

## **AValiação de Gotejadores com uso de água residuária de piscicultura e suinocultura em diferentes diluições**

**DANIELY KAREN MATIAS ALVES<sup>1</sup>; MARCONI BATISTA TEIXEIRA<sup>1</sup>;  
FERNANDO NOBRE CUNHA<sup>1</sup> E FERNANDO RODRIGUES CABRAL FILHO<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Departamento de Hidráulica e Irrigação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, CEP: 75.901-970, Rio Verde – GO, daniely\_karen@hotmail.com, marconibt@gmail.com, fernandonobrecunha@hotmail.com, fernandorcfilho10@gmail.com*

### **1 RESUMO**

Este artigo é parte integrante da dissertação de mestrado da primeira autora. As águas residuárias apresentam em sua composição alta carga orgânica, elevada quantidade de sólidos suspensos e variação no pH, que podem proporcionar risco de obstrução dos emissores. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho hidráulico do sistema de irrigação por gotejamento superficial com uso de água residuária de piscicultura e suinocultura em diferentes diluições. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas 2x4, com três repetições. Os tratamentos consistiram em duas fontes de água residuária (piscicultura e suinocultura) diluídas em quatro proporções de água de abastecimento, sendo: dose recomendada de água residuária + 0, 25, 50 e 75% de seu volume em água de abastecimento, totalizando 24 parcelas experimentais. Cada parcela foi constituída por quatro vasos, totalizando 96 unidades experimentais. Depois de tabulados os dados de vazão foram efetuados os cálculos de Uniformidade de Christiansen (CUC) e de Distribuição (CUD), vazão relativa (Qr), coeficiente de variação (CV) e grau de entupimento (GE). O uso do sistema de irrigação por gotejamento operando com água residuária de suinocultura e piscicultura, durante 470 horas de funcionamento, não compromete a uniformidade de distribuição de água.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L., efluentes, irrigação localizada, uniformidade

**ALVES D. K. M.; TEIXEIRA, M. B.; CUNHA, F. N.; CABRAL FILHO, F. R.  
EVALUATION OF DRIPPERS WITH USE OF WASTEWATER FROM SWIMMING  
AND SWINE FARMING IN DIFFERENT DILUTIONS**

### **2 ABSTRACT**

This article is an integral part of the first author's dissertation. The wastewater presents in their composition high organic load, high number of suspended solids and variations in pH, which may provide a risk of obstruction of emitters. This work aimed to evaluate the hydraulic performance of a surface drip irrigation system with the use of fish and pig farming wastewater at different dilutions. The experimental design was in randomized blocks, analyzed in a split plot scheme 2x4, with three replications. The treatments consisted of two sources of wastewater (fish and swine) diluted in four proportions of water supply, with a recommended dose of wastewater + 0, 25, 50 and 75% of its volume in water supply, totaling 24 experimental plots.

Each plot consisted of four vessels, totaling 96 experimental units. After tabulating the flow data were performed the calculations of Uniformity of Christiansen (CUC) and Distribution (CUD), Relative Flow (RF), Coefficient of Variation (CV) and Degree of Clogging (DC). The use of the drip irrigation system operating with swine and fish-farming wastewater during 470 hours of operation does not compromise the uniformity of water distribution.

**Keywords:** *Zea mays* L., effluents, drip irrigation, uniformity

### 3 INTRODUÇÃO

A utilização de água residuária surge como uma fonte alternativa de adubação nitrogenada, pois apresenta nitrogênio e outros nutrientes como o potássio em sua composição, que reduz as doses de fertilizantes minerais necessárias para a cultura (ABREU, 2019).

Além de possibilitar melhorias de produtividade devido o fornecimento de nutrientes, o aproveitamento de águas residuárias na fertirrigação de culturas agrícolas constitui uma opção de descarte adequado desses resíduos, contribuindo para a redução da poluição ambiental provocada pelo lançamento desses efluentes em corpos hídricos (FRANCISCO, 2014). Atividades do setor agroindustrial, como suinocultura e piscicultura, produzem diariamente uma quantidade significativa de efluentes com elevada carga de nutrientes e matéria orgânica (SILVA, 2019; GOMES, 2016) que podem comprometer a qualidade da água de corpos hídricos receptores desses efluentes.

As águas residuárias apresentam em sua composição alta carga orgânica, elevada quantidade de sólidos suspensos e variação no pH (MACAN *et al.*, 2017), sendo que, sua utilização em sistemas de irrigação pode ocorrer a formação de depósitos gelatinosos resultantes da interação entre partículas orgânicas, um dos fatores relevantes no processo de entupimento de gotejadores (BATISTA *et al.*, 2013a), prejudicando o funcionamento geral do sistema de irrigação, o que afeta suas características de operação e interfere na uniformidade de distribuição

de água (CUNHA *et al.*, 2006; BATISTA *et al.*, 2013b).

Com o desenvolvimento de novas tecnologias, Silva *et al.* (2015) apontam que existe tendência de expansão de áreas irrigadas por gotejamento em substituição a outros sistemas de irrigação em algumas regiões do Brasil. Apesar da elevada eficiência, a principal limitação desse sistema para uso em fertirrigação com água residuária é a sensibilidade de obstrução dos emissores por contaminantes físicos, biológicos e químicos presentes nestas águas (DOSORETZ *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2013).

O sistema de irrigação por gotejamento é recomendado para aplicação de águas residuárias pela otimização de aplicação do efluente e baixo risco de contaminação do produto agrícola e de operadores no campo (LOPES *et al.*, 2015), destacando-se entre os demais métodos por sua eficiência e uniformidade.

O desempenho dos sistemas de irrigação por gotejamento pode ser avaliado mediante coeficientes de uniformidade de aplicação de água, como o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e Coeficiente de variação (CV), além do conhecimento de critérios como a vazão relativa e grau de entupimento do sistema de irrigação.

De acordo com Mantovani, Bernardo e Palaretti *et al.* (2009) a avaliação da uniformidade de irrigação é uma etapa fundamental para definir a eficiência de uso da água pelo sistema de irrigação, perdas durante a aplicação e necessidade de

manutenção do sistema em função do entupimento que altera a uniformidade de distribuição de água.

Com base no exposto acima, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho hidráulico do sistema de irrigação por gotejamento superficial com uso de água residuária de piscicultura e suinocultura em diferentes diluições.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O sistema de irrigação por gotejamento superficial foi dimensionado para a fertirrigação em vasos plásticos dispostos a céu aberto, na estação experimental do Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde – GO. A área encontra-

se a 720 m de altitude e nas coordenadas geográficas de 17°48'28" S e 50°53'57" O. O clima da região é classificado conforme Köppen e Geiger (1928), como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca nos meses de junho a setembro. A temperatura média anual varia de 20 a 35°C e as precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais e o relevo é suave ondulado (6% de declividade).

O solo utilizado para o preenchimento dos vasos foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), de textura argilosa (SANTOS *et al.*, 2018), coletado numa camada de 0,00-0,20 m de profundidade em uma área de Cerrado nativo pertencente ao IF Goiano – *Campus* Rio Verde (Tabela 1).

**Tabela 1.** Características físico-químicas do Latossolo Vermelho distroférico utilizado para o preenchimento dos vasos, na camada de 0,00–0,20 m de profundidade.

Ca	Mg	Ca+Mg	Al	H+Al	K	K	S	P	CaCl <sub>2</sub>
----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					----- mg dm <sup>-3</sup> -----				pH
0,77	0,34	1,11	0,04	2,15	0,05	18,00	9,90	0,47	5,20
Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B	CTC <sup>a</sup>	SB	V%	m%
----- Micronutrientes (mg dm <sup>-3</sup> ) -----					----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			SB	m%
0,00	75,56	12,96	4,16	3,93	ns	3,31	1,16	35,00	3,30
Textura (%)			M.O.	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC
Argila	Silte	Areia	gdm <sup>-3</sup>	----- Relação entre bases -----					
50,20	4,90	44,90	15,20	2,30	15,40	6,80	23,26	10,27	1,51

**Fonte:** Autor (2021)

Ca (Cálcio), Mg (magnésio), e Al (Alumínio): KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; K (Potássio); S (Enxofre): Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>; P (Fósforo): Mehlich 1; Na (Sódio); Fe (Ferro); Mn (Manganês); Cu (Cobre) e Zn (Zinco): Melich 1; B (Boro): água quente; Capacidade de troca catiônica (CTC); soma de bases (SB); saturação de bases (V%); saturação de alumínio (m%); M.O. (Matéria orgânica): Método colorimétrico.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas 2×4, com três repetições. Os tratamentos consistiram em duas fontes de água residuária (piscicultura e suinocultura) diluídas em quatro proporções de água de abastecimento, sendo: dose recomendada de água residuária adicionadas de 0, 25, 50 e 75% de seu volume em água de abastecimento, totalizando 24 parcelas experimentais. Cada parcela foi constituída

por quatro vasos, totalizando 96 unidades experimentais. A dose de água residuária aplicada via fertirrigação foi calculada com base na dose recomendada de 100 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (MATOS; MATOS, 2017).

A Água Residuária de Suinocultura (ARS) foi proveniente da granja de suínos do IF Goiano – *Campus* Rio Verde, com 32 suínos em fase de terminação. Após a coleta, a ARS foi submetida a tratamento anaeróbio em biodigestor até a estabilização da matéria orgânica. A Água Residuária de Piscicultura

(ARP) foi obtida em tanque de piscicultura para produção de tilápia (*Oreochromis niloticus*), com volume de 1000 L e densidade de 131 peixes em fase juvenil, com aproximadamente 53 g peixe<sup>-1</sup>.

Antes de cada fertirrigação foi efetuada a caracterização físico-química e

bacteriológica das duas fontes de água residuária (Tabela 2) conforme as metodologias descritas no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

**Tabela 2.** Características físico-químicas e bacteriológicas da água residuária de suinocultura e piscicultura utilizada para a fertirrigação.

Parâmetro	Água residuária	
	Suinocultura	Piscicultura
pH	8,10	7,67
Turbidez (NTU)	280,00	3,79
Temperatura (°C)	22,97	22,15
Condutividade elétrica (dS m <sup>-1</sup> )	0,01	0,43
Demanda Química de Oxigênio (mg L <sup>-1</sup> )	966,94	587,5
Oxigênio Dissolvido (mg L <sup>-1</sup> )	3,43	4,60
Sólidos totais (mg L <sup>-1</sup> )	5472,22	175,69
Sólidos fixos (mg L <sup>-1</sup> )	3822,92	73,29
Sólidos voláteis (mg L <sup>-1</sup> )	1649,30	102,40
Nitrogênio total (mg L <sup>-1</sup> )	478,92	91,17
Amônia (mg L <sup>-1</sup> )	408,08	30,00
Nítrito (mg L <sup>-1</sup> )	<0,01	<0,01
Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	41,00	37,00
Nitrogênio kjeldahl (mg L <sup>-1</sup> )	437,92	54,17
Nitrogênio orgânico	29,12	24,17
Fósforo (mg L <sup>-1</sup> )	9,19	5,00
Potássio (mg L <sup>-1</sup> )	147,49	21,00
Cálcio (mg L <sup>-1</sup> )	26,65	11,90
Magnésio (mg L <sup>-1</sup> )	26,65	11,90

Fonte: Autor (2021)

O sistema de irrigação por gotejamento superficial foi dotado de gotejadores autocompensantes com vazão nominal de 4,0 L h<sup>-1</sup>, inseridos em mangueira de polietileno de baixa densidade de 16 mm, com espaçamento de 0,5 m e pressurizados por conjunto motor-bomba de 1/4 cv. Com o auxílio de um registro de gaveta, a pressão de serviço foi mantida em 1,25 bar e monitorada com o uso de um manômetro digital 0-200 psi.

A coleta e posterior avaliação da uniformidade das vazões do sistema de irrigação foi realizada às 0 e 470 horas de funcionamento do sistema. Utilizou-se a

metodologia proposta por Keller e Karmeli (1975), em que foram coletados os volumes de água de 48 gotejadores, sendo 6 por linha. O sistema foi pressurizado e em seguida posicionou-se os recipientes de coleta (capacidade de 0,35 L) sob os respectivos gotejadores com uma defasagem de 5 segundos, retirada sequencial dos recipientes após 3 min com defasagem de 5 segundos. Os volumes de água emitidos pelos gotejadores foram medidos em provetas, com capacidade de 0,10 L, posteriormente, estes dados foram tabulados e obteve-se a vazão média dos gotejadores conforme a equação 1.

$$q = 60 \left( \frac{V}{1000 t} \right) \quad (1)$$

Em que: q: vazão do gotejador ( $L h^{-1}$ ); V: volume de água coletada (L); t: tempo de coleta (min).

Depois de tabulados os dados de vazão, foram efetuados os cálculos de Uniformidade de Christiansen (CUC) (CHRISTIANSEN, 1942) e de Distribuição (CUD) (CRIDDLE *et al.*, 1956), Vazão Relativa ( $Q_r$ ), Coeficiente de Variação (CV) e Grau de Entupimento (GE) destacados nas equações 2 a 6.

$$CUC = 100 \cdot \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \cdot \bar{X}} \right) \quad (2)$$

$$CUD = 100 \cdot \left( \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \right) \quad (3)$$

$$Q_r = \left( \frac{Q_{x,y}}{Q_i} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

$$CVq = 100 \cdot \left( \frac{S}{\bar{X}} \right) \quad (5)$$

$$GE = \left( 1 - \frac{q_{usado}}{q_{novo}} \right) \cdot 100 \quad (6)$$

Em que: CUC: coeficiente de uniformidade de Christiansen (%);  $X_i$ : vazão de cada gotejador ( $L h^{-1}$ );  $\bar{X}$ : vazão média dos gotejadores ( $L h^{-1}$ ); n: número de gotejadores observados; CUD: coeficiente de uniformidade de distribuição (%);  $X_{25\%}$ : média de 25% do total de gotejadores, com as menores vazões ( $L h^{-1}$ );  $Q_r$ : vazão relativa (%);  $Q_{x,y}$ : vazão de um emissor x num dia y de irrigação ( $L h^{-1}$ );  $Q_i$ : vazão desse emissor no primeiro dia de irrigação ( $L h^{-1}$ ); CVq: coeficiente de variação da vazão (%); S: desvio padrão da vazão dos gotejadores ( $L h^{-1}$ ); GE: grau de entupimento (%);  $q_{usado}$ : vazão do gotejador usado ( $L h^{-1}$ );  $q_{novo}$ : vazão do gotejador novo ( $L h^{-1}$ ).

Os dados de desempenho hidráulico do sistema de irrigação foram submetidos à análise da variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade e, em casos de significância, foi realizada a análise de regressão polinomial linear e quadrática para os níveis diluições (D). Para o fator fontes (F) de água residuária, as médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2011).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o tempo de operação inicial de funcionamento obteve-se os valores médios para os Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC) e Distribuição (CUD) iguais a 94,01 e 92,30%, respectivamente. Segundo classificação de desempenho proposta por Merriam e Keller (1978) e Bernardo, Soares e Mantovani (2009), o sistema é classificado como excelente (>90%). Resultados em conformidade com o trabalho de fertirrigação com água residuária, sem diluição, realizado por Cunha *et al.* (2006), verificaram valores médios do CUC e CUD de 94,77 e 92,42% no tempo de funcionamento inicial.

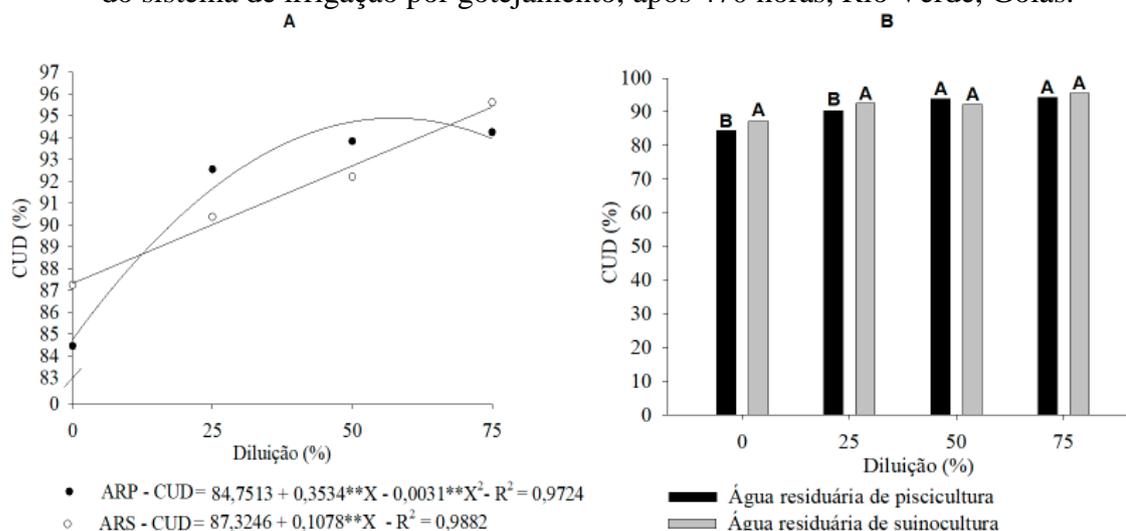
Para a Vazão Relativa ( $Q_r$ ), Coeficiente de Variação da Vazão (CVq) e Grau de Entupimento (GE), no tempo de operação inicial, as médias obtidas foram de 8,44; 94,40 e 6,86%, respectivamente. A ASAE (2003) recomenda que o coeficiente de variação dos gotejadores seja de no máximo 10%, o que indica boa qualidade dos emissores. Nota-se que a média do GE se manteve abaixo de 8% e segundo Dalri *et al.* (2014), o GE inferior a 40% sugere que não há grave entupimento dos emissores.

Após 470 horas de operação do sistema de irrigação por gotejamento verificou-se efeito da interação  $F \times D$  para os coeficientes CUD,  $Q_r$  e GE. Ocorreu efeito significativo dos fatores isolados F e D para os coeficientes CUC e CVq.

Nota-se uma diferença no comportamento do CUD quando se avalia as diluições em cada fonte de água residuária. Para a fonte Água Residuária de Piscicultura (ARP) o CUD adequou-se a uma equação polinomial de segundo grau, cuja diluição de 57% proporcionou o maior valor de CUD, estimado em 94,82%. Já para a Água

Residuária de Suinocultura (ARS) os dados se adequaram a uma equação polinomial de primeiro grau, onde a cada acréscimo de 25% na diluição houve um incremento de 2,7% no CUD, sendo que a diluição de 75% proporcionou o maior valor de CUD, estimado em 95,41% (Figura 1A).

**Figura 1.** Desdobramento da interação diluição × fontes de água residuária (Piscicultura – ARP e Suinocultura – ARS) para o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) do sistema de irrigação por gotejamento, após 470 horas, Rio Verde, Goiás.



Fonte: Autor (2021)

Independente das fontes de água residuária aplicadas verificou-se que os maiores valores do CUD do sistema de irrigação por gotejamento encontram-se classificados como excelente (>90%) segundo metodologia proposta por Keller e Karmeli (1974) e Bralts (1986). Corroborando com este estudo, Hermes *et al.* (2015) observaram que o coeficiente de uniformidade de distribuição do sistema de irrigação para a maioria dos gotejadores abastecidos com água residuária diluída foi classificado como excelente. Contudo, gotejadores de diferentes fabricantes podem apresentar valores de CUD discrepantes quando efetuam a aplicação de água residuária de estação de tratamento de esgoto, em comparação aqueles obtidos de gotejadores que utilizaram apenas água de

abastecimento, sendo, necessário planejar e acompanhar a fertirrigação com estas águas no sistema de gotejamento (GOMES *et al.*, 2020).

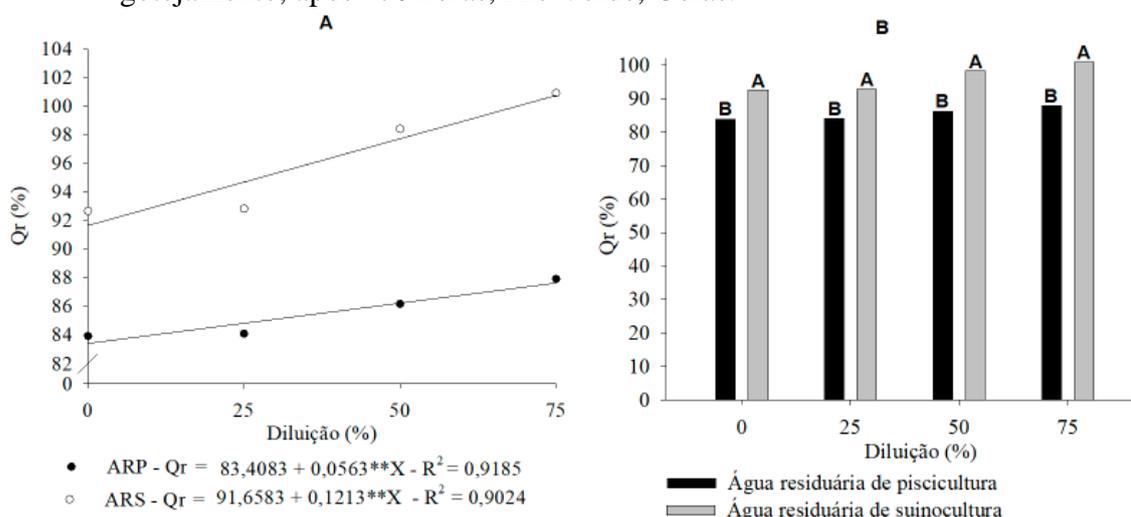
Ocorreu diferença entre as fontes utilizadas apenas nas D de 0% e 25% (Figura 1B), em que a fonte ARS proporcionou um aumento de 2,8% e 2,17%, respectivamente, no valor de CUD. O coeficiente de uniformidade de distribuição da água é um dos principais parâmetros utilizados, pois expressa a qualidade da irrigação sendo decisivo na operação desses sistemas de irrigação (OLIVEIRA; VILLAS BÔAS, 2008). Segundo López *et al.* (1992), o CUD é o mais utilizado para determinação da uniformidade pois possibilita uma medida mais rigorosa, dando maior peso às plantas que recebem menos água. Os resultados

deste estudo para o CUD (>90%) reflete as boas condições de funcionamento e conservação do sistema operando com água residuária de piscicultura e suinocultura.

Para a Qr a cada aumento de 25% na diluição ocorreu incrementos na ordem de 1,40 e 0,17% para as fontes ARP e ARS, respectivamente, em que a diluição de 75% apresentou valores estimados de 87,63 e 102,28%, respectivamente (Figura 2A). Esse comportamento pode ser resultado da remoção de sólidos do interior dos

gotejadores nos maiores volumes de água fornecidos ao sistema, acarretando assim, na atenuação do entupimento e no aumento da vazão relativa (BATISTA; OLIVEIRA; OLIVEIRA *et al.*, 2014). Leite (1995) e Costa (2000) constataram que as oscilações na vazão relativa correspondem às variações do grau de entupimento, de forma que a desobstrução aleatória dos emissores reflete diretamente no aumento de vazão de gotejadores.

**Figura 2.** Desdobramento da interação diluição × fontes de água residuária (Piscicultura – ARP e Suinocultura – ARS) para a Vazão Relativa (Qr) do sistema de irrigação por gotejamento, após 470 horas, Rio Verde, Goiás.



Fonte: Autor (2021)

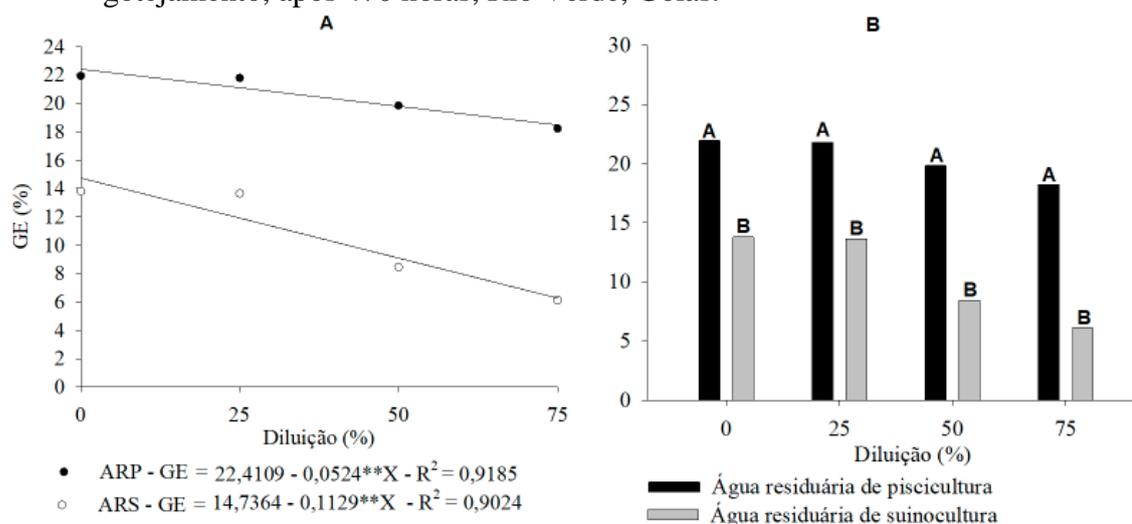
Ocorreu diferença entre as fontes utilizadas nas D de 0%, 25%, 50% e 75% (Figura 2B), em que a fonte ARS proporcionou um aumento de 8,75; 8,75; 12,25 e 13%, respectivamente, na Qr dos gotejadores quando contrastada com a fonte ARP. Batista *et al.* (2013b) verificaram que a água residuária de suinocultura proporciona baixo risco de obstrução de gotejadores, pela observação valores de CUD superiores a 90% até o tempo de funcionamento de 60 horas, independentemente da quantidade de água de abastecimento utilizada após a aplicação a água residuária.

No sistema avaliado, o GE se adequou a um modelo de regressão linear decrescente, de forma que a cada aumento de 25% na diluição, houve uma redução de 1,31 e 2,82% para a ARP e ARS, sendo a diluição de 75% a que promoveu o GE menos acentuado, estimado em 18,48 e 6,26% para a ARP e ARS, respectivamente (Figura 3A). Resultados que corroboram com os estudos de Marques *et al.* (2018), os quais constataram-se que a diluição da água residuária em água de abastecimento minimizou o entupimento dos gotejadores. Maiores proporções de água de abastecimento em água residuária podem promover a remoção do biofilme

desenvolvido pelas colônias de bactérias e dos sólidos que promovem o entupimento dos emissores (FERNANDES *et al.*, 2014). O entupimento de emissores é o principal problema dos sistemas de irrigação por

gotejamento superficial e subsuperficial, acarretando a redução do crescimento das plantas e perdas econômicas (ALMEIDA, 2019).

**Figura 3.** Desdobramento da interação diluição × fontes de água residuária (Piscicultura – ARP e Suinocultura – ARS) para o Grau de Entupimento (GE) do sistema de irrigação por gotejamento, após 470 horas, Rio Verde, Goiás.



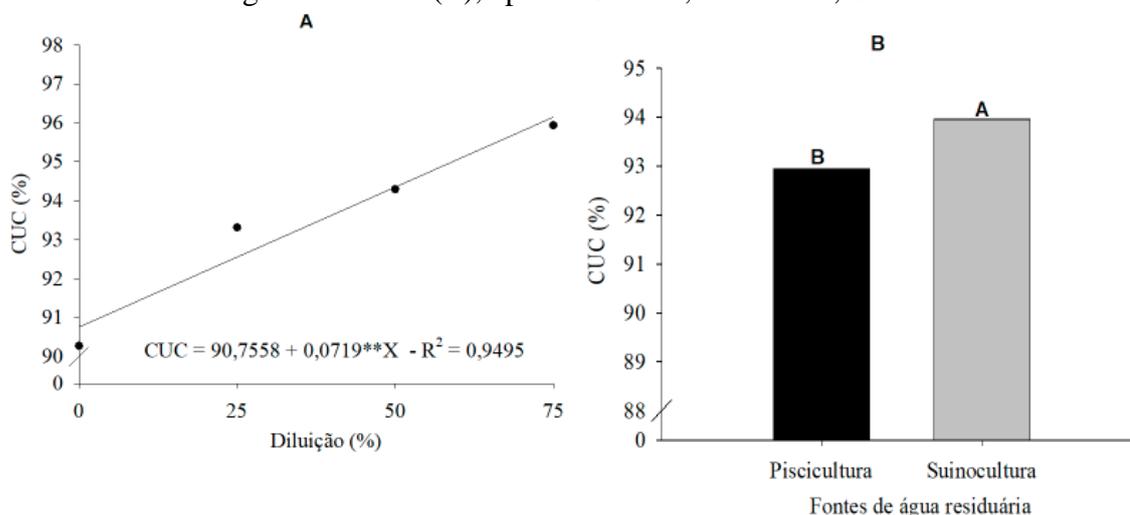
Fonte: Autor (2021)

Ocorreu diferença entre as fontes utilizadas nas D de 0%, 25%, 50% e 75% (Figura 3B), em que a fonte ARP proporcionou maior GE dos emissores na ordem de 8,14; 8,14; 11,4 e 12,09%, respectivamente, quando contrastada com a fonte ARS. A redução do entupimento em gotejadores abastecidos com água residuária de suinocultura em função do aumento percentual da diluição, pode ser atribuída à baixa concentração de oxigênio dissolvido neste efluente *in natura* (Tabela 2), que diminui a produção de subprodutos da atividade microbiana e, conseqüentemente, a formação de biofilme que, segundo Carmo *et al.* (2016) é o principal obstáculo da irrigação localizada.

A equação polinomial de primeiro grau foi utilizada para estimativa do CUC

em função das diluições, em que o maior valor deste coeficiente foi obtido na diluição de 75%, igual a 96,14% (Figura 4A). Fernandes *et al.* (2017) avaliaram o desempenho do sistema de irrigação por gotejamento operando com diluições de água residuária e observaram que houve um acréscimo linear no CUC conforme o decréscimo da porcentagem de água residuária na lâmina total de irrigação. O aumento do CUC dos gotejadores pode ser decorrente de saída de material gelatinoso de obstrução dos gotejadores (CUNHA *et al.*, 2006). Juchen, Suszek e Vilas Boas *et al.* (2013) ao avaliar um sistema de fertirrigação por gotejamento com a aplicação de águas residuárias, verificaram coeficientes de uniformidade (CUC) entre 89 e 97%.

**Figura 4.** Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC) em função das diluições (A) e fontes de água residuária (B), após 470 horas, Rio Verde, Goiás.



**Fonte:** Autor (2021)

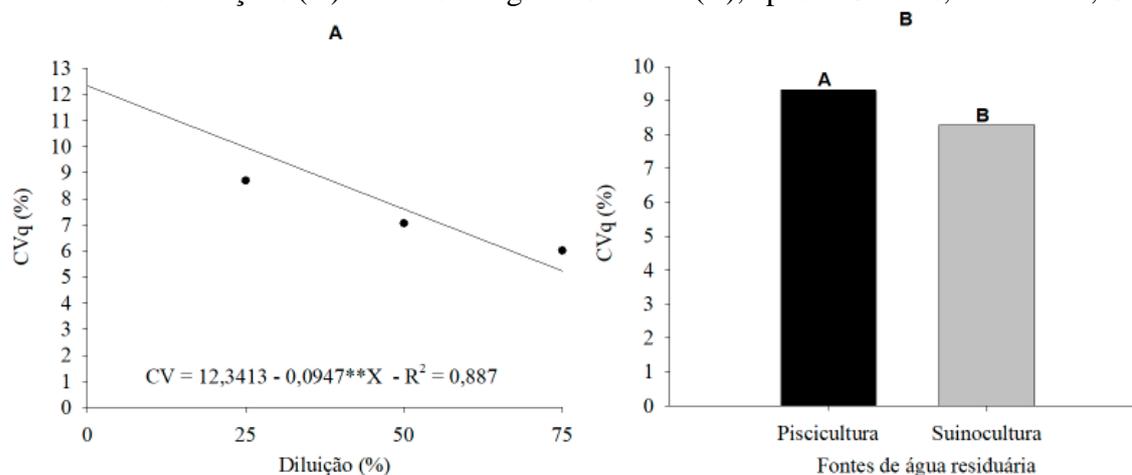
As fontes de água residuária exerceram influência no CUC, sendo que a ARS (93,96 %) proporcionou CUC dos gotejadores 1,03% superior ao obtido na fonte ARP (92,93%) (Figura 4B). Conforme os valores de CUC deste estudo, o sistema de irrigação por gotejamento apresenta classificação excelente (>90%), considerando a proposta de ASAE (1996) e Mantovani (2001).

Ao utilizar a água residuária de esgoto doméstico tratada, Sales *et al.* (2019) observaram que mesmo após alguns cultivos, os gotejadores apresentam valores de CUC, CUD e CUE classificados como bons e na maioria, excelentes. Portanto, pode-se notar com bases nos coeficientes de

desempenho do sistema de gotejamento a possibilidade concreta de aplicar águas residuárias, desde que, efetua-se o correto tratamento e diluição das mesmas.

Os gotejadores apresentaram CVq decrescente a cada aumento de 25% na diluição na ordem de 2,36%, sendo que o menor valor de CVq foi encontrado na diluição de 75% estimado em 5,24% (Figura 5A). Valores de CVq inferiores ou próximos a 10% indicam boa qualidade nos emissores do sistema de irrigação (CARARO, 2004). Os valores de coeficiente de variação da vazão encontrados no presente estudo foram próximos aos observados por Mulu e Alamirew (2012) em que a variação de vazão foi de no máximo 9%.

**Figura 5.** Coeficientes de Variação (CVq) do sistema de irrigação por gotejamento em função das diluições (A) e fontes de água residuária (B), após 470 horas, Rio Verde, Goiás.



Fonte: Autor (2021)

As fontes tiveram influência no valor de CVq (Figura 5B), em que a fonte ARP (9,30%) apresentou variação 1,03% superior a fonte ARS (8,27%). Os maiores CVq podem ter relação com a menor qualidade do efluente aplicado; essa maior variação na vazão é em decorrência principalmente a maior propensão da fonte ARP em provocar o entupimento dos emissores, pois a fonte ARP tende a proporcionar maior GE dos emissores do que a fonte ARS (Figura 3).

A análise conjunta dos coeficientes de uniformidade é essencial para avaliar o desempenho de quaisquer sistemas de irrigação (SANTOS *et al.*, 2013; RODRIGUES *et al.*, 2013). A avaliação do sistema de irrigação evita que haja problemas como subestimação ou superestimação do valor médio da vazão, da variação (CVq) e da uniformidade, garantindo um conhecimento mais profundo do sistema, reduzindo desperdícios e gastos (CUNHA *et al.*, 2013; CUNHA *et al.*, 2014).

## 6 CONCLUSÕES

Independente da fonte de água residuária, as maiores diluições proporcionam maiores coeficientes de uniformidade de Christiansen, uniformidade de distribuição, vazão relativa e, os menores

coeficiente de variação e grau de entupimento.

Ao utilizar a fonte água residuária de suinocultura o sistema de irrigação por gotejamento apresenta maior coeficiente de uniformidade de Christiansen, às 470 horas de operação.

O maior coeficiente de variação e grau de entupimento dos gotejadores são obtidos quando utilizada a fonte água residuária de piscicultura.

O uso do sistema de irrigação por gotejamento operando com água residuária de suinocultura e piscicultura diluídas, durante 470 horas de funcionamento, não compromete a uniformidade de distribuição.

## 7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), ao Centro de Excelência em Agro Exponencial (CEAGRE) e ao Instituto

Federal Goiano (IF Goiano) pelo auxílio financeiro e logístico.

## 8 REFERÊNCIAS

ABREU, P. A. S. **Irrigação por sulcos com efluente de fossa séptica biodigestor como fonte de nitrogênio na cultura do milho**. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019.

ALMEIDA, A. M. **Crescimento da grama bermuda discovery™ irrigada por gotejamento subsuperficial, sob tensões de água no solo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019.

APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2005.

ASAE. ASAE EP 405. Design and installation of microirrigation systems. *In*: ASAE. **ASAE Standards**. St. Joseph: ASAE, 2003.

ASAE. **ASAE Standards engineering practices data**. 43. ed. Saint Joseph: ASAE, 1996.

BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, A. D. F. M.; OLIVEIRA, M., F. Desempenho hidráulico de sistemas de irrigação por gotejamento operando com água residuária da suinocultura. **Magistra**, Cruz das Almas, BA, v. 26, n. 1, p. 75-88, 2014.

BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, D. B. D.; OLIVEIRA, A. D. F.; AZEVEDO, C. A.; MEDEIROS, S. D. S. Obstrução e uniformidade de aplicação em sistemas de irrigação por gotejamento

aplicando-se efluente da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 17, n. 7, p. 698-705, 2013a.

BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, D. B.; MESQUITA, F. O.; SILVA, K. B. Suscetibilidade ao entupimento de gotejadores operando com água residuária de suinocultura. **Water Resources and Irrigation Management**, Cruz das Almas, BA, v. 2, n. 1, p. 19-25, 2013b.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: UFV, 2009.

BRALTS, V. F. Field performance and evaluation. *In*: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. (ed.). **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1986. p. 216-240.

CARARO, D. C. **Manejo de irrigação por gotejamento para aplicação de água residuária visando a minimização do entupimento de emissores**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CARMO, F. F.; DUTRA, I.; BATISTA, A. A.; BATISTA, R. O.; SILVA, M. G. Dimensionamento hidráulico e avaliação de um sistema de irrigação localizada de baixo custo. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 24, n. 4, p. 302-313, 2016.

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

COSTA, C. C. **Estudo da susceptibilidade de tubos gotejadores ao entupimento por precipitados químicos de ferro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia

- agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.
- CRIDDLE, W. D.; DAVIS, S.; PAIR, C. H.; SHOCKLEY, D. G. **Methods for Evaluating Irrigation Systems**. Washington, DC: Soil Conservation Service: USDA, 1956. (Agricultural Handbook, 82).
- CUNHA, F. F.; MATOS, A. T.; BATISTA, R. O.; MONACO, P. A. Uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação por gotejamento utilizando água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 143-147, 2006.
- CUNHA, F. N.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, N. F.; MOURA, L. M. F.; TEIXEIRA, M. B.; GOMES FILHO, R. R. Variabilidade temporal da uniformidade de distribuição em sistema de gotejamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, CE, v. 7, n. 4, p. 248-257, 2013.
- CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B.; CARVALHO, J. J.; MOURA, L. M. F.; SANTOS, C. C. Coeficientes de uniformidade em sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, CE, v. 8, n. 6, p. 444-454, 2014.
- DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F.; CRUZ, F. L.; ZANINI, J. R.; FARIA, R. T.; SANTOS, G. O. Entupimento de emissores enterrados sob a cultura da cana-de-açúcar após três anos de cultivo em condições fertirrigadas. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. edição especial, p. 62-71, 2014.
- DOSORETZ, C.; TARCHITZKY, J.; KATZ, I.; KENIG, E.; CHEN, Y. Development and effects of a fouling layer in distribution and irrigation systems applying treated wastewater effluents. *In*: LEVY, G.; FINE, P.; BAR-TAL, A. (ed.). **Use of treated sewage water in agriculture: impacts on crops and soil environment**. Oxford: Blackwell Publishing, p. 1-200, 2011.
- FERNANDES, F. G. B. C.; BATISTA, R. O.; FERREIRA, D. J. L.; SILVA, S. L.; PEREIRA, J. O.; CUNHA, J. L. O. Desempenho de sistema de irrigação por gotejamento operando com diluições de água residuária doméstica tratada. **Revista Espacios**, Caracas, v. 38, n. 43, p. 10-22, 2017.
- FERNANDES, R. K. A.; BATISTA, R. O.; SILVA, S. K. C.; OLIVEIRA, J. F.; PAIVA, L. A. L. Vazão de gotejadores aplicando água residuária da castanha de caju. **Irriga**, Botucatu, SP, v. 19, n. 4, p. 585- 597, 2014.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FRANCISCO, J. P. **Fertirrigação do abacaxi cultivar vitória com vinhaça: efeitos no solo e na planta**. Dissertação (Mestrado em Ciência Agrárias) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2014.
- GOMES, L. M. **Tratamento de efluente da piscicultura utilizando os processos fenton e eletroquímico: eficiência e toxicidade**. Tese (Doutorado em Química e Biotecnologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.
- GOMES, A. H. S.; LIMA, M. G. M.; FERREIRA, D. J. L.; VASCONCELOS, G. N.; PEDROZA, J. P.; LIMA, V. L. A. Controle estatístico aplicado a uniformidade de distribuição em unidades gotejadoras operando com água residuária. **Irriga**, Botucatu, v. 25, n. 4, p. 719-727, 2020.

HERMES, E.; VILAS BOAS, M. A.; RODRIGUES, L. N.; MELO, E. L.; GONÇALVES, M. P.; LINS, M. A.; BERGER, J. S. Process capacity index in drip irrigation with cassava wastewater processing. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, Nigeria, v. 10, n. 12, p. 1427-1433, 2015.

JUCHEN, C. R.; SUSZEK, F. L.; VILAS BOAS, M. A. Irrigação por gotejamento para produção de alface fertirrigada com águas residuária agroindustriais. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 1, p. 243-256, 2013.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 17, n. 4, p. 678-684, 1974.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing, 1975.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928. 1 mapa 150x200cm.

LEITE, J. A. O. **Avaliação da susceptibilidade de tubo gotejadores ao entupimento por precipitados químicos de carbonato de cálcio**. Dissertação (Mestrado em Engenharia agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

LOPES, M. C. S.; SILVA, K. B.; SILVA, K. M. P.; BATISTA, R. O. Formação de biofilme em gotejadores que operam com águas residuárias. *In*: SEABRA, G. (org.). **TERRA - Saúde Ambiental e Soberania Alimentar**. Ituiutaba, MG: Barlavento, v. 2, p. 1-1480, 2015.

LÓPEZ, J. R.; ABREU, J. M. H.; REGALADO, A. P.; HERNANDEZ, J. F.

**G. Riego localizado**. Madrid: Mundi – Prensa, 1992.

MACAN, N. P. F.; GOMES, T. M.; ROSSI, F.; TOMMASO, G. Desempenho da irrigação por gotejamento com o uso de efluente de laticínio tratado por processo biológico. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 3, p. 575-590, 2017.

MANTOVANI, E. C. **Avalia**: programa de avaliação da irrigação por aspersão e localizada. Viçosa, MG: UFV, 2001.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação**: princípios e métodos. 2. ed. atual. e ampl. Viçosa, MG: UFV, 2009.

MARQUES, B. C. D.; BATISTA, R. O.; SANTIAGO, R. C.; PORTELA, J. C.; CUNHA, M. E.; CUNHA, R. R. Uniformidade da distribuição de efluente em unidades gotejadoras aplicando diluições da água residuária de laticínios. **Revista Irriga**, Botucatu, SP, v. 23, n. 3, p. 592-608, 2018.

MATOS, A. T.; MATOS, M. P. **Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos**. 1. ed. Viçosa: UFV, 2017. v. 1.

MERRIAN, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation**: a guide for management. Logan: Utah State University, 1978.

MULU, A.; ALAMIREW, T. Evaluating coefficient of uniformity for center pivot sprinkler irrigation. **Global Journal of Biology, Agriculture and Health Sciences**, Londres, v. 1, n. 1, p. 17-21, 2012.

OLIVEIRA, M. V. A. M.; VILLAS BÔAS R. L. Uniformidade de distribuição do potássio e do nitrogênio em sistema de

irrigação por gotejamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 95-103, 2008.

RODRIGUES, R. R.; COLA, M. P. A.; NAZÁRIO, A. A.; AZEVEDO, J. M. G. DE; REIS, E. F. Eficiência e uniformidade de um sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Ambiência Guarapuava**, Guarapuava, PR, v. 9, n. 2, p. 323-334, 2013.

SALES, M. A. L.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M. Uniformidade de um sistema de irrigação por gotejamento sob diferentes concentrações de água residuária tratada por radiação solar. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tupã, SP, v. 13, n. 4, p. 301-311, 2019.

SANTOS, C. S.; SANTOS, D. P.; SILVA, P. F.; ALVES, E. S.; SANTOS, M. A. L. Avaliação da uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Verde**, Juazeiro, BA, v. 8, n. 3, p. 17-22, 2013.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.

ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. ver. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SILVA, K.; SILVE JÚNIOR, B.; BATISTA, M. J.; OLIVEIRA, R.; SANTOS, D. B.; BARBOSA FILHO, S. Desempenho de gotejadores operando com efluente da castanha de caju sob distintas pressões de serviço. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 60, n. 3, p. 339-346, 2013.

SILVA, M. L. G. **Uso do sólido de suínos de forma parcelada como fonte de nitrogênio (N) em adubação de cobertura no cultivo do milho verde irrigado por gotejamento**. 2019. TCC (Graduação em Engenharia Agrícola) – Instituto Federal Goiano, Urutaí, 2019.

SILVA, S.; DANTAS NETO, J.; TEODORO, I. SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; SANTOS, M. A. L. Demanda hídrica da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento nos tabuleiros costeiros de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 19, n. 9, p. 849-856, 2015.