza ultrassônica. O Delineamento foi um fatorial 2x5 com dois tipos de gotejadores E1 (vazão de 1,6 L.h⁻¹) e E2 (vazão de 1,6 L.h⁻¹) e 5 tempos de limpeza ultrassônica: T0 – tubo obstruído sem limpeza ultrassônica, T1 – 5 minutos de limpeza ultrassônica, T2 – 10 minutos, T3 – 15 minutos e T4 – 30 minutos acumulados de limpeza ultrassônica. Foram calculados os Coeficientes de Variação de vazão (Cvq (%)), Uniformidade de Distribuição (UD (%)) e Vazão Relativa (Qr (%)). A técnica recuperou a vazão em até 90,48 e 104,19% para o E1 e E2, respectivamente, elevando a classificação do E1 de “inaceitável” para “bom” e de “inaceitável” para “excelente” em E2. A limpeza ultrassônica propiciou a redução em 70,54 e 94,55% do CVq para E1 e E2, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Vazão relativa; ultrassom; irrigação localizada.

ULTRASONIC SOUND CLEANING TO RECOVERY CLOGGED DRIPPEERS

ABSTRACT: Chemical methods of recovering clogged drippers do not always perform well and pose a risk of contamination. Ultrasonic cleaning and an alternative recovery treatment

¹ Prof. Doutor, Agronomia, Faculdade La Salle, Av. Universitária, 1000, Parque das Emas, Lucas do Rio Verde – MT 78455-000, márcio.klein@faculdadelasalle.edu.br .

² Prof. Doutor, Dep. Engenharia Agrícola, UFCEG, Campina Grande, PB.

³ Prof. Doutor, Dep. Engenharia Agrícola, UFERSA, Mossoró, RN.

⁴ Prof. Doutor, Dep. Agronomia, IFBahiano, Senhor do Bonfim, BA.

⁵ Prof. Doutor, Agronomia, Unisep, Dois Vizinhos, PR.

⁶ Prof. Doutor, Dep. Engenharia Agrícola, UFPR, Jandaia, PR.

were the object of this study that was performed at the National Institute of Semi-arid, in Campina Grande, PB. Drippers artificially obstructed by the application of hydrated lime dissolved in domestic wastewater were subjected to ultrasonic cleaning. The Design was a 2x5 factorial with two types of drippers E1 (1.6 Lh⁻¹ flow) and E2 (1.6 Lh⁻¹ flow) and 5 ultrasonic cleaning times: T0 - tube blocked without ultrasonic cleaning, T1 - 5 minutes ultrasonic cleaning, T2 - 10 minutes, T3 - 15 minutes and T4 - 30 minutes accumulated ultrasonic cleaning. Flow Variation Coefficients (Cvq (%)), Distribution Uniformity (DU (%)) and Relative Flow (Qr (%)) were calculated. The technique recovered flow by up to 90.48 and 104.19% for E1 and E2, respectively, raising the E1 rating from “unacceptable” to “good” and “unacceptable” to “excellent” in E2. Ultrasonic cleaning provided a reduction of 70.54 and 94.55% of CVq for E1 and E2, respectively.

KEYWORDS: Relative flow; ultrasound; drip irrigation.

INTRODUÇÃO

A principal limitação da irrigação por gotejamento é o entupimento dos emissores. Li et al. (2012) aponta que a existência de partículas em suspensão na água de irrigação é a maior causa de entupimento, sejam elas de origem orgânica ou precipitados químicos. A concentração e o tamanho das partículas são os fatores que mais obstruem os gotejadores (NIU et al., 2013). O experimento envolveu a desobstrução de gotejadores do tipo labirinto com diferentes tempos de limpeza ultrassônica. Para acelerar o processo de obstrução foi utilizada uma solução de água residuária com cal hidratada. Em experimento para verificar a susceptibilidade ao entupimento de gotejadores, Carvalho et al. (2016) aplicaram soluções compostas por até três agentes de obstrução: ferro solúvel (óxido de ferro), carga orgânica (algas e fito plânctons) e sólidos suspensos (adição de solo na água de irrigação).

A recuperação de gotejadores de irrigação obstruídos, de modo geral, é feita por tratamentos químicos. Alguns pesquisadores buscam alternativas para substituir o tratamento químico na recuperação de gotejadores de irrigação, um exemplo é a aplicação de bactérias que promovem biodegradação da incrustação obstruente. Costa et al. (2016), utilizando um produto comercial de coquetel bacteriológico na desobstrução de gotejadores, obtendo recuperação satisfatória de dois tipos de gotejadores obstruídos por água residuária urbana. Sahin et. al. (2005) isolaram bactérias predadoras de uma solução com CaCO₃ e aplicaram em tubos gotejadores obstruídos por precipitados de cálcio, obtendo 100% de recuperação na

vazão. A limpeza ultrassônica é capaz de remover impurezas sem comprometer ou danificar a superfície que está sendo limpa (Enge Solutions Ultrasonic, 2015). Buscando alternativas para a desobstrução de emissores de irrigação na região do semiárido brasileiro, o objetivo da realização deste estudo é validar a recuperação de gotejadores obstruídos por matéria orgânica e precipitados de cálcio com ondas ultrassônicas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em bancada de testes, na sede do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), localizado no município de Campina Grande, PB, sob as coordenadas geográficas latitude 7° 16' 20'' S e longitude 35° 56' 29' O e uma altitude de 550 m. O clima da região, segundo a classificação de Koppen, é semiárido quente e seco com poucas chuvas, denominado Bsh. Os gotejadores testados foram do tipo labirinto, utilizados na região semiárida brasileira, denominados E1 da marca Netafim, modelo Streamline, vazão nominal de 1,6 L.h⁻¹, pressão de serviço 100 kPa com diâmetro de 17 mm e E2 da marca NaanDanJain, modelo Tal drip, vazão nominal de 1,7 L.h⁻¹, pressão de serviço 100 kPa com diâmetro de 17 mm. A água residuária doméstica utilizada foi produzida na sede administrativa do INSA. Todo o efluente da estação de pesquisa é captado e conduzido para uma estação de tratamento de esgoto (ETE) com tratamento secundário anaeróbico dimensionada para uma vazão de até 3 m³.dia⁻¹. Após o tratamento, o efluente é armazenado em reservatórios de 5 m³. Uma fração deste efluente foi transferida para um reservatório de 1 m³ e neste volume foi dissolvida cal hidratada (90% de hidróxido de cálcio) na concentração de 1,0 g L⁻¹.

A Tabela 1 apresenta as características físico-químicas da solução utilizada no experimento.

Tabela 1. Características analisadas na água utilizada no experimento

Características analisados	Água com cálcio
Condutividade Elétrica (mmho/cm a 25°C)	2860
pH	9
Turbidez (uT)	5,2
Cor, Unidade Hazen (mg pt-o.L ⁻¹)	100
Dureza em Cálcio (mg.L ⁻¹)	79,5
Dureza em Magnésio (mg.L ⁻¹)	30
Dureza Total (mg.L ⁻¹)	323,8
Sódio (mg.L ⁻¹)	521,8
Potássio (mg.L ⁻¹)	8,2

Alumínio (mg.L ⁻¹)	0
Ferro total (mg.L ⁻¹)	0,08
Alcalinidade em Hidróxidos (mg.L ⁻¹)	0
Alcalinidade em Carbonatos (mg.L ⁻¹)	210
Alcalinidade em Bicarbonatos (mg.L ⁻¹)	85
Alcalinidade Total (mg.L ⁻¹)	295
Sulfato (mg.L ⁻¹)	67,1
Fósforo Total (mg.L ⁻¹)	0
Cloreto (mg.L ⁻¹)	777,5
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,75
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,19
Amônia (mg.L ⁻¹)	6,46
Sílica (mg.L ⁻¹)	5
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	1,81
STD (Sólidos totais dissolvidos a 180°C) (mg.L ⁻¹)	1726,2
Coliformes totais	10112
<i>Escherichia Coli</i>	63

A bancada experimental possui 11,00 m de comprimento, 2,00 m de largura e 1,50 m de altura com comprimento de linhas de 10 m. O sistema de irrigação é dotado de tubulação de PVC, conectores e os tipos de gotejadores. A pressurização das linhas foi feita com uma bomba KSB® modelo C 2000N, com vazão máxima de 10 m³. h⁻¹ e altura manométrica máxima de 400 kPa. O volume e a vazão foram medidos com hidrômetro da marca LAO®, modelo UJB1, vazão nominal de 1,5 m³ h⁻¹. Os ajustes de pressão foram feitos com registros do tipo gaveta de 1” e controlador de pressão de ação direta da marca BERMAD®, modelo 0075 PRVy, a pressão foi mantida em 100 kPa. Para a filtragem utilizaram-se filtro de discos de 200 mesh, marca IRRITEC® modelo FLD. Na fase de obstrução dos gotejadores, o sistema operou durante 20 horas diárias entre os dias 01 de dezembro de 2014 a 30 de janeiro de 2015, totalizando 1200 h de operação. Foram utilizadas 2 linhas laterais de cada modelo de gotejador. Uma linha de cada modelo foi utilizada para a obtenção de amostras para Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e outra linha de cada modelo para avaliação. Foram avaliados 25 gotejadores por linha lateral quando novos, após as 1200 h de aplicação da solução com carga orgânica e precipitados de cálcio, assim como após a aplicação dos tratamentos de limpeza ultrassônica, totalizando 6 avaliações por linha lateral. A limpeza ultrassônica foi realizada com lavadora ultrassônica da marca “Marca Médica”, com cuba de capacidade de 30 L e frequência de operação de 40 kHz. A limpeza foi feita colocando-se a linha obstruída dentro da cuba com solução de água destilada e 150 mL de detergente enzimático, conforme recomendação do fabricante, e então ligada a lavadora no tempo correspondente a cada tratamento. Após a limpeza ultrassônica, as linhas foram recolocadas

na banca e pressurizadas com o final da linha lateral aberta por 5 minutos, e posteriormente foi feita a avaliação. Em cada avaliação foram feitas coletas em triplicata.

Na Figura 1 está o esquema de montagem deste experimento.

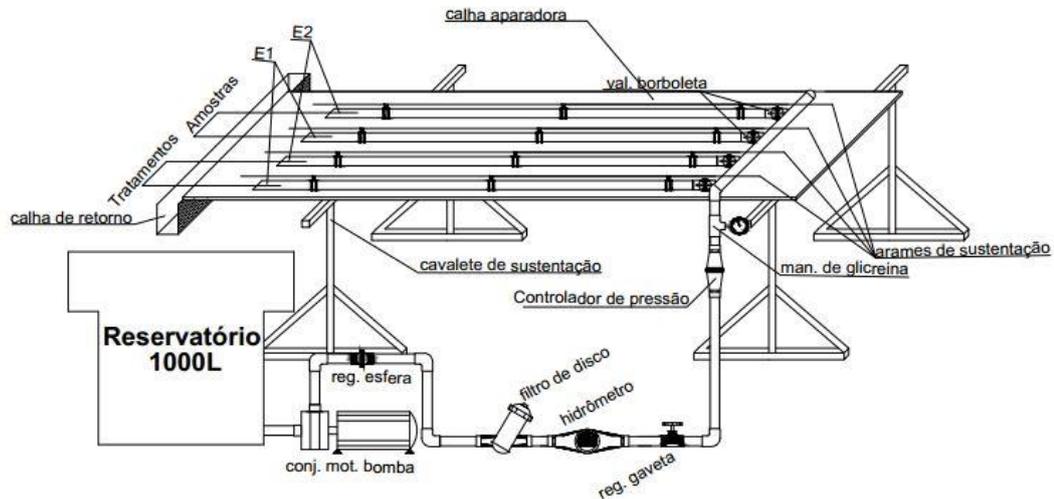


Figura 1. Layout esquemático dos componentes da bancada

Realizou-se a coleta de maneira simultânea para cada repetição, com auxílio de coletores e placas de isopor. O tempo de coleta foi de 4 minutos. Com os valores de vazão foi calculado para cada gotejador o Coeficiente de Variação de Vazão – CVq % (Eq. 1), a Uniformidade de distribuição UD % (Eq. 2) e a Vazão Média – Qm (L.h⁻¹).

$$Cvq = Sd \cdot q_m^{-1} \quad (1)$$

Em que, - desvio padrão de todas as medições realizadas; - vazão média de todas as medições realizadas (L.h⁻¹).

$$UD (\%) = 100 \cdot q_{25} \cdot q_m^{-1} \quad (2)$$

Em que, - vazão média das 25% menores vazões (L.h⁻¹); - vazão média de todas as medições realizadas (L.h⁻¹).

Também com os valores de vazão foram calculados para cada emissor os valores de Vazão Relativa% (equação 3).

$$Qr (\%) = 100 \cdot q_a \cdot q_i^{-1} \quad (3)$$

Em que, - vazão atual do gotejador (L.h⁻¹); e - vazão no início do experimento, antes da obstrução (L.h⁻¹).

O Delineamento foi um fatorial 2x5 com dois tipos de gotejadores E1 e E2 e 5 tempos de limpeza ultrassônica, T0 – correspondente ao tubo obstruído sem limpeza ultrassônica, T1 – 5 minutos de limpeza ultrassônica, T2 – 10 minutos acumulados de limpeza ultrassônica,

T3 – 15 minutos acumulados de limpeza ultrassônica e T4 – 30 minutos acumulados de limpeza ultrassônica. Com os valores de Qr (%), procedeu-se com a variância (ANOVA) para os fatores tipo de gotejador e de tempo de limpeza ultrassônica e teste Tukey a 5% de significância. Também foram feitas análises de regressão para determinar o tempo ideal de limpeza. A análise de microscopia eletrônica de varredura MEV foi feita com um equipamento da marca Shimadzu Corporation® – SuperScan SSX-550.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados de Qr (%), CVq (%), UD (%) e Q (L.h⁻¹), para os tempos em que os dois tipos de gotejadores foram submetidos à limpeza ultrassônica. A vazão média dos gotejadores avaliados para o gotejador E1 antes da limpeza ultrassônica foi de 0,9 L.h⁻¹ e passou para 1,36 L.h⁻¹, após 10 minutos acumulados de limpeza ultrassônica. Para o gotejador E2 a vazão aumentou de 1,02 L.h⁻¹ para o valor máximo de 1,57 L.h⁻¹, com o tempo de 15 minutos acumulados de limpeza ultrassônica.

Tabela 2. Valores de Vazão Relativa (Qr (%)), Coeficiente de Variação (CVq (%)), Uniformidade de Distribuição (UD (%)) e Vazão Média (Qm (L.h⁻¹)) para cada tempo acumulado de limpeza ultrassônica

Gotejador E1				
Tempo acumulado (min)	Qr (%)	CVq (%)	UD (%)	Qm (L.h⁻¹)
0	59,93	76,80	0,00	0,90
5	68,93	63,32	0,00	1,04
10	90,48	22,62	77,38	1,36
15	89,64	24,84	74,58	1,35
30	88,61	24,29	75,64	1,33
Gotejador E2				
Tempo acumulado (min)	Qr (%)	CVq	UD (%)	Qm (L.h⁻¹)
0	67,46	70,64	0,00	1,02
5	96,16	30,28	69,56	1,45
10	103,01	4,21	95,50	1,55
15	104,19	3,85	95,83	1,57
30	101,25	4,33	95,18	1,52

A limpeza ultrassônica recuperou a vazão em até 90,48 e 104,19% com relação à vazão do gotejador novo para E1 e tubo E2, respectivamente. A limpeza ultrassônica elevou a Uniformidade de Distribuição de 0 a 77,3 e 95,83% para E1 e E2, respectivamente. Dessa forma, a uniformidade passou de “inaceitável” para “bom” (E1) e de “inaceitável” para “excelente” (E2), de acordo com a classificação da ASABE (2001). Neste estudo, o

coeficiente de variação apresentou redução de 76,80% para até 22,62% (70,54% de redução), no gotejador E1. Para o gotejador E2, o CVq reduziu de 70,64 até 3,85% (94,55% de redução), com tempo acumulado de 15 minutos de limpeza ultrassônica. Dessa forma, a classificação do gotejador analisado, o CVq passou de “Inaceitável” para “Excelente”, segundo ASABE (2008), estando de acordo com o exigido pela ABNT/NBR ISO 926:2006 em que $CVq < 7\%$. A representação gráfica da Figura 2 é da vazão relativa média do gotejador E1, sendo o tempo acumulado de limpeza ultrassônica a variável independente. O modelo que representou melhor a relação foi o quadrático com R ajustado de 84,6% e coeficiente de determinação R^2 de 92,3%.

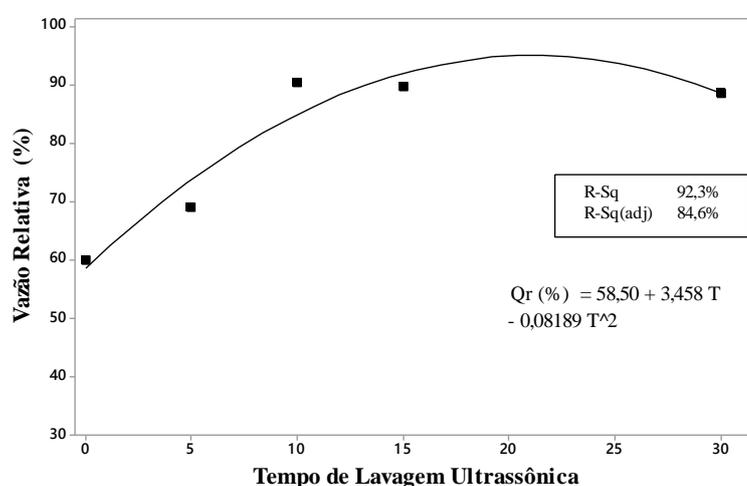


Figura 2. Regressão entre tempo acumulado de limpeza ultrassônica (min) e vazão relativa (%) para o gotejador E1.

A Figura 3 representa a relação da vazão relativa média do gotejador 02 com tempo acumulado de limpeza ultrassônica como variável independente.

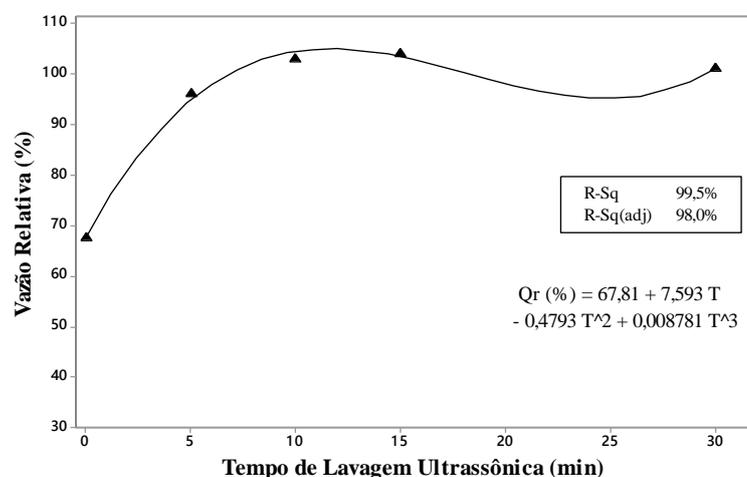


Figura 3. Regressão entre Tempo Acumulado de Limpeza Ultrassônica (min) e Vazão Relativa (%) para o gotejador E2.

Na mesma figura está a equação da relação entre o tempo e vazão relativa.

O modelo que apresentou melhor ajuste na regressão da Figura 3 foi o modelo cúbico com R ajustado de 98% e coeficiente de determinação R² de 99,5%. No box da figura está a equação que descreve a relação. Nota-se que o ajuste da equação ao modelo foi melhor para o gotejador E2 quando comparado com o gotejador E1. Sahin et al. (2005) elevou a vazão relativa média de gotejadores obstruídos por CaCO₃ de 0% até 100%, após 48 horas de ação de bactérias biodegradantes.

A análise de variância indicou haver diferenças significativas entre os tempos de limpeza e os gotejadores, mas não houve interação ente os fatores. A tabela 18 apresenta o teste Tukey dos tempos acumulados de limpeza ultrassônica para os dados de Vazão Relativa.

O teste Tukey indicou que há diferença entre as médias de vazão relativa entre os tempos de limpeza ultrassônica e o tempo zero (antes da limpeza). Portanto, o tratamento da limpeza ultrassônica foi eficaz na desobstrução dos gotejadores desde a primeira lavagem.

Tabela 4. Valores médios de Vazão Relativa (%) para diferentes tempos acumulados de limpeza ultrassônica (min) e teste Tukey para as médias das 50 repetições

Tempo	Qr (média) (%)
T3	96,92 a
T2	96,75 a
T4	94,93 a
T1	82,55 a
T0	63,7 b

Nota: Letras iguais indicam igualdade a 5% de significância pelo teste Tukey.

Os tempos de limpeza ultrassônica tiveram estatisticamente o mesmo desempenho em aumentar a vazão relativa dos emissores obstruídos, sendo o tempo de 15 minutos acumulados o que resultou na maior média de vazão relativa (96,97%).

A Figura 4 foi obtida pelo processo de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com ampliação de 70 vezes. Na Figura 27 estão as imagens das amostras dos gotejadores E1 e E2, após a obstrução promovida por 1200 horas de aplicação de água com cálcio e alta carga orgânica (Figura 4A e 4C) e após a limpeza ultrassônica (Figura 27B e 27C). Eroglu et al. (2012) utilizaram imagens de microscopia eletrônica de varredura para identificar o efeito da obstrução de gotejadores devido à aplicação de água com CaCO₃ e água com CaCO₃ e bactérias com ação de desobstrução biológica. A limpeza ultrassônica promove limpeza satisfatória em estruturas complexas, como entranhas, furos, cavidades, fendas, etc. De acordo com a Farmer's Weekly (2016), a limpeza ultrassônica promoveu resultados de recuperação de gotejadores superiores a todos os outros tipos de tratamentos já testados.

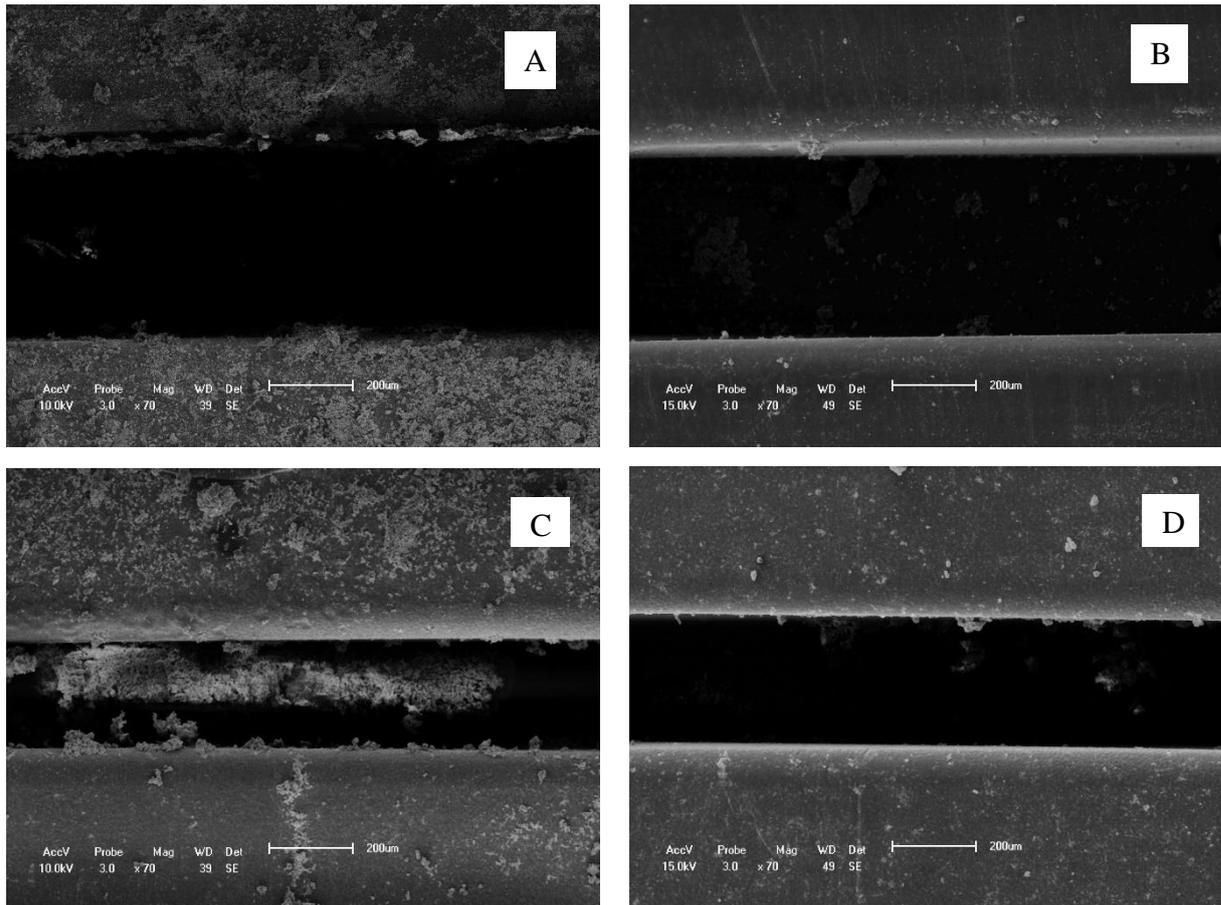


Figura 4. Imagens de MEV: A - Gotejador E1 obstruído; B - Gotejador E1 após limpeza ultrassônica; C - Gotejador E2 obstruído; D - Gotejador E2 após limpeza ultrassônica.

CONCLUSÕES

A limpeza ultrassônica elevou a classificação do gotejador E1, para uniformidade de distribuição, de “inaceitável” para “bom” e de “inaceitável” para “excelente” no gotejador E2, propiciou a redução em até 70,54 e 94,55% do CVq para os gotejadores E1 e E2, respectivamente. O tempo de 15 minutos de limpeza ultrassônica foi suficiente para promover o máximo incremento de vazão. O processo de limpeza ultrassônica não envolve produtos químicos agressivos ao meio ambiente e tem excelente potencial para desobstrução em gotejadores de irrigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR ISO 9261. Equipamentos de irrigação agrícola - Tubo gotejadores e tubos tubo gotejadores – Especificação e métodos de ensaio. São Paulo, 2006. 17p.

ASAE. American Society of Agricultural Engineers. Standard engineering practices data: EP 458. Field evaluation of microirrigation systems. St. Joseph, Mich. ASAE Standards, 2001. p. 792-797.

ASAE. American Society of Agricultural and Biological Engineers – ASABE. Design and installation of micro irrigation systems. St. Joseph, 2008. 6 p.

Carvalho, L. C. C.; Coelho, R. D.; Teixeira, M. B.; Cunha, F. N.; Silva, N. F.; Soares, A. L.; Vidal, V. M.; Morais, W. A. Entupimento de emissores autocompensantes com aplicação de sulfato e óxido de ferro. Científica., v. 44, p. 385-402, 2016.

Costa, D. O.; Batista, R. O.; Vale, H. S. M.; Sousa, A. B.; Dombroski, S. A. D.; Alves, S. M. C. Biological treatment of drippers clogged by the use of treated domestic wastewater. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 20, p. 595-599, 2016.

ENGE SOLUTIONS ULTRASONIC. Tecnologia de Limpeza por Ultrassom. Disponível em <<http://www.engesolutions.com.br/files/Folder%20Ultrassom%20Industrial.pdf>>. Acesso em maio de 2015.

Eroglu S.; Şahin, Ü.; Tunc, T.; Şahin, F. Bacterial application increased the flow rate of CaCO₃-clogged emitters of drip irrigation system. Journal of Environmental Management, v.98, p.37-42, 2012.

Farmer's Weekly. Farming for Tomorrow: Ultrasonic sound used in drip irrigation line cleaning. 26 p. 25 novembro 2016. Disponível em <<http://www.arc.agric.za/Agricultural%20Sector%20News/Ultrasonic%20sound%20used%20in%20drip%20irrigation%20line%20cleaning.pdf>>. Acesso em dezembro de 2016.

Li, Y. K.; Liu, Y. Z.; Li, G. B.; Xu, T. W.; Liu, H. S.; Ren, S. M.; Yan, D. Z.; Yang, P. L. Surface topographic characteristics of suspended particulates in reclaimed wastewater and

effects on clogging in labyrinth drip irrigation emitters. *Irrigation Science*, v. 30 p. 43-56, 2012.

Niu, W.; Liu, L.; Chen, X. Influence of fine particle size and concentration on the clogging of labyrinth emitters. *Irrigation Science*, v.31, p.545-555, 2013.

Pereira, A.H.A. Limpeza ultrassônica: overview e estado da arte. Relatório Técnico RT-ATCP-02, ATCP Engenharia Física, São Carlos, SP, 2010.

Şahin, Ü.; Anapali, Ö.; Dönmez, M. F.; Şahin, F. Biological treatment of clogged emitters in a drip irrigation system. *Journal of Environmental Management*, v.76, p. 338-341, 2005.