



Desempenho de sistema de irrigação por gotejamento operando com diluições de água residuária doméstica tratada

Performance of drip irrigation system operating with dilutions of treated domestic wastewater

Fabírcia Gratyelli Bezerra Costa FERNANDES [1](#); Rafael Oliveira BATISTA [2](#); Denise de Jesus Lemos FERREIRA [3](#); Suedêmio de Lima SILVA [4](#); Joaquim Odilon PEREIRA [5](#); Jorge Luiz de Oliveira CUNHA [6](#)

Recibido: 29/04/2017 • Aprobado: 12/05/2017

Conteúdo

- [1. Introdução](#)
 - [2. Material e métodos](#)
 - [3. Resultados e discussão](#)
 - [4. Conclusões](#)
- [Referências](#)

RESUMO:

Este trabalho analisou os efeitos da aplicação de proporções de água residuária doméstica primária (ARP) e água de poço (AP) no desempenho hidráulico de unidades gotejadoras. Os tratamentos utilizados foram: T1 - 100% de ARP e 0% de AP, T2 - 75% de ARP e 25% de AP, T3 - 50% de ARP e 50% de AP, T4 - 25% de ARP e 75% de AP e T5 - 0% de ARP e 100% de AP. Os maiores níveis de entupimento de gotejadores ocorreram nos tratamentos T2 e T1.

Palavras-chave: efluente, indicadores, obstrução.

ABSTRACT:

This work analyzed the effects of the application of proportions of primary domestic wastewater (ARP) and well water (PA) on the hydraulic performance of drip units. The treatments used were: T1 - 100% ARP and 0% AP, T2 - 75% ARP and 25% AP, T3 - 50% ARP and 50% AP, T4 - 25% ARP and 75% Of AP and T5 - 0% of ARP and 100% of AP. The highest levels of drip clogging occurred in treatments T2 and T1.

Keywords: effluent indicators, obstruction.

1. Introdução

A causa da escassez de água no Nordeste brasileiro reside, primeiramente, na baixa pluviosidade e irregularidade das precipitações pluviométrica na região, além de uma estrutura geológica que não permite acumular de maneira satisfatória água no subsolo, o que, de certa

forma, interfere inclusive no volume de água dos mananciais hídricos superficiais (Brasil, 2012b).

Diante da escassez de água em regiões semiáridas, onde se constata uma das piores condições socioeconômicas do Brasil e as habitações ainda se caracterizam pela inexistência de serviços de água potável e, sobretudo, de esgotamento sanitário, o uso de águas residuárias tem sido uma alternativa viável tanto para melhoria da qualidade de vida como para melhorar a produção agrícola (Tundisi, 2008).

A falta de recursos hídricos e o aumento dos conflitos pelo uso da água geraram a emergência da conservação e do tratamento e reuso, como componentes formais da gestão de recursos hídricos (von Sperling, 2011). Os benefícios inerentes à utilização de água recuperada para usos benéficos, ao contrário de disposição ou descarga, incluem preservação de fontes de qualidade elevada, proteção ambiental e benefícios econômicos e sociais (Fonseca *et al.*, 2007).

O método de irrigação localizada é usado para aplicação de águas residuárias, em razão da elevada eficiência de aplicação do efluente e do baixo risco de contaminação tanto do produto agrícola quanto de operadores no campo (Batista *et al.*, 2013). Entretanto, o sistema de irrigação por gotejamento apresenta um problema referente à sensibilidade dos emissores ao entupimento, quanto se aplica ao sistema águas de qualidade inferior. A sensibilidade ao problema de entupimento varia com as características do gotejador (Silva *et al.*, 2013) e com a qualidade da água relacionada aos aspectos físicos, químicos e biológicos (Nakayama *et al.*, 2006).

A formação de biofilme resultante da interação entre mucilagens bacterianas e partículas orgânicas e inorgânicas tem sido a principal causa de entupimento de gotejadores que operam com águas residuárias (Batista *et al.*, 2011a,b).

O entupimento de gotejadores prejudica o funcionamento geral do sistema de irrigação, afetando as suas características de operação e exigindo manutenções mais frequentes. Geralmente, a obstrução reduz a vazão e, conseqüentemente, diminui a uniformidade de aplicação de água de sistemas de irrigação localizada (Duran-Ros *et al.*, 2009; Liu e Huang, 2009).

Diante o exposto, o presente trabalho objetivou analisar os efeitos da aplicação de proporções de água residuária doméstica primária e água de poço nos indicadores de desempenho hidráulico de unidades de irrigação por gotejamento, bem como identificar os atributos responsáveis pela obstrução dos emissores.

2. Material e métodos

O trabalho foi realizado de março a agosto de 2012 no Projeto de Assentamento Rural Milagres na Chapada do Apodi em Apodi-RN sob as coordenadas geográficas latitude: 5° 37' 38" de latitude sul e 37° 49' 55" de longitude oeste e altitude de 150 m.

O assentamento Milagres abriga 107 habitantes em 28 residências, produzindo diariamente um volume de 20 m³ de água residuária doméstica. No local existe rede coletora da água residuária doméstica em todas as residências.

O tratamento primário da água residuária doméstica foi realizado por um decanto-digestor (tanque séptico mais dois filtros anaeróbios). A água residuária doméstica foi armazenada em reservatório de 10 m³, para posterior aplicação pelo sistema de irrigação por gotejamento. Utilizou-se ainda, uma fonte de água limpa proveniente de um poço com 150 m de profundidade, dotado de bomba submersa multiestágios com potência de 9,0 cv.

As proporções de água residuária doméstica primária (ARP) e da água de poço (AP) foram realizadas por meio de diferentes tratamentos, conforme a seguir: T1 - 100% de ARP e 0% de AP; T2 - 75% de ARP e 25% de AP, T3 - 50% de ARP e 50% de AP, T4 - 25% de ARP e 75% de AP e T5 - 0% de ARP e 100% de AP-testemunha, como ilustrado na Figura 1. A aplicação dos tratamentos experimentais foi realizada através de um sistema de irrigação por gotejamento

automatizado composto por: a) Dois reservatórios de 10 m³ para armazenamento da água residuária doméstica primária e da água de poço, ambos construídos em concreto armado revestido com revestimento interno e externo impermeabilizante, nas dimensões internas de 3,5 m de diâmetro por 1,0 m de profundidade; b) Duas unidades de recalque dotadas de motobombas com potência de 1,5 CV e filtro de discos com aberturas de 130 µm; e c) Cinco unidades de irrigação por gotejamento para aplicação das proporções de água residuária doméstica primária e água de poço.

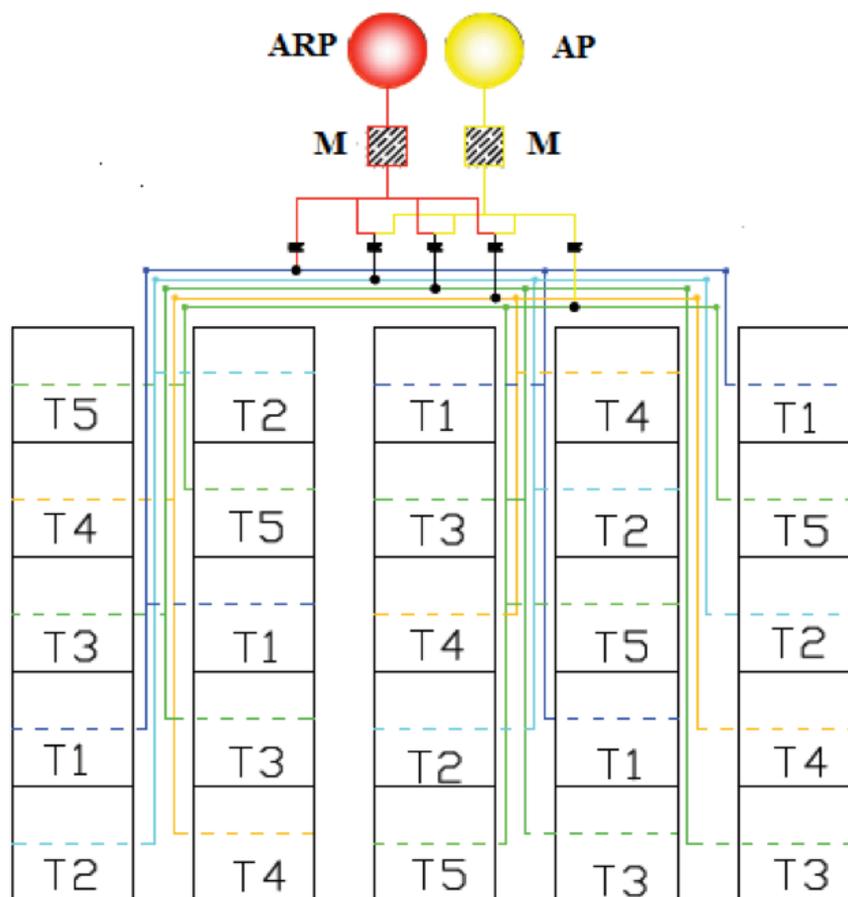


Figura 1. Delineamento experimental utilizado na condução dos ensaios experimentais

Nota: ARP - Reservatório de água residuária doméstica primária; AP - Reservatório de água de poço; M - conjunto motobomba de 1,5 cv; T1 - 100% de ARP e 0% de AP; T2 - 75% de ARP e 25% de AP, T3 - 50% de ARP e 50% de AP, T4 - 25% de ARP e 75% de AP e T5 - 0% de ARP e 100% de AP (testemunha)

No sistema de irrigação por gotejamento foram utilizadas linhas laterais com gotejador dotado das seguintes características: vazão nominal de 1,65 L h⁻¹, sem dispositivo de autocompensação, área de filtração de 5,0 mm², comprimento do labirinto de 58 mm, faixa de pressão recomendada de 50 a 250 kPa e espaçamento entre emissores de 0,30 m. A pressão de serviço adotada foi aferida por um manômetro e mantida em 100 kPa.

As quatro campanhas para coletas de amostras da água residuária doméstica primária e da água de poço foram realizadas no período de 25 de abril a 25 de julho de 2012. No plano de amostragem foi prevista a coleta de amostras simples e compostas nos reservatórios de água residuária doméstica primária e água de poço. As análises físicas, químicas e microbiológicas seguiram as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Rice et al., 2012).

Na caracterização físico-química da água residuária doméstica primária, as amostras foram coletadas e preservadas em caixas isotérmicas com gelo à temperatura de 4°C. Em seguida, foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Laboratório de Diagnóstico Físico-Químico da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte (UERN), sendo realizadas as seguintes análises: pH, condutividade elétrica (CE) dS m⁻¹, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) mg L⁻¹, Demanda Química de Oxigênio (DQO) mg L⁻¹, sólidos suspensos (SS) mg L⁻¹, cálcio (Ca²⁺) mmolc L⁻¹,

magnésio (Mg²⁺) mmol/L-1, ferro total (Fe) mg/L-1 e manganês total, (Mn) mg/L-1.

Na caracterização microbiológica da água residuária doméstica primária (ARP) e da água de poço (AP), outras amostras foram coletadas em frascos esterilizados, posteriormente preservadas em caixa isotérmica com gelo e encaminhadas ao Laboratório de Inspeção de Produtos de Origem Animal da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) para identificação e quantificação dos níveis populacionais de coliformes totais (CT).

A avaliação da uniformidade de aplicação foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Merriam & Keller (1978) modificada por Deniculi *et al.* (1980). Na qual se determina a vazão consiste na escolha de quatro linhas laterais (LL): primeira linha lateral, na situada a 1/3 da origem, na situada a 2/3 e na última linha; e oito posições de gotejadores: o primeiro, a 1/7, 2/7, 3/7, 4/7, 5/7, 6/7 do comprimento da LL e o último, totalizando 32 gotejadores. Os dados de vazão foram obtidos coletando-se o volume aplicado pelo emissor, durante um período de três minutos com três repetições.

No experimento efetuaram-se quatro avaliações da uniformidade de aplicação de origem doméstica e de água de poço com 0, 42, 84 e 133 horas de operação das subunidades de irrigação por gotejamento. Para o cálculo da uniformidade de aplicação de efluente, foram utilizados o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e o Coeficiente de Variação de Vazão (CVQ), conforme apresentado nas equações 1, 2 e 3.

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

$$CUD = 100 \frac{q_{25\%}}{q_m} \quad (2)$$

$$CVQ = \left(\frac{\sigma_Q}{q_m} \right) 100 \quad (3)$$

Em que:

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, %; CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição, %; CVQ - coeficiente de variação de vazão, %; $q_{25\%}$ - média do menor quartil das vazões observadas, L h⁻¹; q_i - vazão de cada gotejador, L h⁻¹; q_m - vazão média dos gotejadores, L h⁻¹; n_e - número de gotejadores; σ_Q - desvio-padrão das vazões dos gotejadores, L h⁻¹.

Os modelos de regressão foram escolhidos com base na significância dos coeficientes das equações de regressão, empregando-se o teste "t" à 10% de probabilidade, no valor do coeficiente de determinação e no processo em estudo. O programa computacional usado na análise estatística foi o R (R development core team, 2010).

3. Resultados e discussão

Apresentam-se, na Tabela 1, o valor médio e o desvio padrão das características físico-químicas e microbiológicas de quatro amostragens da água residuária doméstica primária e da água de poço realizadas durante o período experimental.

Tabela 1. Valor médio e desvio padrão das características físico-químicas e microbiológicas de quatro amostragens de água residuária doméstica primária (ARP) e água de poço (AP) realizadas no período de 25 de abril a 25 de julho de 2012

| Características | ARP | AP |
|-----------------|-----|----|
|-----------------|-----|----|

| | | |
|---|------------------|-------------|
| pH | 7,30 ± 0,15 | 6,92 ± 0,17 |
| Condutividade elétrica (dS m-1) | 0,98 ± 0,13 | 0,08 ± 0,01 |
| Coliformes totais (NMP 100 mL-1)* | 3,44 x105 ± 1,99 | 0 ± 0 |
| Demanda Química de Oxigênio (mg L-1) | 121,75 ± 8,26 | NR |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg L-1) | 30,25 ± 6,95 | NR |
| Sólidos suspensos (mg L-1) | 102,25 ± 4,99 | 0 ± 0 |
| Ferro total (mg L-1) | 0,42 ± 0,13 | 0,21 ± 0,11 |
| Manganês total (mg L-1) | 0,09 ± 0,06 | 0,05 ± 0,03 |
| Cálcio (mmolc L-1) | 0,96 ± 0,45 | 0,89 ± 0,83 |
| Magnésio (mmolc L-1) | 0,87 ± 0,32 | 0,74 ± 0,31 |

Nota: * Média e desvio padrão geométrico. UNT – unidade nefelométrica de turbidez; NMP – número mais provável; NR – não realizado

De acordo com a Tabela 1, na ARP o valor médio do pH encontram-se dentro da faixa de 5 a 9 estabelecida pela Resolução CONAMA no 430/2011 para lançamento de água residuária doméstica tratada em corpos hídricos receptores (Brasil, 2011a). Além disso, esse valor médio foi superior ao pH de 6,81 obtido por Moura *et al.* (2011) trabalhando com água residuária doméstica tratada com tanque séptico, filtro anaeróbio e reator solar, onde houve uma ligeira acidificação do efluente em função do tratamento anaeróbio. Com relação ao risco de obstrução de gotejadores, o pH de ARP foi classificado como moderado, pois encontrou-se dentro da faixa de 7,0 a 7,5 estabelecida por Nakayama *et al.* (2006). O valor médio do pH da AP, durante o período experimental, enquadra-se na faixa de 6,0 a 9,5 estabelecido pela Portaria MS no 2914/2011 (Brasil, 2011b) que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. De acordo com Nakayama *et al.* (2006), o valor médio do pH de AP foi menor que 7,0 sendo o risco de obstrução de gotejadores classificado como baixo. Ayers & Westcot (1999) e Almeida (2010) recomendaram que o valor de pH da água de irrigação deve está entre 6,5 e 8,4, pois as concentrações de H⁺ e OH⁻ podem interferir na disponibilidade e absorção de nutrientes pelas plantas, na estrutura e características do solo, como também nos sistemas de irrigação. Nesse sentido, os valores médio de pH tanto de ARP como de AP estão dentro das recomendações para irrigação de cultivos agrícolas.

O valor médio da condutividade elétrica de ARP foi inferior ao limite de 3,0 dS m-1 proposto para uso agrícola de água residuária (Ceará, 2017). Esse resultado difere do valor de 1,05 dS m-1 obtida por Moura *et al.* (2011) no tratamento de esgoto doméstico com tanque séptico, filtro anaeróbio e reator solar. A condutividade elétrica média de ARP apresentou risco moderado de obstrução de gotejadores dentro da faixa de 0,8 a 3,1 dS m-1 (Capra e Scicolone, 1998). Com relação à condutividade elétrica de AP, o seu valor médio atendeu ao padrão de potabilidade previsto na Portaria MS no 2914/2011 (Brasil, 2011b), sendo inferior ao limite de 1,57 dS m-1. Além disso, a condutividade elétrica média da água de abastecimento indica baixo

risco de obstrução de gotejadores, por ser inferior ao limite de 0,8 dS m⁻¹ (Nakayama *et al.*, 2006).

Na ARP o nível médio populacional de coliformes totais foi inferior ao limite de 10.000 UFC por mL que classifica o risco de obstrução de gotejadores como baixo (Nakayama *et al.*, 2006). No trabalho realizado por Moura *et al.* (2011) o nível populacional médio de coliformes totais foi de 8,51 x10³ NMP por 100 mL na água residuária tratado em tanque séptico, filtro anaeróbio e reator solar. Não foi detectada a presença de coliformes totais na AP, indicando que essa característica atende aos procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (Brasil, 2011b).

O valor médio da DQO da ARP foi inferior ao limite de 200 mg L⁻¹ estabelecido para o lançamento de água residuárias tratadas em corpos hídricos receptores (Ceará, 2017). Esse resultado assemelha-se ao valor médio de 139 mg L⁻¹ obtido por Reinaldo *et al.* (2012) utilizando decanto-digestor, sistema alagado construído e reator solar no tratamento de água residuária doméstica.

De acordo com a Resolução CONAMA no 430/2011 (Brasil, 2011a), o valor médio da DBO da ARP atende ao padrão nacional de 120 mg L⁻¹ para lançamento em corpos hídricos receptores. O resultado obtido para DBO foi superior ao limite de 25 mg L⁻¹ de DBO, estabelecido por Capra e Scicolone (2004) para ótima uniformidade de aplicação de efluente via sistemas de irrigação por gotejamento.

A concentração média de sólidos suspensos presente na ARP foi superior a 100 mg L⁻¹ representando risco severo de obstrução de gotejadores conforme Nakayama *et al.* (2006). Esse resultado foi superior ao valor médio de 25 mg L⁻¹ e de 45 mg L⁻¹ obtido por Reinaldo *et al.* (2012) e Moura *et al.* (2011), respectivamente. Na AP houve ausência de sólidos suspensos não representando risco de obstrução de gotejadores (Nakayama *et al.*, 2006).

O valor médio do ferro total presente na ARP encontra-se dentro da faixa de 0,2 a 1,5 mg L⁻¹ estabelecida por Nakayama *et al.* (2006) que classifica o risco de obstrução de gotejadores como moderado. Tal valor médio atende aos padrões de lançamento de água residuária tratada em corpo hídrico, onde o limite máximo é de 15,0 mg L⁻¹ (Brasil, 2011a). Na AP a concentração média de ferro encontra-se na faixa de 0,2 a 1,5 mg L⁻¹, classificando o risco de obstrução de gotejadores como moderado. O valor médio do ferro foi inferior a 5,0 mg L⁻¹ não contribuindo para a acidez e a indisponibilidade do fósforo e do molibdênio (Ayers e Westcot, 1999). Em relação à potabilidade da água, o ferro é uma característica organoléptica, pois altera sua coloração. De acordo com a Portaria MS no 2914/2011 (Brasil, 2011b), a concentração média de ferro foi inferior ao limite de 0,3 mg L⁻¹, indicando a potabilidade dessa água.

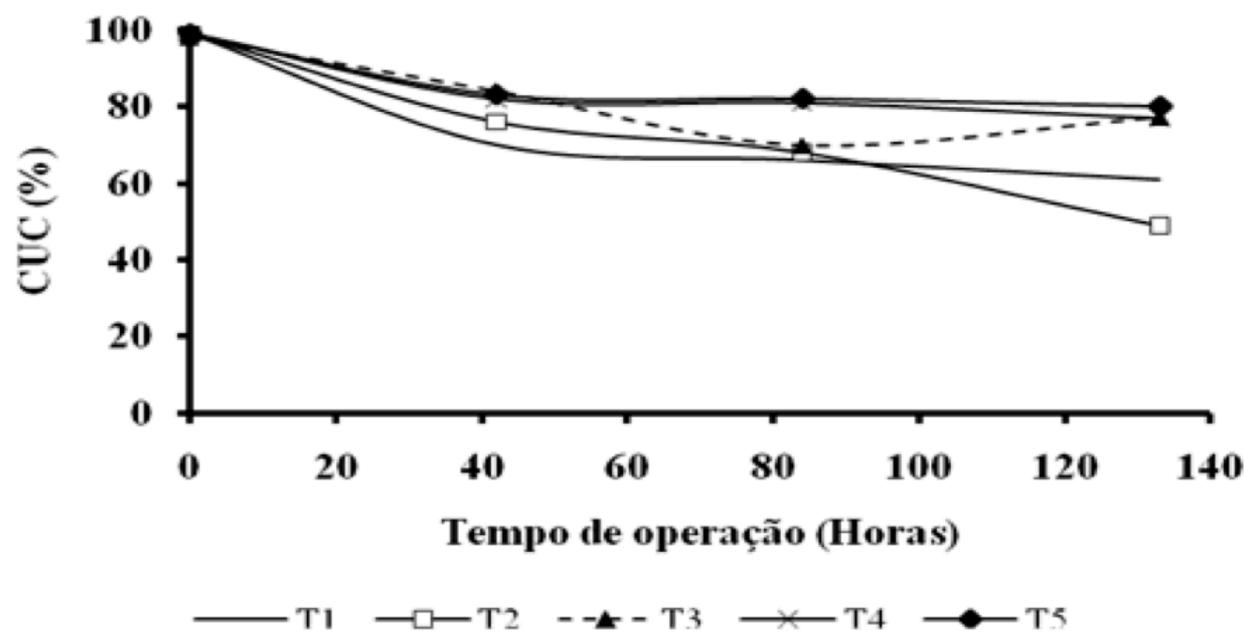
A concentração média de manganês na ARP foi inferior ao limite de 1,0 mg L⁻¹ estabelecido para o lançamento de águas residuárias em corpo hídrico receptor (Brasil, 2011a). Além disso, a concentração média de manganês na ARP foi menor que 0,20 mg L⁻¹, não representando riscos de toxicidade para cultivos agrícolas obtidos em solos ácidos. O manganês representa baixo risco de obstrução de gotejadores, pois o seu valor médio na ARP foi inferior ao limite de 0,1 mg L⁻¹ (Nakayama *et al.*, 2006). O teor médio do manganês na AP foi menor que 0,1 mg L⁻¹, sendo classificado como baixo o risco de obstrução de gotejadores. Segundo Ayers & Westcot (1999), concentrações de manganês menores que 0,20 mg L⁻¹ não ocasionam problema de toxicidade à plantas. De acordo com a Portaria MS no 2914/2011 (Brasil, 2011b), a concentração média de manganês foi menor que o limite de 0,1 mg L⁻¹, indicando a potabilidade dessa água.

O valor médio do cálcio na ARP foi maior que 0,37 mmolc L⁻¹ obtido por Batista *et al.* (2006) em experimento com esgoto doméstico terciário. De acordo com Capra & Scicolone (1998), esse valor médio é inferior a 12,5 mmolc L⁻¹ que classifica o risco de obstrução de gotejadores como baixo. A concentração média do magnésio na ARP foi igual ao valor de 0,87 mmolc L⁻¹ obtido por Batista *et al.* (2006) com esgoto doméstico terciário. O valor médio do magnésio é

inferior ao limite de 2,0 mmolc L-1 que classifica o risco de obstrução de gotejadores como baixo (Capra e Scicolone, 1998). Ainda segundo Capra e Scicolone (1998), as concentrações médias do cálcio e magnésio presentes na AP representam baixo risco de obstrução de gotejadores.

Verificou-se, na Figura 2, que os valores médios do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), no tempo inicial (0 horas) das unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 foram de 99, 99, 98, 99 e 99%, respectivamente. Segundo a classificação proposta por Merriam & Keller (1978), todos os valores de CUC, no tempo inicial, foram superiores a 90%, sendo classificados como excelentes.

Observou-se, ainda na referida Figura, que após 133 horas de operação das unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, que os valores de CUC reduziram para 61, 49, 77, 77 e 80%, respectivamente, sendo classificados por Merriam & Keller (1978) como ruim (CUC < 70%), ruim, razoável (70% < CUC < 80%), razoável e razoável. Esses resultados diferem dos obtidos por Costa (2012) que obteve o CUC de unidades de irrigação por gotejamento operando com proporções de ARP e AP, devido provavelmente a variação das características físico-químicas e microbiológicas da água residuária. O referido autor notou que após 91 horas de operação das unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, que os valores de CUC reduziram para 54, 47, 72, 72 e 87%, respectivamente, sendo classificados por Merriam & Keller (1978) como ruim, ruim, razoável, razoável e bom.



$$\hat{CUC} = 101,0540 - 0,1439^{**} \text{ARP} - 0,2140^{**} \text{T} \quad R^2 = 0,73$$

Figura 2. Superfície de resposta da variável dependente CUC em relação às variáveis independentes proporções de água residuária doméstica primária (ARP) e tempo de funcionamento (T)

Nota: ** e 0 significativo à 1 e 10%, respectivamente, pelo teste "t"

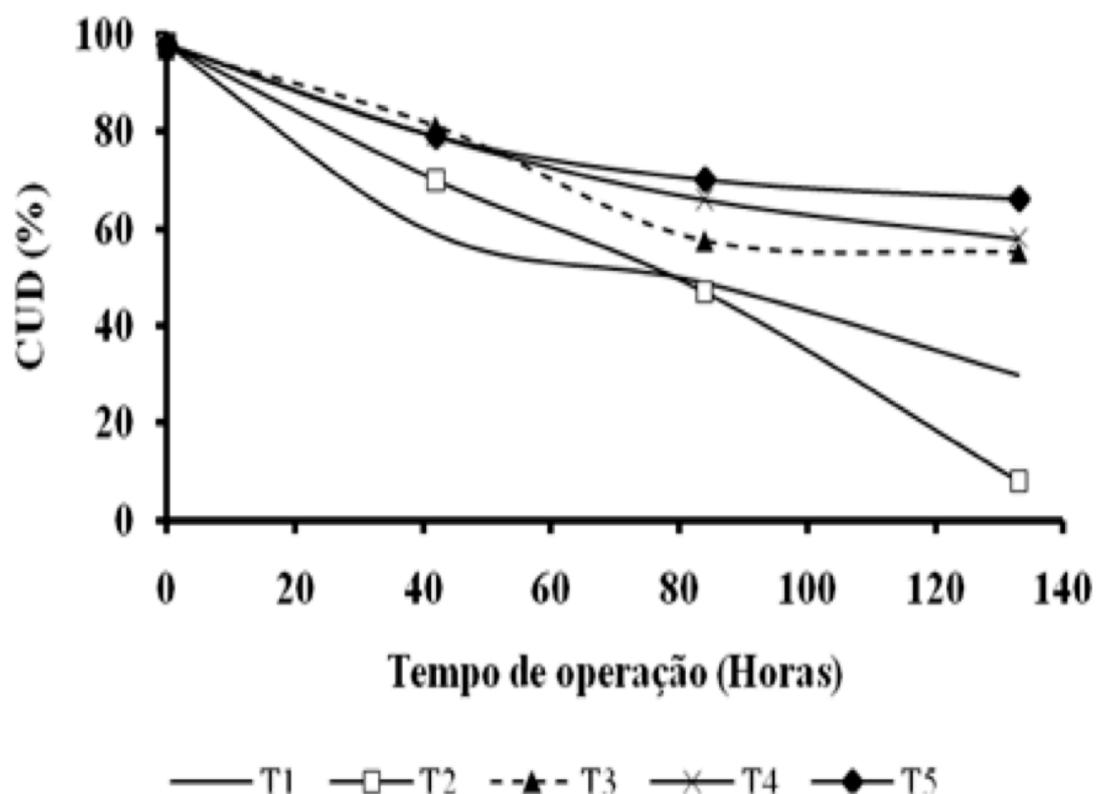
Estabelecendo comparação entre os tempos inicial e final, evidenciou-se redução nos valores do CUC de 39, 50, 22, 22 e 19% para as unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5. No trabalho realizado por Costa (2012) as reduções nos valores de CUC foram de 44, 51, 25, 25 e 11% para as unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, respectivamente. Batista *et al.* (2010) afirmaram que houve redução de 5% no valor do CUC das unidades de irrigação montadas em campo e operando com esgoto doméstico terciário, durante 120 horas.

Ainda pela Figura 2, evidenciou-se que houve efeito linear tanto das proporções de água residuária de origem doméstica quanto do tempo de funcionamento nos valores do CUC, tendo coeficiente de determinação o valor de 0,73. Entretanto, Costa (2012) observou que houve efeito quadrático das proporções de água residuária doméstica primária, linear do tempo de

funcionamento e da interação proporções de água residuária doméstica primária e tempo de funcionamento nos valores do CUC, tendo coeficiente de determinação no valor de 0,91.

Na Figura 3 constatou-se que os valores médios do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), no tempo inicial (0 Horas) das unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 foram de 98, 98, 97, 98 e 98%, respectivamente. Evidenciou-se que todos os valores de CUD, no tempo inicial, foram superiores a 90%, sendo classificados por Merriam & Keller (1978) como excelentes.

Decorrida 133 horas de operação das unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, observou-se que os valores de CUD decresceram para 30, 8, 55, 58 e 66%, respectivamente, sendo classificados por Merriam & Keller (1978) como ruim (CUC < 70%), ruim, ruim, ruim e ruim. Semelhantemente Costa (2012) notou que após 91 horas de operação das unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, os valores de CUC reduziram para 25, 9, 47, 57 e 78%, respectivamente, sendo classificados por Merriam & Keller (1978) como ruim, ruim, ruim, ruim e razoável.



$$\hat{CUD} = 96,4885 + 0,1515^0 ARP - 0,001645^0 ARP^2 - 0,4278^{**}T + 0,001637^{**}T^2 - 0,005614^{**}ARP.T + 0,00002031^*ARP^2.T \quad R^2 = 0,91$$

Figura 3. Superfície de resposta da variável dependente CUD em relação às variáveis independentes proporções de água residuária de origem doméstica (ARP) e tempo de funcionamento (T)

Nota: **, * e 0 significativo à 1, 5 e 10% pelo teste "t"

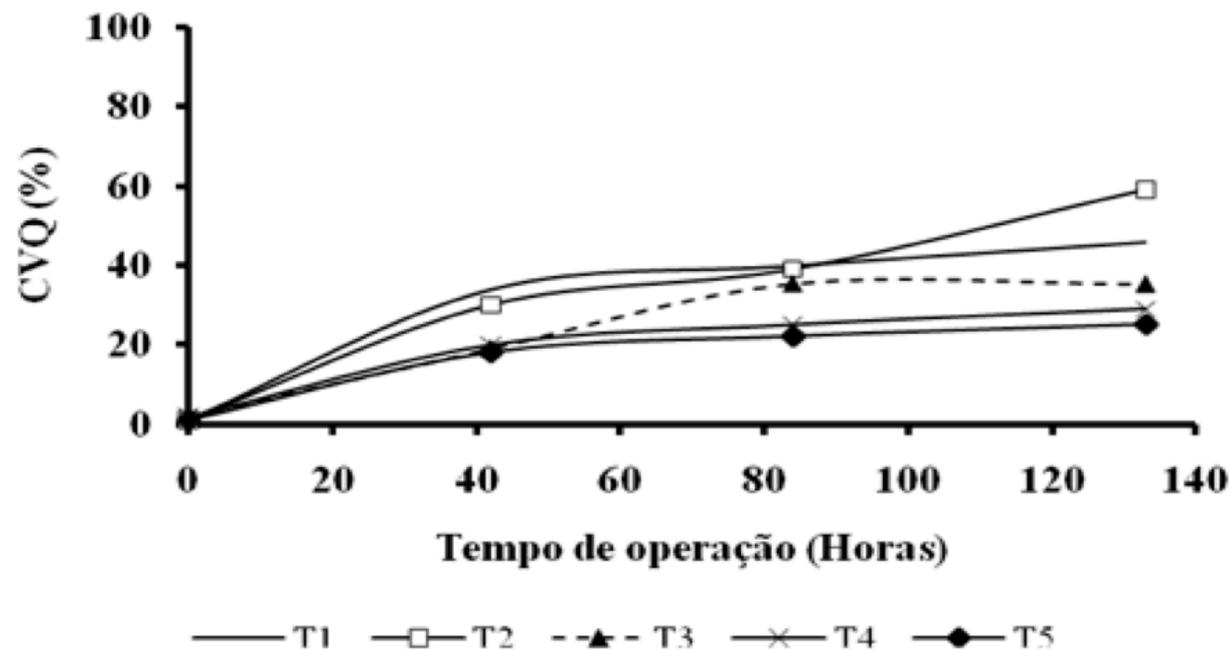
Comprando os tempos de operação inicial e final, constatou-se redução nos valores do CUD de 69, 91, 44, 41 e 33% nas subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5. Essas reduções foram superiores ao valor de 11% obtido por Batista *et al.* (2010) em unidades de irrigação por gotejamento operando com esgoto doméstico terciário, durante 120 horas. No trabalho conduzido por Costa (2012) constatou-se redução nos valores do CUD de 74, 90, 50, 40 e 18% nas subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, respectivamente, quando os tempos de operação inicial e final foram comparados.

Observou-se que houve efeito quadrático tanto das proporções de água residuária doméstica primária quanto do tempo de funcionamento e das interações proporções de água residuária de origem doméstica e tempo de funcionamento nos valores do CUD, tendo coeficiente de determinação no valor de 0,91. Entretanto, Costa (2012) obteve uma superfície onde houve efeito quadrático das proporções de água residuária doméstica primária, linear do tempo de funcionamento e da interação proporções de água residuária de origem doméstica e tempo de

funcionamento nos valores do CVQ, tendo coeficiente de determinação no valor de 0,93.

Notou-se, na Figura 4, que os valores médios do coeficiente de variação de vazão (CVQ), no tempo inicial (0 Horas) das unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T4 e T5 foram de 1, 1, 2, 2 e 1%, respectivamente. Constatou-se que todos os valores de CVQ, no tempo inicial, foram inferiores a 10%, sendo classificados pela norma ASAE EP 405 (Asae Standards, 2003) como bons.

Após 133 horas de operação das unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, observou-se que os valores de CVQ aumentaram para 46, 59, 35, 29 e 25%, respectivamente, sendo classificados pela norma ASAE EP 405 (Asae Standards, 2003) como inaceitável (> 20%), inaceitável, inaceitável, inaceitável e inaceitável. Esses resultados foram similares aos de Costa (2012) que após 91 horas de operação das unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, verificou-se que os valores de CVQ aumentaram para 54, 57, 38, 33 e 17%, respectivamente, sendo classificados pela norma ASAE EP 405 (Asae Standards, 2003) como inaceitável, inaceitável, inaceitável, inaceitável e razoável.



$$CVQ = -0,01374 + 0,001633^{**} ARP + 0,002708^{**} T \quad R^2 = 0,80$$

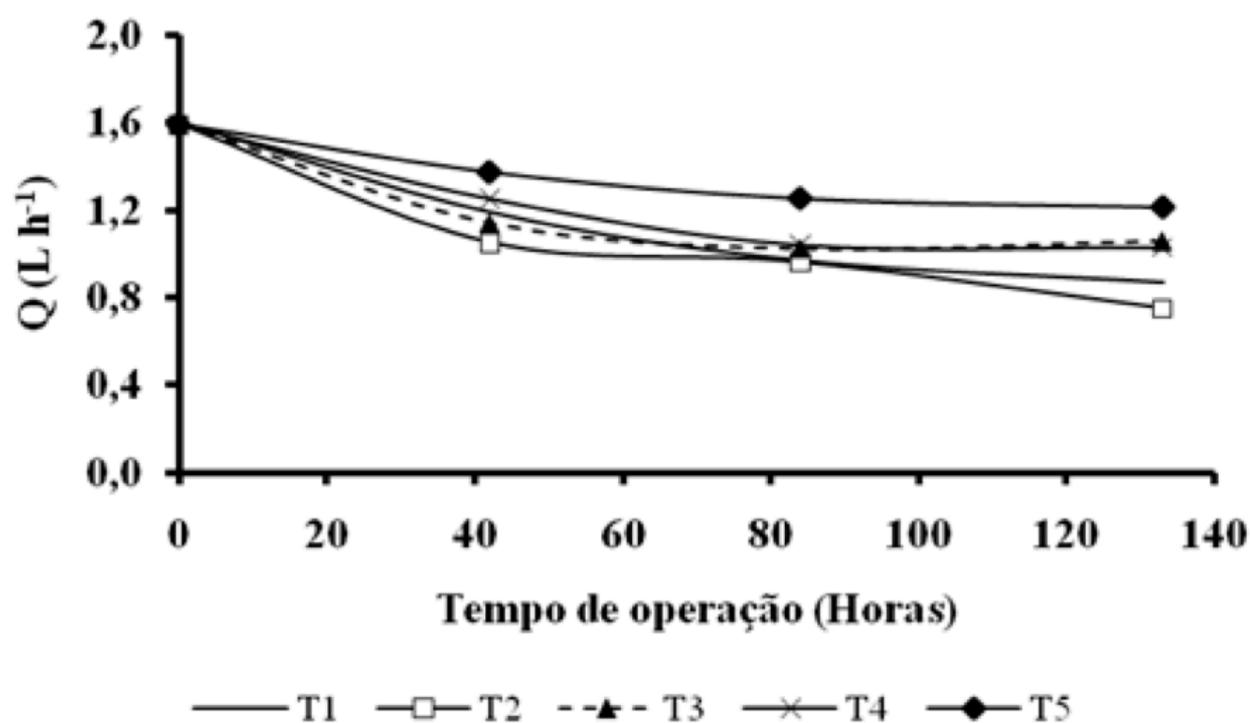
Figura 4. Superfície de resposta da variável dependente CVQ em relação às variáveis independentes proporções de água residuária doméstica primária (ARP) e tempo de funcionamento (T)

Nota: ** significativo à 1% pelo teste "t"

Estabelecendo comparação entre os tempos inicial e final, notou-se aumento nos valores do CVQ de 33, 49, 22, 16 e 21 vezes nas unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5. Já no estudo conduzido por Costa (2012) também notou-se aumento nos valores do CVQ de 14, 14, 8, 9 e 5 vezes nas subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5.

Evidenciou-se que houve efeito linear tanto das proporções de água residuária de origem doméstica quanto do tempo de funcionamento nos valores do CVQ, tendo coeficiente de determinação no valor de 0,80. Resultado similar foi obtido por Costa (2012) que também constatou efeito linear das proporções de água residuária doméstica primária e do tempo de funcionamento nos valores do CVQ, tendo coeficiente de determinação no valor de 0,85.

Comprando os tempos de operação inicial e final da Figura 5, constatou-se redução nos valores de Q de 46, 53, 33, 35 e 24% nas unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5. Essas reduções foram superiores ao valor de 5% obtido por Batista *et al.* (2010) em unidades de irrigação por gotejamento montadas em campo e operando com esgoto doméstico terciário durante 120 horas. Além disso, Costa (2012) evidenciou redução nos valores de Q de 23, 54, 32, 30 e 13% nas unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5.



$$\hat{Q} = 1,5988 - 0,002143^{**} \text{ ARP} - 0,004428^{**} \text{ T} \quad R^2 = 0,78$$

Figura 5. Superfície de resposta da variável dependente Q em relação às variáveis independentes proporções de água residuária doméstica primária (ARP) e tempo de funcionamento (T)

Nota: ** e 0 significativo à 1 e 10%, respectivamente, pelo teste "t"

Observou-se que houve efeito linear tanto das proporções de água residuária de origem doméstica quanto do tempo de funcionamento nos valores de Q, tendo coeficiente de determinação no valor de 0,78. Resultado similar foi obtido por Costa (2012) que houve efeito linear das proporções de água residuária doméstica primária e do tempo de funcionamento nos valores de Q, tendo coeficiente de determinação no valor de 0,71.

Os maiores níveis de entupimento de gotejadores foram constatados nos tratamentos T2 e T1, corroborando com os resultados obtidos por Costa (2012) em estudo do desempenho de sistema de irrigação por gotejamento operando com água residuária doméstica primária e água de poço. O entupimento dos gotejadores se deve à interação entre sólidos suspensos e coliformes totais que possibilitou o desenvolvimento de biofilme no interior dos emissores e das linhas laterais, acarretando a redução da vazão dos gotejadores, bem como o aumento do coeficiente de variação de vazão (CVQ) e a redução dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de uniformidade de distribuição (CUD).

4. Conclusões

Os maiores níveis de entupimento de gotejadores foram constatados nos tratamentos T2 (75% ARP e 25% AP) e T1 (100% ARP e 0% AP). A formação de biofilme resultante da interação entre sólidos suspensos e coliformes totais possibilitou a obstrução do interior dos gotejadores e das linhas laterais, acarretando a redução da vazão dos gotejadores, bem como o aumento do coeficiente de variação de vazão (CVQ) e a redução dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de uniformidade de distribuição (CUD).

Na água residuária doméstica primária os atributos pH, condutividade elétrica e ferro total representam risco moderado de obstrução de gotejadores, enquanto o atributo sólidos suspensos apresenta risco severo. Para a água de poço somente o ferro total apresentou risco moderado de obstrução de gotejadores, os demais atributos (pH, condutividade elétrica, coliformes totais, sólidos suspensos, manganês total, cálcio e magnésio) não representam risco de obstrução.

Referências

- Almeida, O. T. (2010) **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas, Embrapa Mandioca e Fruticultura, 227p.
- ASAE EP 405 (2003) **Design and installation of microirrigation systems**. ASAE Standards, St. Joseph, p. 900-905.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. (1999) **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande, UFPB, 153p.
- Batista, R. O.; Souza, J. A. R.; Ferreira, D. C. (2010) Influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação. **Revista Ceres**, v.57, p.18-22.
- Batista, R. O. et al. (2011a) Efeito das características do esgoto doméstico na uniformidade de aplicação de sistemas de irrigação por gotejamento. **Revista Caatinga**, v.24, p. 137-144.
- Batista, R. O. et al. (2011b) Influência de diferentes qualidades de esgoto doméstico na vazão de gotejadores. **Revista Caatinga**, v. 24, p. 128-134.
- Batista, R. O. et al. (2013) Obstrução e uniformidade de aplicação em sistemas de irrigação por gotejamento aplicando-se efluente da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.7, p. 698-705.
- Brasil. Agência Nacional de Águas. Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil 2012. Brasília: ANA, 2012a. 264 p.
- Brasil. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. A questão da água no Nordeste. Brasília: CGEE, 2012b. 436p.
- Brasil. Portaria MS nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial, Brasília, 2011a. Disponível em: <http://www.cvs.saude.sp.gov.br/zip/Portaria_MS_2914-11.pdf>. Acessado em: 29 maio de 2014.
- Brasil. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial, Brasília, 2011b. Disponível em: <http://antigo.semace.ce.gov.br/integracao/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95>. Acessado em: 29 maio de 2014.
- Capra, A.; Scicolone, B. (2004) Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v.68, p.135-149.
- Capra, A.; Scicolone, B. (1998) Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.70, p. 355-365.
- Ceará. Resolução COEMA nº 2, de 2 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 21 de fevereiro de 2017. Diário Oficial do Estado do Ceará, Fortaleza, 2017. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=337973>>. Acessado em: 28 março de 2017.
- Costa FGB (2012) Uso de água residuária de origem doméstica no cultivo do girassol no assentamento Milagres, Apodi-RN. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró. 92p.
- Denículi, W. et al. (1980) Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, v.27, p. 155-162.
- Duran-Ros, M. et al. (2009) Effect of filter, emitter and location on clogging when using effluents. **Agricultural Water Management**, v.96, p. 67-79.

- Fonseca, A. F. et al. (2007) Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agricola**, v.64, p. 194-209.
- Liu, H.; Huang, G. (2009) Laboratory experiment on drip emitter clogging with fresh water and treated sewage effluent. **Agricultural Water Management**, v.96, p. 745-756.
- Merriam, J. L.; Keller, J. (1978) Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Logan, Utah State University, 271 p.
- Moura, F. N. et al. (2011) Desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de esgoto doméstico em áreas rurais do semiárido brasileiro. **Engenharia Ambiental**, v. 8, p. 264-276.
- Nakayama, F. S.; Boman, B. J.; Pitts, D. (2006) Maintenance. In: Lamm FR, Ayars JE & Nakayama FS (Eds.). **Microirrigation for crop production: Design, Operation, and Management**. Amsterdam: Elsevier, cap. 11, p. 389 - 430.
- R development core team (2010) R: A Language and environment for statistical computing. Vienna, R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: < <http://www.r-project.org/>> . Acessado em: 29 maio de 2014.
- Reinaldo, G. P. B. et al. (2012) Desempenho de sistema decanto-digestor com filtro biológico seguido por alagado construído e reator solar no tratamento de esgoto doméstico. **Ambi-Agua**, v. 7, p. 62-74.
- Rice, E. W.; Baird, R. B.; Clesceri, A. D. (2012) Standard methods for the examination of water and wastewater. 22. ed. Washington, APHA, AWWA, WPCR, 1496 p.
- Silva, K. B. et al. (2013) Desempenho de gotejadores operando com efluente da castanha de caju sob distintas pressões de serviço. **Revista Ceres**, v. 60, p. 339-346.
- von Sperling, M. (2011) **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte, UFMG, 425 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 1).
- Tundisi, J. G. (2008) Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, v. 22, p. 7-16.

-
1. Mestra em Irrigação e Drenagem pela Ufersa. Graduação em Agronomia pela Ufersa. E-mail: fabricia_gratyelli@hotmail.com
 2. Professor Adjunto da Ufersa. Graduação, mestrado e doutorado em Engenharia Agrícola pela UFV. E-mail: rafaelbatista@ufersa.edu.br
 3. Doutorado em Engenharia Agrícola pela UFCG, mestrado em Engenharia Agrícola pela UFLA, Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela SESAT, Graduação em Engenharia Agrícola pela UFCG. E-mail: djlf_deni@yahoo.com.br
 4. Professor Associado da Ufersa. Graduação em Engenharia Agrícola pela UFPB, mestrado e doutorado em Agronomia pela UNESP. E-mail: suedemio@ufersa.edu.br
 5. Professor Associado da Ufersa. Graduação em Engenharia Agrícola pela UFPB, mestrado em Engenharia Agrícola pela UFV e doutorado em Agronomia pela UNESP. E-mail: jodilon@ufersa.edu.br
 6. Mestre em Irrigação e Drenagem pela Ufersa. Bacharel em Administração de Empresas pela UERN. E-mail: dimasg@ufersa.edu.br
-

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015
Vol. 38 (Nº 43) Año 2017
Indexada en Scopus, Google Scholar

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a webmaster]