



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
CURSO DE AGRONOMIA**

**VICTOR BEVILÁQUA GUIMARÃES**

**INFLUÊNCIA DA ÁGUA RESIDUÁRIA NA UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DO  
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO**

**FORTALEZA**

**2019**

VICTOR BEVILÁQUA GUIMARÃES

INFLUÊNCIA DA ÁGUA RESIDUÁRIA NA UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DO  
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes.  
Coorientador: Dr. Erialdo de Oliveira Feitosa

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- G981i    Guimarães, Victor Beviláqua Guimarães.  
          Influência da água residuária na uniformidade de aplicação do sistema de irrigação por gotejamento /  
          Victor Beviláqua Guimarães Guimarães. – 2019.  
          49 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências  
          Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2019.  
          Orientação: Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes.  
          Coorientação: Prof. Dr. Erialdo de Oliveira Feitosa.
1. Reúso de água. 2. Entupimento. 3. Coeficientes de uniformidade. 4. Vazão. I. Título.

CDD 630

---

VICTOR BEVILÁQUA GUIMRÃES

INFLUÊNCIA DA ÁGUA RESIDUÁRIA NA UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DO  
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

Monografia apresentada ao Curso de  
Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito  
parcial à obtenção do título de Engenheiro  
Agrônomo.

Aprovada em: 27 / 07 / 2019.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr. Erialdo Oliveira Feitosa (Coorientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Doutorando, M.Sc. Francisco Emanuel Firmino Gomes (Conselheiro)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Alan Bernard Oliveira de Sousa (Conselheiro)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus, por todas às vezes ter me dado força em momentos difíceis, onde não me via como levantar. Ele ouviu com paciência todas minhas angústias e me ajudou a enxugar minhas lágrimas e seguir em frente, sem nunca me deixar desistir dos meus sonhos. Sou muito grato!

Aos meus pais, Elisbete Beviláqua da Silva e Antônio Viana Guimarães (Iran), por todo suporte, todos os esforços na minha criação e do meu irmão, por todos os sermões necessários e todas as palavras que me encorajaram a sempre perseguir meus sonhos e nunca desistir. Obrigado pelo amor e suporte de vocês.

Ao meu irmão Daniel agradeço pelo companheirismo de todos esses anos e que desde o seu nascimento é algo muito especial na minha vida.

Ao grupo MASSA, onde tive a oportunidade de trabalhar com o projeto e utilizar os dados. E ao Departamento de Engenharia Agrícola (DENA), a Universidade Federal do Ceará por dar suporte necessário para a realização desse trabalho.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes e Dr. Erialdo de Oliveira Feitosa, pela oportunidade de trabalhar com excelentes profissionais que com certeza agregaram muito na minha vida acadêmica e profissional. Muito grato à paciência e dedicação.

A CAGECE, por ceder a área experimental para o desenvolvimento desse trabalho. E ao IFCE Campus Tianguá, pelo suporte no desenvolvimento do trabalho.

Aos meus irmãos/primo que a vida me proporcionou: Brenno Beviláqua, Abel Bruno, Samuel Queiroz, Agliany Stefany, Bruna Aires.

Aos participantes da banca examinadora Prof. Dr. Alan Bernard Oliveira de Sousa e Ms. Francisco Emanuel Firmino Gomes e pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos meus amigos que nessa caminhada universitária me ajudaram com suas amizades, confiança e lealdade: Adriana, Janderson, Jairo, Lucas Yida, Lucas Martins, Breno Barros, Jairon, Luiza, Italo, Marcos Filho, Caio, Julyanne. Perdoe-me se esqueci de alguém, meu coração é muito grande para uma simples página.

Ao Dr. Fábio Rodrigues de Miranda, por ter concedido minha primeira oportunidade de estagiar e ter me passado seu interminável conhecimento de vida profissional, com toda certeza ter me feito um profissional e uma pessoa melhor.

“O topo da inteligência é alcançar a  
humildade.”

(Ditado Judaico)

## RESUMO

O uso do esgoto doméstico tratado na agricultura irrigada tem sido intensificado nos últimos anos em função da crise hídrica que tem impulsionado a busca por fontes alternativas de água, além da questão ambiental e nutricional do efluente doméstico tratado. Contudo, analisar os problemas relacionados com a utilização de águas residuária no sistema de irrigação é primordial para recomendações técnica e econômica. Desta forma, objetivou-se avaliar a uniformidade de aplicação de água de um sistema de irrigação operando com esgoto doméstico tratado em comparação a outro sistema operando com água potável. O estudo foi realizado na área experimental da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) pertencente à Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE) situada no município de Tianguá – CE. Foi utilizada a metodologia que recomenda a obtenção de vazão em quatro pontos ao longo da linha lateral, ou seja, do primeiro gotejador, dos gotejadores situados a  $1/3$  e a  $2/3$  do comprimento da linha lateral e o último gotejador. As linhas laterais selecionadas, ao longo da linha de derivação, devem ser a primeira, as situadas a  $1/3$  e  $2/3$  do comprimento da linha de derivação e a última linha lateral. O desempenho do sistema foi analisado por meio do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE), além da eficiência de aplicação. No sistema de irrigação com água potável (S1), o CUC, CUD e CUE foram acima de 90%, sendo classificados como “excelentes” em todas as avaliações. Já o sistema de irrigação com efluente doméstico tratado (S2), o CUC, CUD e CUE foram abaixo de 90%, sendo classificados como “bom”. Com relação à eficiência do sistema de irrigação, S1 foi acima de 80%, enquanto no S2 abaixo de 80%. A qualidade da água residuária afetou a uniformidade de aplicação e a eficiência de aplicação do sistema, assim como a pressão de serviço.

**Palavras-chave:** Reúso de água, entupimento, coeficientes de uniformidade, vazão.

## ABSTRACT

The use of domestic sewage treated in irrigated agriculture has been intensified in recent years due to the water crisis that has driven the search for alternative sources of water, as well as the environmental and nutritional question of treated domestic effluent. However, analyzing the problems related to the use of residual water in the irrigation system is essential for economic and technical recommendation. In this way, the objective was to evaluate the uniformity of water application of an irrigation system operating with treated domestic sewage in comparison to another system operating with potable water. The study was carried out in the experimental area of the Sewage Treatment Station (ETE) belonging to the Water and Sewage Company of the State of Ceará (CAGECE) located in the municipality of Tianguá - CE. It was used the methodology that recommends the obtaining of flow in four points along the lateral line, that is, of the first dripper, the drippers located  $1/3$  and  $2/3$  of the length of the lateral line and the last dripper. The lateral lines selected along the line of derivation shall be the first, those situated  $1/3$  and  $2/3$  of the length of the branch line and the last lateral line. The performance of the system was analyzed through the Uniform Distribution Coefficient (CUD), the Uniformity Coefficient of Christiansen (CUC), the Statistical Uniformity Coefficient (CUE), and the application efficiency. In the irrigation system (S1), the CUC, CUD and CUE were above 90%, being classified as "excellent" in all evaluations. The irrigation system (S2), CUC, CUD and CUE were below 90%, being classified as "good". Regarding the efficiency of the irrigation system, S1 was above 80%, while in S2 below 80%. The quality of the wastewater affected the uniformity of application and the efficiency of the application of the system, as well as the service pressure.

**Keywords:** Water reuse, clogging, coefficients of uniformity, flow.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Área irrigada total no Brasil e participação das regiões geográficas .....	18
<b>Figura 2</b> - Incremento anual de área irrigada mecanizada por grupos de sistemas de 2000 a 2016 .....	19
<b>Figura 3</b> - Localização do município de Tianguá, Ceará, Brasil .....	26
<b>Figura 4</b> - Croqui da área experimental e a disposição das linhas laterais referente aos dois sistemas de irrigação.....	27
<b>Figura 5</b> - Estação de Tratamento de Esgoto de Tianguá (ETE Tianguá) e a área experimental.....	28
<b>Figura 6</b> - Esquema de seleção dos gotejadores para coletas de dados de vazão segundo a metodologia de Keller e Karmeli .....	33
<b>Figura 7</b> - Variação da vazão dos gotejadores ao longo das linhas laterais na avaliação inicial do sistema de irrigação por gotejamento com água potável (S1) e com efluente doméstico tratado (S2) .....	36
<b>Figura 8</b> - Variação da vazão dos gotejadores ao longo das linhas laterais na segunda avaliação do sistema de irrigação por gotejamento com água potável (S1) e com efluente doméstico tratado (S2) .....	37
<b>Figura 9</b> - Variação da vazão dos gotejadores ao longo das linhas laterais na terceira avaliação do sistema de irrigação por gotejamento com água potável (S1) e com efluente doméstico tratado (S2) .....	37
<b>Figura 10</b> - Variação da vazão dos gotejadores ao longo das linhas laterais na quarta avaliação do sistema de irrigação por gotejamento com água potável (S1) e com efluente doméstico tratado (S2) .....	38
<b>Figura 11</b> - Variação da vazão dos gotejadores ao longo das linhas laterais na quinta avaliação do sistema de irrigação por gotejamento com água potável (S1) e com efluente doméstico tratado (S2) .....	39
<b>Figura 12</b> - Variação da vazão dos gotejadores ao longo das linhas laterais na avaliação final do sistema de irrigação por gotejamento com água potável (S1) e com efluente doméstico tratado (S2) .....	39

<b>Figura 13</b> - Coeficiente de Uniformidade Christiansen do sistema de irrigação por gotejamento com água potável (S1) e com efluente doméstico tratado (S2) .....	40
<b>Figura 14</b> - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição do sistema de irrigação por gotejamento com água potável (S1) e com efluente doméstico tratado (S2) .....	41
<b>Figura 15</b> - Coeficiente de Uniformidade Estatístico no sistema de irrigação por gotejamento com água potável (S1) e com efluente doméstico tratado (S2)	42
<b>Figura 16</b> - Valores de eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação por gotejamento com água potável (S1) e com efluente doméstico tratado (S2).	43

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	– Análise físico-química e microbiológica da água residuária utilizado durante o experimento em Tianguá, CE .....	29
<b>Tabela 2</b>	– Atributos físico-químicos e microbiológicos da água de abastecimento utilizados no estudo em Tianguá, CE .....	29
<b>Tabela 3</b>	– Desempenho hidráulico do conjunto motobomba Anauger modelo P100	30
<b>Tabela 4</b>	– Coeficientes de cultivo para a cultura do feijão-caupi .....	31
<b>Tabela 5</b>	– Classificação dos valores do desempenho dos sistemas de irrigação em função do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) .....	34
<b>Tabela 6</b>	– Classificação dos valores do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) .....	34
<b>Tabela 7</b>	– Classificação dos valores do Coeficiente de Uniformidade Estatística (CUE) .....	35

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANA	Agência Nacional de Água
EDT	Esgoto Doméstico Tratado
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	16
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	16
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	16
<b>3.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
<b>3.1</b>	<b>Agricultura Irrigada</b> .....	17
3.1.1	Panorama da Irrigação no Mundo.....	17
3.1.2	Panorama da Irrigação no Brasil.....	17
<b>3.2</b>	<b>Método de Irrigação Localizada</b> .....	19
3.2.1	Sistema de Irrigação por Gotejamento.....	20
<b>3.3</b>	<b>Uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação</b> .....	20
<b>3.4</b>	<b>Coefficientes de Uniformidade</b> .....	22
<b>3.5</b>	<b>Fatores que Interferem na Uniformidade de Irrigação</b> .....	22
<b>3.6</b>	<b>Metodologias de Avaliação de Sistemas de Irrigação</b> .....	23
<b>3.7</b>	<b>Reúso de Água na Agricultura</b> .....	24
3.7.1	Qualidade da água residuária para irrigação .....	24
<b>4.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	26
<b>4.1</b>	<b>Localização da Área Experimental</b> .....	26
<b>4.2</b>	<b>Descrição do Estudo</b> .....	26
<b>4.3</b>	<b>Sistema e Manejo da Irrigação</b> .....	30
<b>4.4</b>	<b>Avaliação do Sistema de Irrigação</b> .....	32
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	36
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	45
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	46

## 1. INTRODUÇÃO

O recurso hídrico é o elemento fundamental que influencia as condições de vida da população no meio rural e urbano, principalmente no sistema produtivo das unidades agrícolas no semiárido. A redução na oferta desse recurso tem limitado a produção das culturas, assim como o desenvolvimento econômico e social, uma vez que a agricultura irrigada é responsável por grande parte da produção de alimentos no Brasil e no Mundo.

A agricultura irrigada constitui uma importante tecnologia para potencializar a produção mundial de alimentos, promovendo desenvolvimento no campo com geração de empregos e renda. Mantovani, *et al.*, (2009) ressalta que mais da metade da população mundial depende de alimentos produzidos nos cultivos irrigadas. A Agência das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO (2012), destacou que nos próximos 25 anos 80% dos alimentos necessários à população humana serão providos pelos cultivos irrigados.

No Brasil não é diferente, com a elevada demanda interna e externa por alimentos, a expansão da agricultura irrigada torna-se indispensável no cenário atual. Porém por ser um país com dimensões continentais apresenta uma grande variabilidade espacial e temporal do regime de chuvas, principalmente na região semiárida, sendo a mesma caracterizada por escassez hídrica e fragilidade dos recursos naturais, estas áreas apresentam uma grande diversidade climática com precipitações irregulares e limitada em garantia hídrica.

Tendo em vista o quadro de escassez hídrica em inúmeras regiões e a problemática como um todo, a busca por sistemas alternativos de produção torna-se necessário, principalmente na região semiárida do Brasil. Santos *et al.*, (2009) destacam que entre as diferentes alternativas utilizadas para solucionar ou minimizar a falta do recurso hídrico está a utilização de águas residuárias.

Pletsch *et al.*, (2009) destacam que uma das alternativas de fontes hídricas para irrigação das culturas é o efluente doméstico tratado. Para Freitas *et al.*, (2012) essa possibilidade permite o aumento da oferta de água para o consumo humano, evitando o lançamento desse material nas fontes naturais de abastecimento e podendo substituir parcialmente os fertilizantes comerciais.

O efluente doméstico tratado ainda é pouco utilizado no Brasil, já em alguns países como Israel, mais da metade da produção agrícola é irrigada com águas residuárias em função da carga nutricional presente como nitrogênio, fósforo e potássio, o que diminui os custos com fertilizantes, além de direcionar a água de melhor qualidade para fins de maior exigência.

O uso do esgoto doméstico tratado na produção agrícola tem sido intensificado nos últimos anos em função da crise hídrica em inúmeras regiões no Brasil e devido as suas qualidades nutricionais. Entretanto, estudar os efeitos que essa fonte hídrica pode provocar no sistema de irrigação é primordial para sua recomendação técnica e econômica. Segundo Silva *et al.*, (2012), o maior desafio para o uso do sistema de gotejamento com águas de baixa qualidade é conseguir manter a excelente uniformidade de distribuição do sistema.

Segundo Hermes (2010) é de extrema importância a avaliação da qualidade do efluente, uma vez que pode afeta a qualidade da irrigação e conseqüentemente a produtividade agrícola. Batista *et al.*, (2011) afirmaram que os atributos físicos e químicos do esgoto influenciam diretamente o desempenho hidráulico dos emissores. Silva *et al.*, (2012), obtiveram um coeficiente de uniformidade variando de 45,7 a 88,3% com apenas 48 h de operação do sistema com efluente doméstico tratado.

Apesar das inúmeras vantagens na utilização do esgoto doméstico tratado na agricultura irrigada, há a necessidade de avaliação da qualidade da irrigação, visto que o uso do efluente doméstico tratado pode afetar a uniformidade de aplicação da água, o que influencia diretamente na produção agrícola e nos custos com água e energia. Portanto, a utilização contínua do efluente doméstico tratado na irrigação promove perdas no desempenho hidráulico dos gotejadores.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a influência da qualidade da água residuária na uniformidade de aplicação de sistema de irrigação por gotejamento.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar a variabilidade da vazão dos emissores;
- Determinar os coeficientes de uniformidade da irrigação;



### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Agricultura Irrigada**

A agricultura irrigada constitui uma importante técnica para melhoria da produção mundial de alimentos, fomentando o desenvolvimento no campo com a geração de empregos e renda. Segundo Mantovani, *et al.* (2009) mais da metade da população mundial depende de alimentos produzidos em áreas irrigadas. Assim sendo, a irrigação torna-se fundamental para aumentar a produção e atender a demanda crescente de alimentos.

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), a agricultura irrigada apresentou um histórico crescente nas últimas décadas e que se intensificou nos últimos 15 anos, estando muitas vezes na contramão de períodos instáveis e negativos da economia brasileira e mundial. O exemplo desta crescente têm-se as estratégias traçadas para a expansão da agricultura irrigada, em especial a fruticultura no semiárido nordestino. Tal alternativa tem constituído meios de produção, contribuindo para o desenvolvimento econômico e social do Nordeste.

##### ***3.1.1 Panorama da Irrigação no Mundo***

Segundo a FAO (2017), a área irrigada no mundo está em torno de 310 milhões de hectares, sendo que 69% situam-se na Ásia, 17% na América, 8% na Europa, 4% na África e 2% na Oceania. A Índia é o país com a maior área irrigada no mundo 66 milhões de hectares, seguida por China e Estados Unidos com 62 e 27 milhões de hectares, respectivamente.

O uso de água para irrigação é proveniente de águas superficiais (61%) e de águas subterrâneas (38%). Em termos globais, as áreas irrigadas correspondem a menos de 20% da área total cultivada no planeta, no entanto produzem mais de 40% dos alimentos, fibras e culturas bioenergéticas. O potencial de expansão da agricultura irrigada em nível mundial é estimado pela FAO em cerca de 200 milhões de hectares (FAO, 2017).

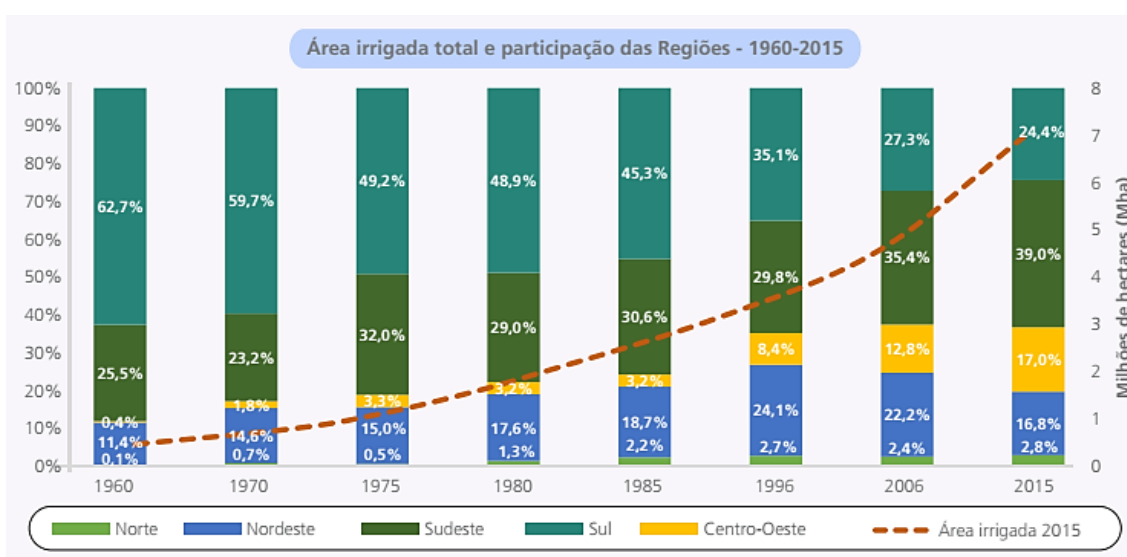
##### ***3.1.2 Panorama da Irrigação no Brasil***

O Brasil está no grupo de países que possui área entre 4 a 7 milhões de hectares irrigados. Entre 1960 e 2015 a área irrigada no Brasil aumentou expressivamente de 462 mil hectares para 6,95 milhões de hectares e poderá expandir mais 45% até 2030, atingindo 10

milhões de hectares. A média de crescimento estimado corresponde a pouco mais de 200 mil hectares ao ano, enquanto o potencial efetivo de expansão da agricultura irrigada no Brasil é de 11,2 milhões de hectares (ANA, 2017).

A área total irrigada no Brasil e a distribuição por regiões são mostradas na Figura 1. A região Nordeste apresentou um acelerado processo de incorporação de áreas irrigadas a partir de 1980, resultado de investimentos em perímetros públicos e em outras infraestruturas hídricas que impulsionaram o setor privado. Em 2006, a região ultrapassou um milhão de hectares irrigados.

**Figura 1** - Área irrigada total no Brasil e participação das regiões geográficas



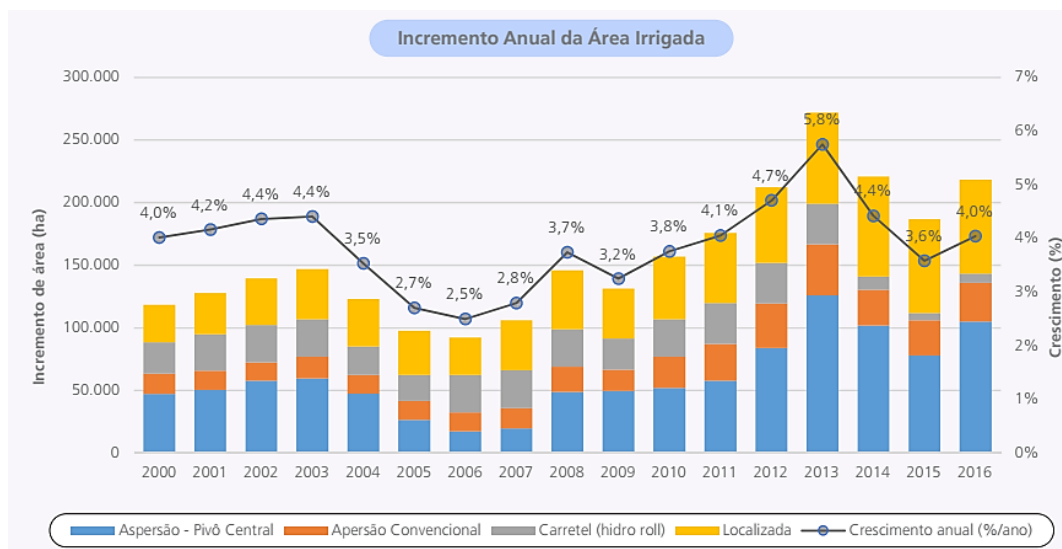
Fontes: Censos Agropecuários (IBGE, 1960-2006) e ANA (2017).

O Centro-Oeste, que experimentou um acelerado processo de expansão agrícola a partir de 1970, passou a incorporar áreas irrigadas mais expressivas a partir de 1990. Foi a região de maior expansão nos últimos 20 anos, quadruplicando a área para 1,2 milhões de hectares. A região Norte apresenta baixo desenvolvimento da agricultura irrigada, com incrementos pouco expressivos. O Sudeste vem apresentando incrementos sucessivos e expressivos desde a década de 1970, contando com a maior diversificação de métodos e tipos de irrigação dentre as regiões brasileiras. Por fim, o Sul do país é um tradicional polo de produção irrigada, também vem apresentando ganhos expressivos em área nas últimas décadas. Entretanto, com o desenvolvimento de outras regiões em taxas mais elevadas, a participação relativa da região vem decrescendo.

Com relação aos métodos de irrigação, estes são agrupados de acordo com a

forma de aplicação da água, destacando-se quatro métodos principais: superfície, aspersão, localizada e subterrânea. Na Figura 2 visualiza-se a taxa de crescimento e os incrementos anuais de área irrigada mecanizada de 2000 a 2016, ou seja, sem o método superficial (inundação, sulcos etc.) que nesse período permaneceu relativamente estável no total nacional.

**Figura 2** - Incremento anual de área irrigada mecanizada por grupos de sistemas de 2000 a 2016



Fonte: CSEI/Abimaq (2017).

Observa-se que os grupos mais eficientes no uso da água, irrigação localizada (gotejamento e microaspersão) e aspersão por pivô central representaram cerca de 70% do incremento de área irrigada no País entre 2000 e 2016 (ABIMAQ, 2017).

### 3.2 Método de Irrigação Localizada

A irrigação localizada caracteriza-se pela aplicação de água em uma pequena área próximo a zona radicular da cultura e pela alta frequência de aplicação. A microaspersão e o gotejamento são os principais sistemas do método de irrigação localizada (COELHO 2012).

Silva *et al.* (2005) destacam que as principais vantagens do método localizado são a maior eficiência no uso da água, maior adaptação à topografia da área, economia de mão-de-obra, operação em baixas pressões de serviço, diminuindo o consumo de energia e maior eficiência no controle fitossanitário. E a principal desvantagem do sistema é o entupimento dos emissores, que afeta a uniformidade da irrigação.

Para Batista *et al.* (2014), a irrigação localizada é o método mais indicado na

aplicação de água residuária, em razão da elevada eficiência de aplicação do efluente e o menor risco de contaminação. Apesar dessas vantagens, Cunha *et al.* (2017) ressaltam que no momento da aplicação desse efluente, o sistema se mostra muito vulnerável ao entupimento em comparação com outros sistemas de irrigação formando um material chamado biofilme, que é bastante comum no uso de água de reúso.

### **3.2.1 Sistema de Irrigação por Gotejamento**

O sistema de irrigação por gotejamento é o que possui o maior potencial de eficiência do uso da água, pois diminui as perdas por evaporação na superfície do solo. Segundo Hermes (2010), as maiores vantagens do método se dar quando é aplicado em regiões semiáridas que apresentam altas taxas de evapotranspiração.

Segundo Woltering *et al.* (2011), a irrigação por gotejamento permite a distribuição uniforme de água no solo a intervalos de tempo regulares, evitando efeitos adversos de sub (estresse) ou super irrigação (lixiviação e encharcamento).

Na irrigação por gotejamento, segundo Pachico (2014), a uniformidade de distribuição de água ao longo da linha lateral está relacionada com a variação de vazão dos emissores, variação esta em função das perdas de energia da água por atrito ao longo da tubulação e nas inserções dos gotejadores, com ganho ou perda de energia de posição, além dos entupimentos dos emissores.

### **3.3 Uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação**

De acordo com Mantovani *et al.* (2009), a uniformidade de aplicação consiste em um dos principais parâmetros para o diagnóstico da situação do funcionamento do sistema de irrigação, sendo um dos componentes para determinação do nível de eficiência no qual o sistema opera e pelo qual a lâmina aplicada deverá ser corrigida para fornecer água de modo a permitir o pleno desenvolvimento da cultura.

A uniformidade de aplicação de água é um dos poucos parâmetros de avaliação da irrigação, que muitos especialistas na área consideram importantes para verificação do desempenho dos sistemas. O termo uniformidade é aplicado aos parâmetros de desempenho associados à variabilidade da lâmina de água ao longo da superfície do terreno irrigado (REZENDE *et al.*, 2002).

Bernardo *et al.* (2005), afirmam que a uniformidade de aplicação afeta o

rendimento das culturas, sendo considerado um dos fatores mais importantes na operação dos sistemas de irrigação, uma vez que a baixa uniformidade sempre significa que há excesso de água em certos pontos no campo e déficit em outros.

Para Hermes (2010), a uniformidade possui influência direta na produtividade agrícola, portanto sendo um dos fatores mais importantes a ser considerado na avaliação operacional de um sistema de irrigação. Favetta e Botrel, (2001), ressaltam que a uniformidade de distribuição de água é uma informação fundamental, tanto na fase de projeto como no acompanhamento do desempenho após a implantação do sistema de irrigação.

Segundo Oliveira *et al.* (2009), a desuniformidade na distribuição de água dos sistemas promover excesso de aplicação de água em parte da área irrigada, além de outros problemas ambientais, como a lixiviação de fertilizantes e a contaminação das águas subterrâneas.

Para Martins, (2013) a análise do desempenho de um sistema de irrigação é fundamental no manejo da irrigação, pois com base nessas informações tem-se o conhecimento da qualidade com que a irrigação está sendo realizada, a partir de uma gama de coeficientes de uniformidade, os quais expressam a variabilidade de distribuição de água aplicada pelo sistema de irrigação.

Diversos coeficientes de uniformidade de aplicação têm sido utilizados para avaliar a irrigação. Segundo Bernardo *et al.* (2006), o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por Christiansen (1942), o Coeficiente de Uniformidade Estatística (CUE), proposto Wilcox & Swailes (1947) e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), proposto por Criddle *et al.* (1956) são os três coeficientes mais utilizados para determinação da qualidade da irrigação.

Keller e Karmeli (1974) classificaram os valores dos coeficientes de uniformidade como “excelente” quando superiores a 90%, “bom” no intervalo de 80% a 90%, “regular” entre 70% e 80% e “ruim” quando inferiores a 70%.

Freitas *et al.* (2012) na avaliação da uniformidade de aplicação de água em um sistema de irrigação por gotejamento sob o tempo de exposição ao esgoto doméstico tratado constataram uma boa uniformidade do sistema de irrigação com um CUC e CUD acima de 85% e 75%, respectivamente.

Batista *et al.* (2010) no estudo da influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação evidenciaram decréscimo do CUC, do CUD e da vazão do gotejador avaliado com a aplicação do esgoto doméstico tratado.

### 3.4 Coeficientes de Uniformidade

Christiansen (1942) propôs a quantificação da distribuição de água por um coeficiente que utiliza os desvios absolutos em relação à média das lâminas aplicadas. O Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) é considerado por muitos autores o principal indicador que descreve a uniformidade de irrigação, sendo usado para medir a variabilidade espacial da lâmina de água aplicada pelo sistema de irrigação.

O Coeficiente de Uniformidade Estatística (CUE) proposto por Wilcox e Swailes (1947) utiliza o desvio-padrão como medida de dispersão. Esse coeficiente representa a variação das vazões ocorrida nos emissores avaliados. E o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), proposto por Criddle *et al.* (1956), compara a média de 25% das observações com menores valores da lâmina aplicada, ou seja, a média do menor quartil, com a média total.

A análise conjunta dos três coeficientes permite a melhor avaliação do desempenho de sistemas de irrigação por meio da uniformidade de aplicação de água em qualquer sistema (BERNARDO *et al.*, 2005).

A eficiência do sistema de irrigação, conforme Bernardo *et al.* (2006) é definida como a relação entre a quantidade de água armazenada no sistema radicular e a quantidade total aplicada, sendo um dos parâmetros mais utilizados para avaliar o desempenho do sistema de irrigação.

### 3.5 Fatores que Interferem na Uniformidade de Irrigação

Existem vários fatores físicos, químicos, biológicos e operacionais que podem afetar a uniformidade de aplicação de água pelo sistema de irrigação. Por exemplo, a formação de depósitos gelatinosos, resultantes da interação entre mucilagens bacterianas, algas, tem sido o fator biológico central no processo de entupimento de emissores quando se aplicam efluentes domésticos tratados (RAVINA *et al.*, 1997).

De acordo com Silva *et al.* (2012), os emissores do sistema de irrigação são bastante sensíveis a qualidade da água, ocorrendo com muita facilidade o entupimento, resultando, conseqüentemente, em variações na uniformidade dos gotejadores, afetando diretamente o sistema hidráulico.

Segundo Batista *et al.* (2010) uma combinação de fatores favorece o surgimento de algas e bactérias, tais como condições climáticas, fertirrigação utilizando nitrogênio e

fósforo que são as principais fontes de alimentação das bactérias, o que favorece o surgimento do biofilme, que interfere na uniformidade de aplicação.

A pressão de serviço dos gotejadores é outro fator importante a ser considerado na análise de uniformidade. A falta de conscientização sobre a sua importância faz com que a maioria dos sistemas tenha deficiência ou total falta de infraestrutura para medidas, ajustes e controle (MANTOVANI *et al.*, 2009).

### 3.6 Metodologias de Avaliação de Sistemas de Irrigação

A avaliação de sistemas de irrigação segundo Silva *et al.* (2005) é uma prática que o produtor não dá a devida importância, mesmo tendo acesso à tecnologia, acabam não utilizando da forma mais adequada por falta de orientação e/ou conhecimento.

Segundo Fernandes *et al.* (2017), a avaliação técnica por meio de coeficientes indica a desuniformidade de aplicação dos emissores, no qual possibilita verificar a causa do problema, seja por falta de manutenção, sistemas mal dimensionados ou que já estão em operação a algum tempo e apresente alto grau de entupimento.

Segundo Levien e Figueirêdo (2013), para a avaliação da uniformidade de aplicação da água é necessária a obtenção do coeficiente de uniformidade (CU). Na literatura podem ser encontradas referências a vários métodos propostos para estimar a uniformidade de aplicação em campo. Destacam-se entre eles: Christiansen, (1942), Keller e Karmeli (1975), Deniculi *et al.* (1980) e ASAE EP458.

Com relação aos principais métodos de avaliação de sistemas de irrigação, o método de Christiansen, (1942) consiste na coleta de dados em todos os emissores da área a ser avaliada. A metodologia proposta por Deniculi *et al.* (1980) representa a coleta das lâminas de água em quatro linhas laterais (primeira linha, linha situada a 1/3 da origem, linha situada a 2/3 da origem e última linha) e oito emissores por linha (primeiro emissor; emissores a 1/7, 2/7, 3/7, 4/7, 5/7 e 6/7 da origem e último emissor), totalizando assim 32 emissores.

Já o método proposto por Keller e Karmeli (1975) compreende a coleta das lâminas de água aplicadas em quatro linhas laterais (primeira linha, linha situada a 1/3 da origem, linha situada a 2/3 da origem e última linha) e quatro emissores por linha (primeiro emissor; emissores a 1/3, 2/3 e último emissor), totalizando assim 16 emissores.

### **3.7 Reúso de Água na Agricultura**

Segundo a Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH nº 54/2005, águas residuárias são os esgotos, água descartada, os efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não. Assim sendo, as águas residuárias são todas as águas descartadas que resultam da utilização por diversos processos. Já o reúso de água é definido como a utilização de água residuária e neste processo pode haver ou não um tratamento da água, dependendo da finalidade para a qual vai ser reutilizada.

De acordo com Neves, (2012) a utilização de uso de águas residuárias tem despertado o interesse da sociedade devido ao crescimento populacional e o aumento da demanda hídrica nos diversos setores de consumo. Dessa forma, a utilização de fontes alternativas de água, principalmente na agricultura irrigada depende de estratégias de manejo que em longo prazo assegurem a sustentabilidade socioeconômica, ambiental e técnica dos sistemas agrícolas.

Segundo Hermes (2010), com a baixa disponibilidade dos recursos hídricos, intensificou-se a necessidade de utilizar outras fontes de água, como o esgoto doméstico tratado, mesmo possuindo uma qualidade inferior, tornou-se uma alternativa importante na prática da irrigação.

Segundo Lima et al. (2012), o crescimento populacional aumentará a demanda por mais água tanto para consumo humano como na agricultura. Desse modo, o reúso no setor agrícola torna-se um importante recurso para implementação de políticas e estratégias de gestão dos recursos hídricos.

De acordo com Cunha et al. (2017) o reúso da água na agricultura diminui a degradação dos corpos hídricos, além de complementar o fornecimento de água e nutrientes nas culturas irrigadas. Nobre *et al.* (2010) destacam que o uso de efluentes tratados na produção agrícola visa promover a sustentabilidade da agricultura irrigada, economia de águas superficiais não poluídas, mantendo a qualidade ambiental e servindo como fonte nutritiva às plantas.

#### **3.7.1 Qualidade da água residuária para irrigação**

A avaliação da qualidade da água é fundamental, principalmente em sistemas de irrigação por gotejamento, mesmo sendo o sistema mais indicado ambientalmente e possuir uma alta eficiência de aplicação, contém uma alta suscetibilidade ao entupimento dos



emissores (HERMES, 2010).

A qualidade da água reutilizada é importante tanto para a saúde dos trabalhadores em contato com essa água, quanto para a aplicação em que será utilizada, uma vez que, o uso de águas residuárias podem causar problemas ambientais e riscos à saúde pública se não passarem por tratamentos adequados (ANA, 2016).

Duarte et al. (2008) destacam que a irrigação com efluentes sem tratamento ou sem conhecimento de sua qualidade pode ser nociva ao meio ambiente, a saúde humana, ao solo, aos aquíferos e as culturas irrigadas. Kummer et al. (2012) ressaltam que a qualidade da água utilizada na agricultura é de grande importância, tanto em relação à vida útil do sistema quanto na uniformidade da distribuição da água pelo sistema de irrigação.

Para Andrade e Brito (2010), a qualidade da água é definida a partir de critérios de salinidade, sodicidade, toxicidade, entre outros. Hespanhol (2003) destaca que além dos parâmetros biológicos, os parâmetros químicos também devem ser considerados quando se trata de utilização de água residuária para irrigação.

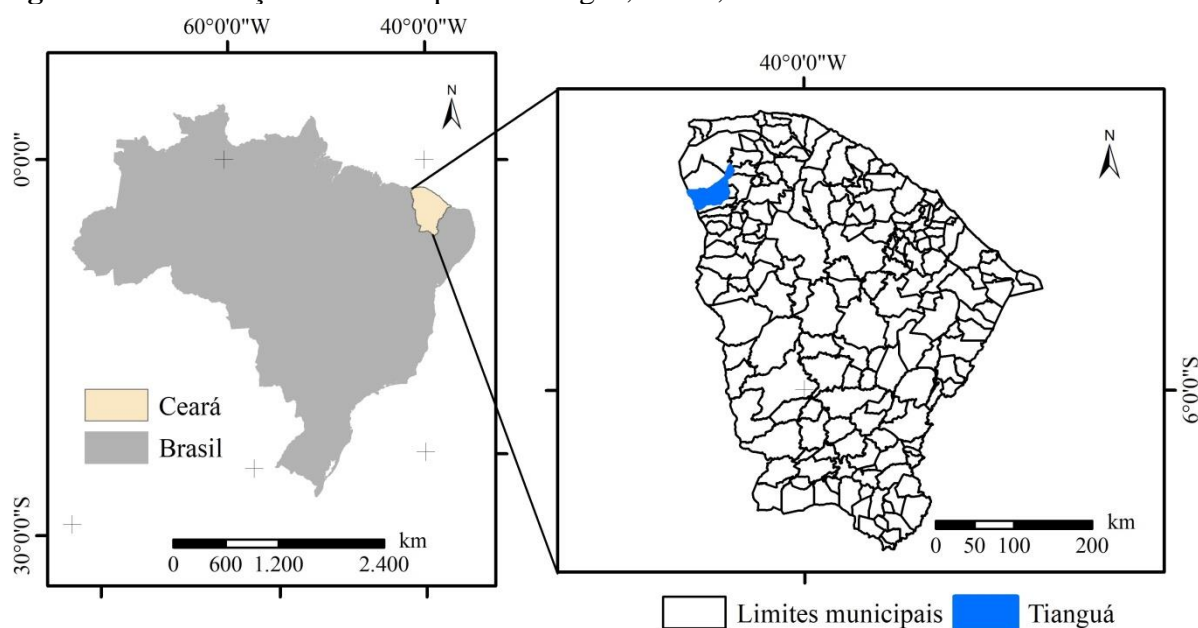
Cavalcante et al. (2012) destacam que para o uso de esgotos tratados na irrigação, faz-se necessária a elaboração e a avaliação de alguns parâmetros para a adequação da água à sua finalidade, ressaltando a importância da caracterização dos efluentes usados de acordo com suas características químicas.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização da área experimental

O estudo foi realizado na área experimental da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) pertencente à Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE) situada no município de Tianguá – CE (Figura 3), localizada geograficamente a  $3^{\circ} 44''$  S e  $40^{\circ} 59''$  W e altitude de 740 m. O clima segundo a classificação de Koppen é do tipo Aw, clima tropical com estação seca, temperatura média anual  $26^{\circ}\text{C}$  e pluviometria média anual de 1.350 mm.

**Figura 3** - Localização do município de Tianguá, Ceará, Brasil

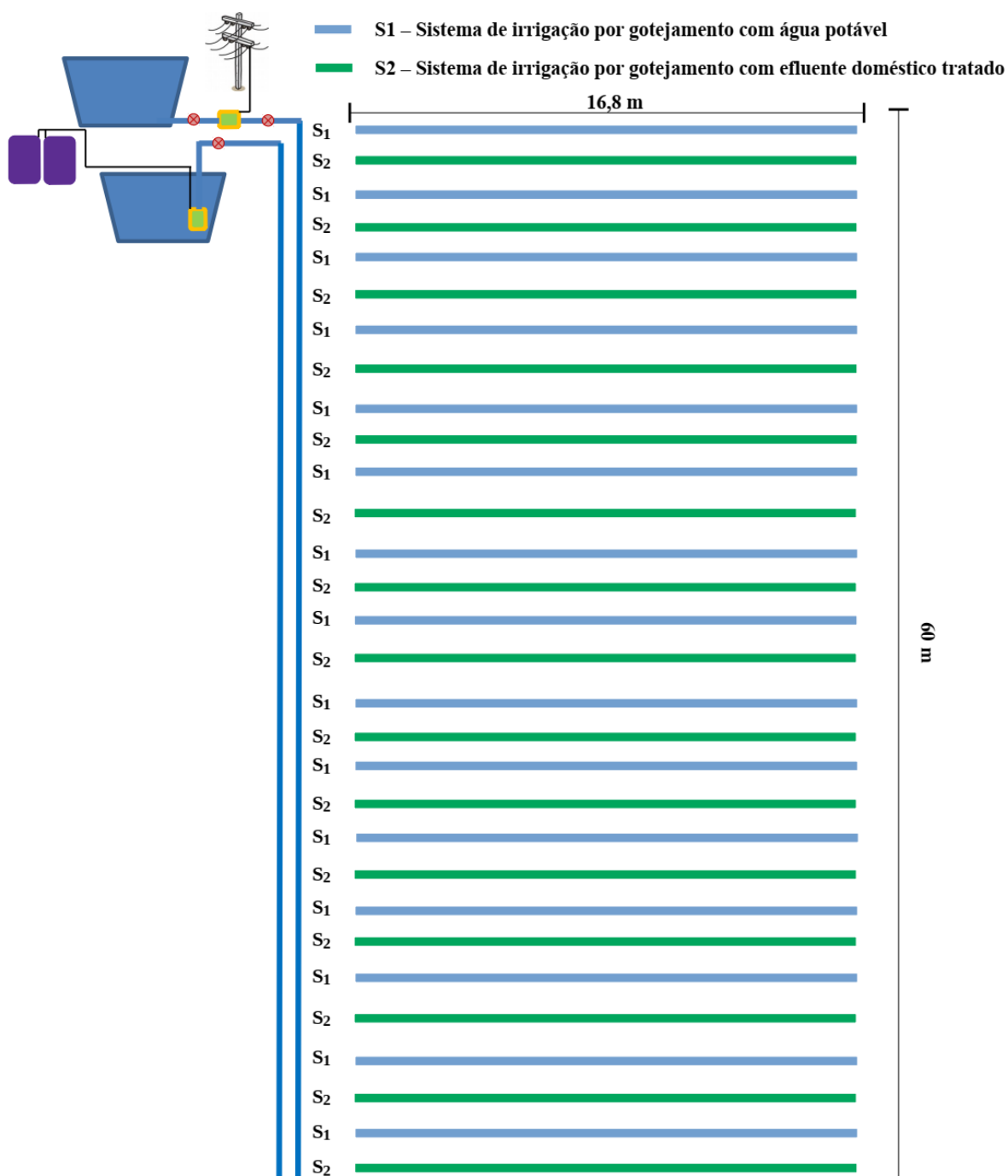


### 4.2 Descrição do estudo

O estudo tem por finalidade a comparação de dois sistemas de irrigação operando com diferentes fontes de água e energia. Dessa forma, o experimento foi composto por dois sistemas de produção (tratamentos), em que o planejamento experimental adotado foi o delineamento inteiramente casualizado. O sistema de irrigação por gotejamento com água potável (S1) refere-se ao cultivo irrigado com água potável e acionado com energia da rede elétrica e o sistema de irrigação por gotejamento com efluente doméstico tratado (S2) refere-se ao cultivo irrigado com efluente doméstico tratado e acionado com energia solar fotovoltaica.

A área experimental total foi 1.008 m<sup>2</sup> em que cada sistema de produção tinha 15 linhas de irrigação e cada linha tinha 84 emissores. O croqui da área experimental representando os dois sistemas de produção irrigados decorrentes de diferentes fontes de água e energia é apresentado na Figura 4.

**Figura 4** - Croqui da área experimental e a disposição das linhas laterais referente aos dois sistemas de irrigação.



Fonte: o Autor.

A cultura implantada foi o feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L) Walp.], cultivar Setentão 596. Apresenta porte semienramador, ciclo de 65-70 dias e produtividade de 800 kg ha<sup>-1</sup> sob condições de sequeiro e 1200 kg ha<sup>-1</sup> irrigado (PAIVA *et al.*, 1988). O plantio foi realizado manualmente no dia 06/11/2017 no espaçamento (1,0 m x 0,4 m) semeando-se três sementes por cova.

A água usada no sistema convencional foi proveniente do sistema de abastecimento público do município de Tianguá - CE gerenciado pela CAGECE, no qual provêm do açude Jaburu. E a água residuária (efluente doméstico tratado) utilizado no sistema alternativo foi procedente da Estação de Tratamento de Esgoto de Tianguá (ETE Tianguá), sendo a tecnologia de tratamento por meio de lagoas de estabilização, no qual é composta por uma lagoa anaeróbia, uma facultativa e três de maturação (Figura 5).

**Figura 5** - Estação de Tratamento de Esgoto de Tianguá (ETE Tianguá) e a área experimental



Fonte: Google Earth.

Foram realizadas análises físico-química e microbiológica da água residuária e da água potável antes da sua aplicação nos tratamentos com a finalidade de caracterizar os parâmetros de qualidade para irrigação. Assim sendo, foram coletadas amostras de 1 L em frasco esterilizado no tanque contendo água de reúso e na fonte de abastecimento de acordo com a metodologia da CETESB (2011).

A determinação dos atributos foram realizados no Laboratório de Saneamento Ambiental (LABOSAN), pertencente à Universidade Federal do Ceará. A metodologia

analítica adotada em todas as análises (químicas, físicas e microbiológicas) foi a *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). Na Tabela 1 verifica-se a análise físico-química e microbiológica da água residuária durante o período do estudo.

**Tabela 1** - Análise físico-química e microbiológica da água residuária utilizado durante o experimento em Tianguá, CE

PARÂMETROS	Unidade	Novembro 2017	Dezembro 2017	Janeiro 2018	Referência para reúso
pH	-	6,8	7,0	7,1	6 - 8,5
CE	dS m <sup>-1</sup>	1,48	1,49	1,32	3,0
DQO	mg L <sup>-1</sup>	82,55	98,07	64,74	92,6
SST	mg L <sup>-1</sup>	60	60	102,0	36,2
Amônia total	mg N <sup>-1</sup> L <sup>-1</sup>	-	-	8,4	NE
Nitrogênio total	mg L <sup>-1</sup>	-	-	13,44	30,2
Fósforo total	mg L <sup>-1</sup>	-	-	13,19	14,6
Potássio	mg L <sup>-1</sup>	-	-	35,0	36,8
Cálcio	mg L <sup>-1</sup>	29,99	24,48	24,48	74,0
Magnésio	mg L <sup>-1</sup>	-	-	0,4	32,2
Sódio	mg L <sup>-1</sup>	219,0	195,0	174,0	142,5
Cloretos	mg L <sup>-1</sup>	241,78	225,62	223,46	NE
Coliformes totais	org 100 ml	2,4*10 <sup>4</sup>	2,3*10 <sup>4</sup>	2,4*10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>

Fonte: CAGECE E LABOSAN, (2018); NE – não especificado

A análise físico-química e microbiológica da água de abastecimento (potável) utilizada no sistema de irrigação convencional é apresentada na Tabela 2.

**Tabela 2** - Atributos físico-químicos e microbiológicos da água de abastecimento utilizados no estudo em Tianguá, CE

Físicos											
CE	SDT	Dureza	Turbidez	Cor							
dS m <sup>-1</sup>	-----mg L <sup>-1</sup> -----		-	Mg pt L <sup>-1</sup>							
0,28	155,75	49,99	0,27	2,5							
Químicos											
pH	Amônia	Nitrato	P	K	Ca	Mg	Fe	Na	Sulfato	Cloretos	Alcal.
-					-----mg L <sup>-1</sup> -----						
6,5	0,04	0,02	0,05	6,0	13,33	3,91	0,07	35,33	9,51	77,76	20,07
Microbiológica											
Coliformes totais						Escherichia coli					
0,0 org ml <sup>-1</sup>						0,0 org ml <sup>-1</sup>					

Fonte: CAGECE, (2017).

### 4.3 Sistema e manejo da irrigação

O método de irrigação adotado foi o localizado, utilizando o sistema por gotejamento, tipo fita gotejadora da marca Amanco, modelo drip, diâmetro interno 16 mm, espaçamento entre emissores de 20 cm, vazão nominal  $1,6 \text{ L h}^{-1}$  e pressão de serviço 8 mca.

Para acionamento do sistema de irrigação foi usado duas fontes de energia: energia solar fotovoltaico e energia da rede elétrica. No sistema de bombeamento fotovoltaico de irrigação (SFVI) foi utilizado o conjunto motobomba solar fotovoltaico da marca Anauger modelo P100, o qual é composto por uma motobomba, um driver e 2 painéis fotovoltaicos de 95 Wp totalizando 190 Wp..

As motobombas Anauger P100 podem operar em sistemas de geração fotovoltaicos com potência de 100, 130 e 170 Wp. Na Tabela 3 é mostrado o desempenho hidráulico do conjunto motobomba em função da altura manométrica e da potência fornecida.

**Tabela 3** - Desempenho hidráulico do conjunto motobomba Anauger modelo P100

Potência do sistema	Altura manométrica total (mca)								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
100 Wp	4600	3700	3000	2400	1950	1550	1200	900	650
130 Wp	6300	5050	4100	3300	2600	2050	1600	1200	900
170 Wp	8600	7000	5600	4500	3650	2900	2250	1700	1200

Fonte: retiradas do catálogo do fabricante.

No sistema convencional de produção irrigado com água potável e acionado pela energia da rede elétrica foi usado um conjunto motobomba da marca Dancor, modelo da serie CAM W-6C com potência de 0,75 cv.

O manejo da irrigação foi realizado por meio da determinação da evapotranspiração de referência -  $E_{To}$  pelo método de Penman-Monteith (equação 01) Allen et al. (1998). Posteriormente, multiplicou-se pelo coeficiente de cultivo da cultura ( $K_c$ ), obtendo dessa forma a evapotranspiração da cultura -  $E_{Tc}$  (equação 02), determinando dessa maneira a lâmina de irrigação a ser aplicada. Entretanto, deve-se levar em consideração a eficiência do sistema de irrigação para a definição da lâmina de água total a ser aplicada. Os dados para o cálculo da  $E_{To}$  pelo método de Penman-Monteith foram obtidos junto a estação meteorológica de Tianguá, CE.

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 237} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (01)$$

em que:

ET<sub>o</sub> - evapotranspiração de referência, (mm dia<sup>-1</sup>);

R<sub>n</sub> - radiação líquida na superfície das culturas, (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

G - fluxo de calor no solo, (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

T - temperatura média diária do ar a 2 m de altura, (°C);

U<sub>2</sub> - velocidade do vento a 2 m de altura, (m s<sup>-1</sup>);

e<sub>s</sub> - pressão de saturação de vapor, (kPa);

e<sub>a</sub> - pressão de vapor atual, (kPa);

e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub> - déficit de saturação do vapor, (kPa);

Δ - inclinação da curva da pressão de vapor *versus* temperatura, (kPa °C<sup>-1</sup>).

γ - constante psicrométrica, (kPa °C<sup>-1</sup>).

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (02)$$

Onde:

ET<sub>c</sub> - evapotranspiração da cultura (mm dia<sup>-1</sup>);

K<sub>c</sub> - Coeficiente de cultivo

Foram adotados os coeficientes de cultivo (K<sub>c</sub>) para a cultura do feijão-caupi apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4** - Coeficientes de cultivo para a cultura do feijão-caupi

Coeficientes de cultivo (K <sub>c</sub> )	Dias após o plantio (DAP)
0,70	12 dias
0,81	De 13 a 33 dias
1,20	De 34 a 54 dias
0,77	De 55 dias ao final do ciclo

Fonte: Sousa, Bezerra, Teófilo (2005).

O tempo de irrigação foi determinado a partir da equação 03, sendo que o turno de rega foi diário com uma lâmina equivalente a 100% da evapotranspiração potencial da cultura ou complementar a precipitação pluviométrica.

$$T_I = \frac{ET_{pc} \times A}{CUD \times q_g \times Nq} \quad (03)$$

em que,

$T_I$  - tempo de irrigação (h);

$ET_{pc}$  - evapotranspiração potencial da cultura (mm);

$A$  - área de cultivo ( $m^2$ );

$CUD$  - coeficiente de uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação;

$q_g$  - vazão do gotejador,  $L h^{-1}$ ;

$Nq$  - número de gotejadores por planta.

#### 4.4 Avaliação do sistema de irrigação

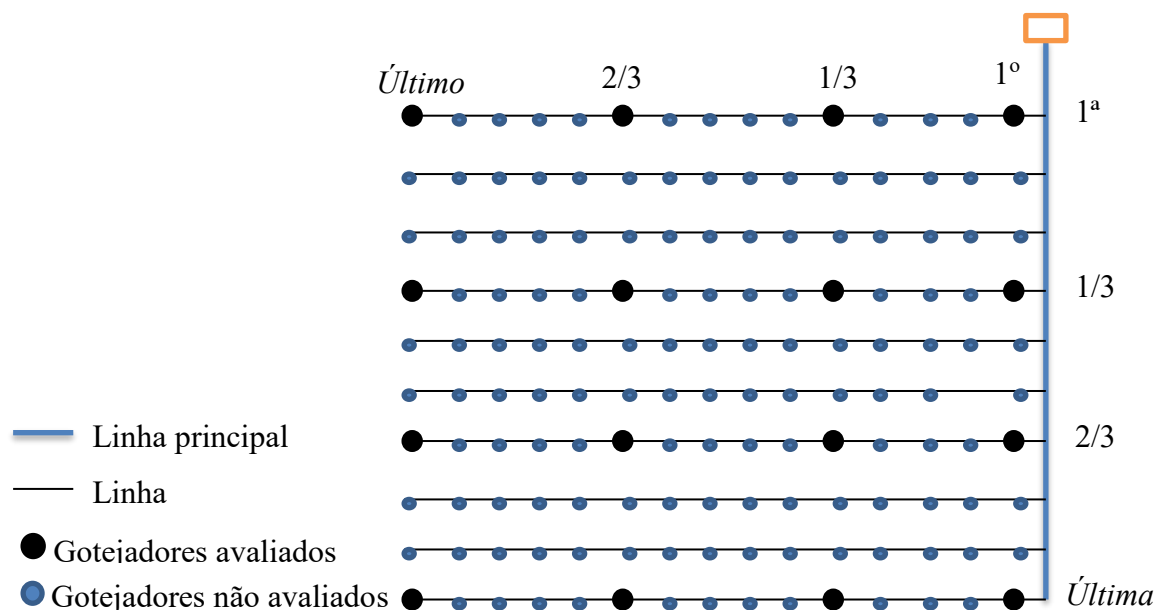
A avaliação do sistema foi feita pela mensuração da distribuição de água no campo pelos gotejadores e posteriormente, pelo cálculo dos coeficientes de uniformidade de aplicação do sistema de irrigação. Foram realizadas seis avaliações em cada sistema de irrigação compreendendo um de tempo de operação total de 111 h do sistema de irrigação com efluente doméstico tratado (S2) e 60 h no sistema operando com água potável (S1). Assim sendo, o intervalo entre as avaliações foram 18,5 h no S2 e 10 h no S1. As pressões de serviços foram na faixa de 5 a 6 mca no sistema S2 e 9 a 10 mca no sistema de irrigação S1.

As três primeiras avaliações ocorreram no mês de novembro nos dias 13, 20 e 27 de 2017, respectivamente. Já quarta e quinta avaliações foram em dezembro de 2017 nos dias 04 e 12, respectivamente. E a última avaliação ocorreu no dia 03/01/2018. Todas essas datas correspondem aos sistemas S1 e S2, uma vez que ambos os sistemas de irrigação foram avaliados no mesmo dia.

Foi utilizada a metodologia proposta por Keller e Karmeli (1975) onde consiste na coleta de dados em quatro linhas laterais (primeira linha, linha situada a 1/3 da origem, linha situada a 2/3 da origem e última linha) e quatro emissores por linha (primeiro emissor; emissores a 1/3, 2/3 e último emissor), conforme o esquema na Figura 6.



**Figura 6** - Esquema de seleção dos gotejadores para coletas de dados de vazão segundo a metodologia de Keller e Karmeli.



Fonte: Keller e Karmeli, (1975).

Na medição de vazão, foram selecionados os emissores representativos de acordo com a metodologia adotada neste trabalho e coletado um volume de água, utilizando um recipiente de coleta e uma proveta de 500 mL, aplicado em um período de tempo de 3 minutos determinado com cronômetro. Após os 3 minutos todos os recipientes eram retirados ao mesmo tempo, e posteriormente era efetuada a medição da quantidade de água acumulada, esse procedimento foi repetido três vezes. Por fim, os volumes coletados foram convertidos para  $L h^{-1}$ .

Com os dados coletados em campo, determinou-se o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen – CUC por meio da equação 04.

$$CUC = 100 \times \left( 1 - \frac{\sum_i^n |Q_i - Q|}{n \times Q} \right) \quad (04)$$

em que:

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %;

$Q_i$  = vazão de cada gotejador, em  $L h^{-1}$ ;

$Q$  = média das vazões coletadas de todos os gotejadores ( $L h^{-1}$ );

$n$  = número de observações.

A Tabela 5 apresenta a classificação do desempenho de sistemas de irrigação em função do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), segundo Mantovani (2001).

**Tabela 5** - Classificação dos valores do desempenho dos sistemas de irrigação em função do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC).

CLASSIFICAÇÃO	CUC (%)
Excelente	$\geq 90$
Bom	80 - 90
Razoável	70 - 80
Ruim	60 - 70
Inaceitável	$< 60$

Fonte: Mantovani, (2001).

O Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (equação 05) proposto por Criddle *et al.* (1956), compara a média de 25% das observações com menores valores, ou seja, a média do menor quartil, com a média total.

$$CUD = \frac{q_{25\%}}{q_m} \times 100 \quad (05)$$

em que:

CUD = Coeficiente de uniformidade de distribuição, em %;

$q_{25\%}$  = média das menores vazões observadas, em  $L h^{-1}$ ;

$q_m$  = vazão média dos gotejadores, em  $L h^{-1}$ .

A Tabela 6 apresenta a classificação do desempenho de sistemas de irrigação em função do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), segundo Mantovani (2001).

**Tabela 6** - Classificação dos valores do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)

CLASSIFICAÇÃO	CUD (%)
Excelente	$\geq 84$
Bom	68 - 84
Razoável	52 - 68
Ruim	36 - 52
Inaceitável	$< 36$

O Coeficiente de Uniformidade Estatística (CUE) proposto por Wilcox e Swailes (1947), que utiliza o desvio-padrão como medida de dispersão representa a variação ocorrida nas vazões dos emissores avaliados e pode ser estimado utilizando-se a seguinte equação 06.

$$CUE = 100 \times \left(1 - \frac{Sd}{Q_{med}}\right) \quad (06)$$

em que:

CUE - coeficiente de uniformidade estatístico, em %;

Sd - desvio-padrão dos valores de precipitação, em (Lh<sup>-1</sup>);

Qmed = média das vazões coletadas nos gotejadores na subárea, (Lh<sup>-1</sup>).

A Tabela 7 apresenta a classificação do desempenho de sistemas de irrigação em função do Coeficiente de Uniformidade Estatística (CUE), segundo Mantovani (2001).

**Tabela 7** - Classificação dos valores do Coeficiente de Uniformidade Estatística (CUE)

CLASSIFICAÇÃO	CUE (%)
Excelente	≥ 90
Bom	80 - 90
Razoável	70 - 80
Ruim	60 - 70
Inaceitável	< 60

Fonte: Mantovani, (2001).

A eficiência de aplicação de água foi calculada pela equação 07.

$$E_a = 0,9 \times CUD \quad (07)$$

em que:

Ea= eficiência de aplicação, em %;

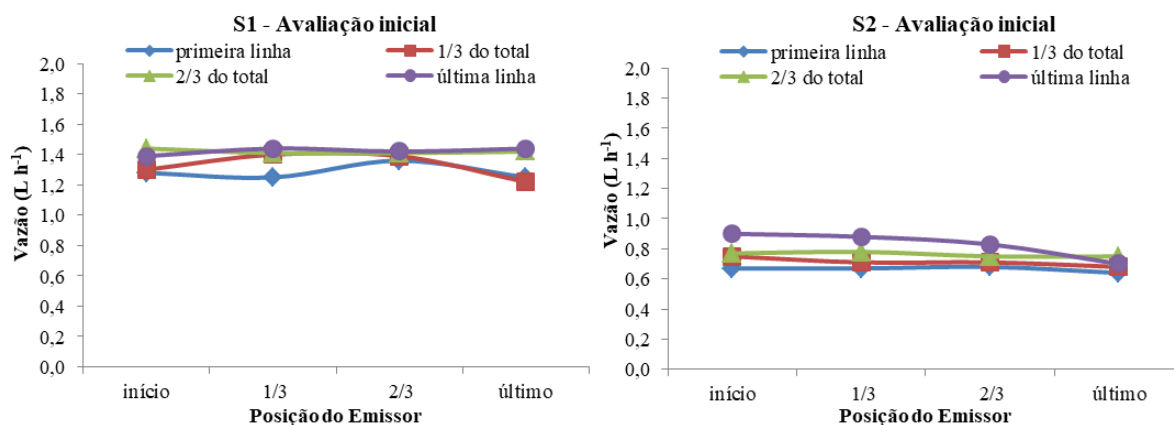
CUD = Coeficiente de uniformidade, em %;

Foi utilizado o programa *Microsoft Excel*<sup>®</sup> para elaboração de gráficos e dos diferentes parâmetros avaliados.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise da vazão dos gotejadores ao longo das linhas laterais na avaliação inicial do sistema de irrigação convencional (S1) e alternativo (S2), Figura 7. Percebeu-se uma maior uniformidade das vazões ao longo da linha lateral no sistema de irrigação com efluente doméstico tratado, enquanto o sistema de irrigação com água potável apresentou uma maior variação das vazões. Tal fato está associado a maior pressão de serviço, ocorrendo com isso uma variação das vazões ao longo da linha lateral.

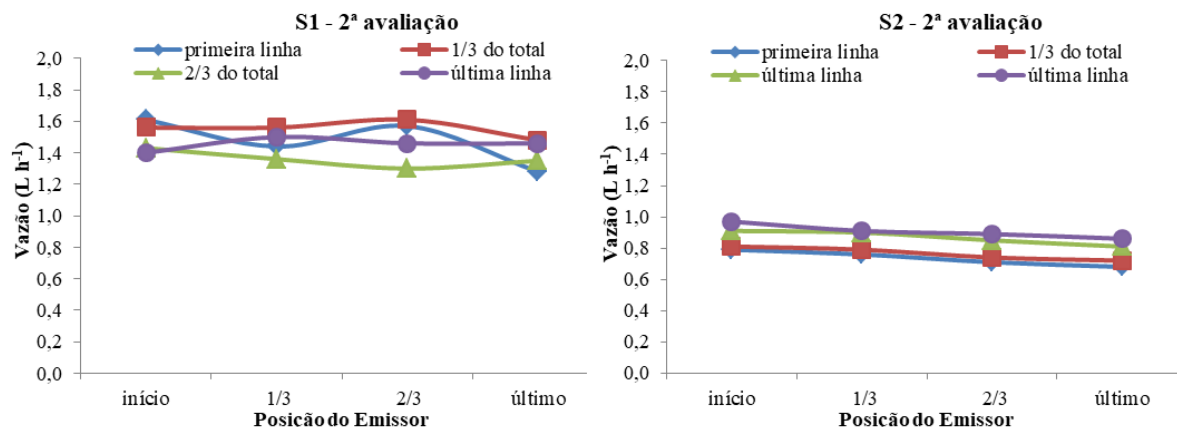
**Figura 7** - Variação da vazão dos gotejadores ao longo das linhas laterais na avaliação inicial do sistema de irrigação por gotejamento com água potável (S1) e com efluente doméstico tratado (S2).



Fonte: o Autor.

Quando se verificou os resultados da segunda avaliação nos dois sistemas de irrigação, pode-se analisar uma variação considerável da vazão no sistema com água potável (Figura 8). Esta diferença pode ser atribuída a diversos fatores, dentre eles se destacam a pressão de serviço. Segundo Lopes *et al.* (1992) ressalta que outro ponto observado refere-se a valores de pressões, visto que a pressão no final da linha admitido na irrigação localizada corresponde ao 10%. O sistema S1 operou com uma pressão de serviço de 10 mca, estando acima da pressão ideal de 8 mca. Vermeiren e Jobling (1984) destacam que os emissores se caracterizam do ponto de vista hidráulico pela pressão de serviço e pela variação desta com a vazão.

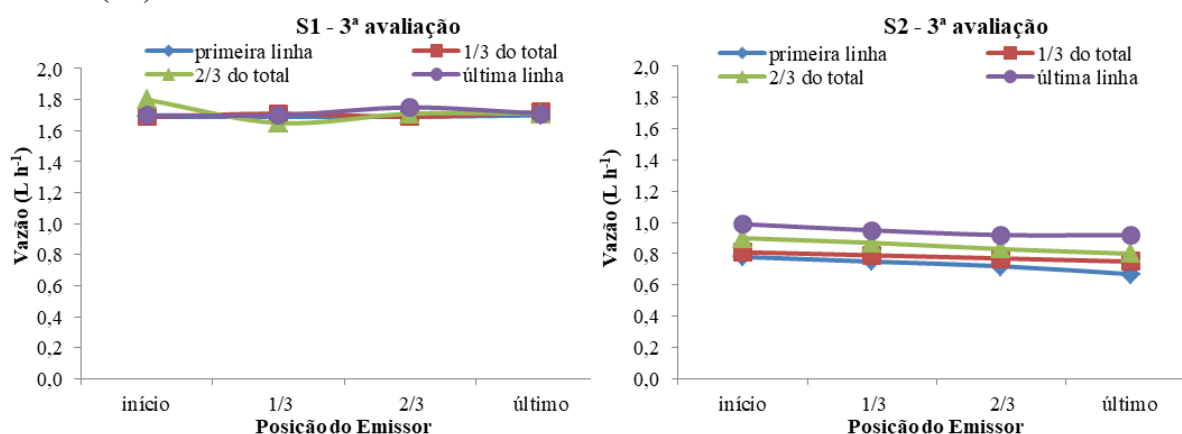
**Figura 8** - Variação da vazão dos gotejadores ao longo das linhas laterais na segunda avaliação do sistema de irrigação por gotejamento com água potável (S1) e com efluente doméstico tratado (S2).



Fonte: o Autor

Na Figura 9 observa-se que não houve diferença expressiva entre as vazões no sistema de irrigação por gotejamento operando com água potável (S1), porém no sistema de irrigação por gotejamento com efluente doméstico tratado nota-se um coeficiente de variação mais elevado indicando maior variabilidade das vazões dos gotejadores nas diferentes posições, o que contribui para os menores valores encontrados nos diferentes coeficientes CUC, CUD e CUE.

**Figura 9** - Variação da vazão dos gotejadores ao longo das linhas laterais na terceira avaliação do sistema de irrigação por gotejamento com água potável (S1) e com efluente doméstico tratado (S2).



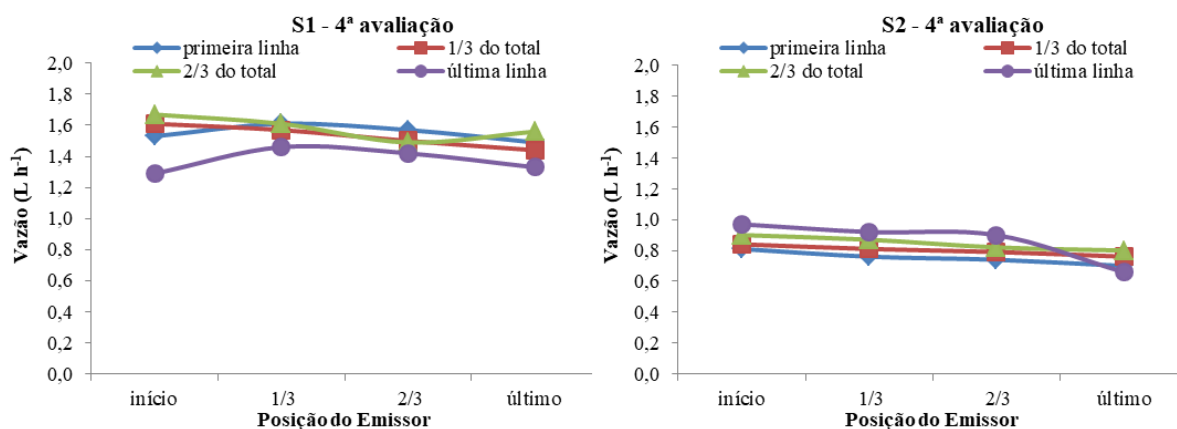
Fonte: o Autor.

Assim sendo, comparando as variações das vazões nos dois sistemas, nota-se que no sistema (S1) a variação é mínima entre os gotejadores, não ocorrendo discrepância nos

seus valores ao longo da linha lateral. Já no caso do sistema (S2), percebe-se uma maior variabilidade ao longo das linhas de irrigação e posições dos gotejadores. Portanto podendo indicar o início de um entupimento nos gotejadores, devido à qualidade da água residuária ou a menor pressão de serviço de 5 a 6 mca.

Com o aumento do tempo de operação do sistema de irrigação, observou-se nas avaliações 4ª (Figura 10) e 5ª (Figura 11) maiores variabilidades da lâmina de água aplicada pelos gotejadores tanto na linha quanto na posição afetando a uniformidade de aplicação da água, estando mais acentuado no final das linhas laterais. Da mesma forma que a vazão, de modo geral, a uniformidade de aplicação foi cada vez menor conforme o aumento do tempo de operação do sistema de irrigação.

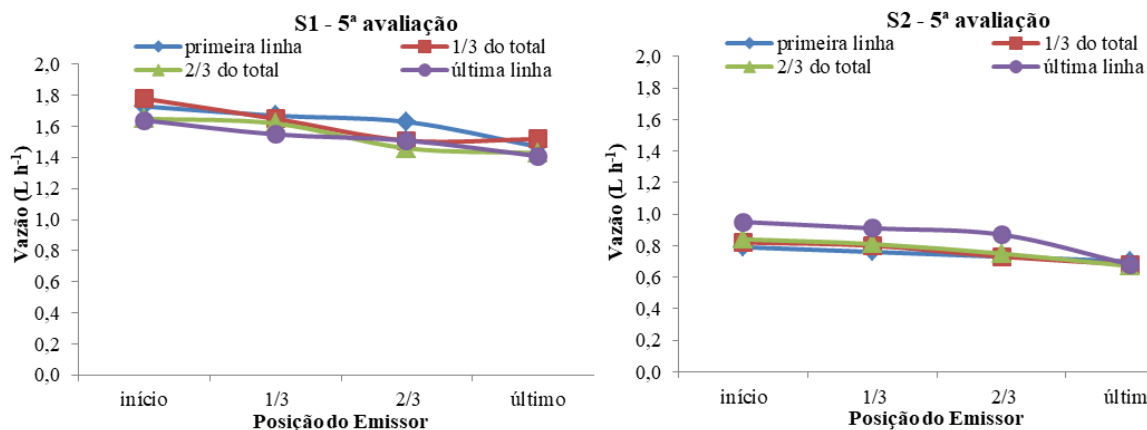
**Figura 10** - Variação da vazão dos gotejadores ao longo das linhas laterais na quarta avaliação do sistema de irrigação por gotejamento com água potável (S1) e com efluente doméstico tratado (S2).



Fonte: o Autor.

Entretanto, essa variação observada é atribuída, além da qualidade água, a um outro fator responsável por tal comportamento, à pressão de serviço do sistema de irrigação. Souza *et al.* (2012) ressaltam que as pequenas variações que ocorrem na vazão ao longo da linha lateral nos emissores não podem ser atribuídas apenas ao entupimento em função da qualidade da água, mais também oscilações das pressões de serviço do sistema de irrigação.

**Figura 11** - Variação da vazão dos gotejadores ao longo das linhas laterais na quinta avaliação do sistema de irrigação por gotejamento com água potável (S1) e com efluente doméstico tratado (S2).

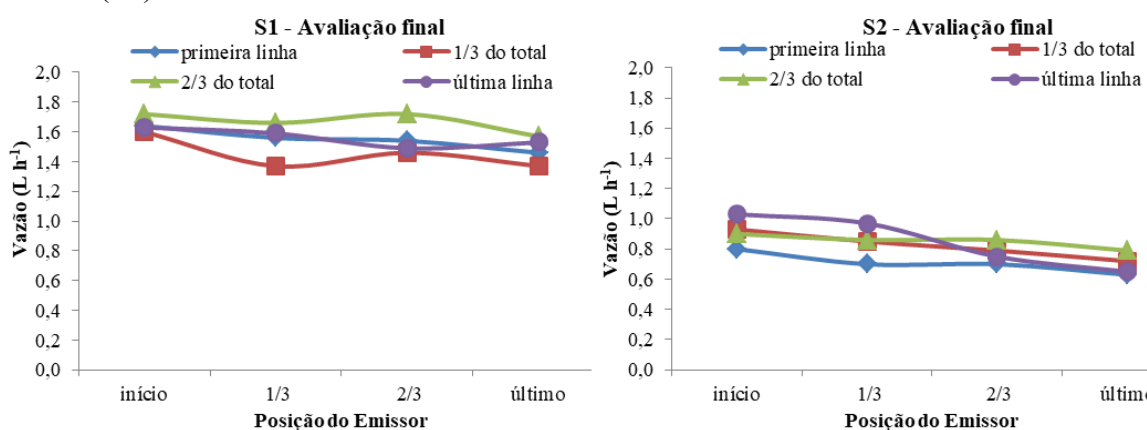


Fonte: o Autor.

Cunha *et al.* (2017) no estudo de gotejadores operando com efluente de laticínios diluído constataram que o entupimento dos gotejadores com biofilme acarretou redução da vazão e aumento do coeficiente de variação da vazão ao longo do tempo.

Na última avaliação (Figura 12), os valores de vazão dos gotejadores estão bem espaçados, mostrando uma diferença maior nos valores de vazão no sistema que utilizaram água potável (S1), de forma mais evidente.

**Figura 12** - Variação da vazão dos gotejadores ao longo das linhas laterais na avaliação final do sistema de irrigação por gotejamento com água potável (S1) e com efluente doméstico tratado (S2).



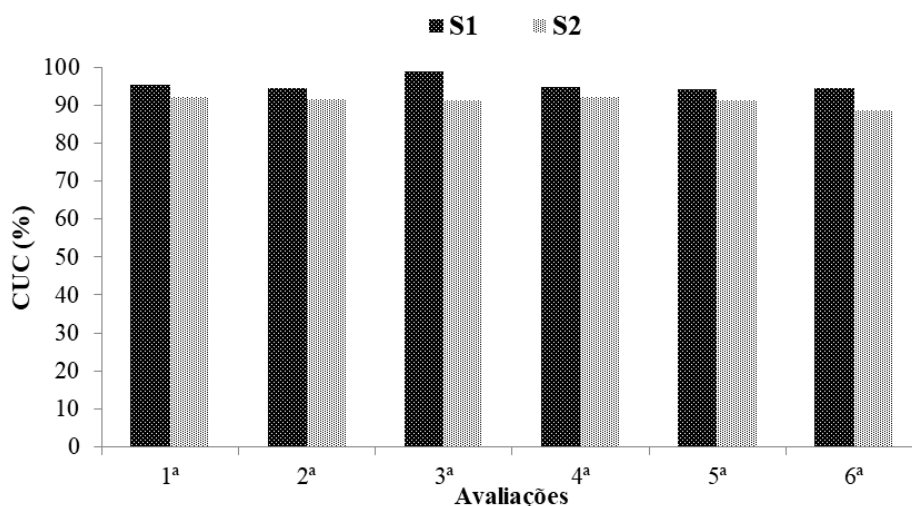
Fonte: o Autor.

Fernandes *et al.* (2014) verificaram redução de até 42% na vazão dos gotejadores com um tempo de operação de 160 h. E Silva *et al.* (2013) evidenciaram aumento do

coeficiente de variação de vazão atingindo valores de até 44%.

Na análise da qualidade da irrigação por meio do coeficiente de uniformidade que utiliza os desvios absolutos em relação à média, o CUC observou-se uma pequena oscilação no período avaliado compreendendo as seis avaliações do sistema de irrigação com intervalos na faixa de 10 a 20 horas de operação. Segundo a classificação de Mantovani, (2001) com relação aos valores de desempenho dos sistemas de irrigação em função do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, estes encontram-se acima de 90% considerados “excelentes” no sistema de irrigação por gotejamento com água potável (S1) em que na primeira avaliação foi 95,2% e na avaliação ao final do experimento 94,5% sendo menor que 1% a variação do CUC praticamente na totalidade das observações (Figura 13).

**Figura 13** - Coeficiente de Uniformidade Christiansen do sistema de irrigação por gotejamento com água potável (S1) e com efluente doméstico tratado (S2).



Fonte: o Autor.

Com relação ao sistema por gotejamento (S2) compreendendo a irrigação com efluente doméstico tratado e acionado com energia solar fotovoltaica, mostrou-se “excelente” segundo a classificação de Mantovani (2001) com valores acima de 90% até a quinta avaliação, porém na última avaliação (6ª) foi 88,8% sendo classificado como “bom”. Tal comportamento é atribuído à qualidade da água.

Esse comportamento torna-se mais evidente quando se compara os sistemas (S1) e (S2), no qual em todas as avaliações o S2 foi inferior ao S1 devido à formação de biofilme no gotejador em função dos nutrientes presentes na água residuária. Além disso, também pode estar associada à pressão de serviço, visto que o sistema por gotejamento com água residuária operou com uma pressão de 5 a 6 mca, estando abaixo da recomendada para o gotejador (8



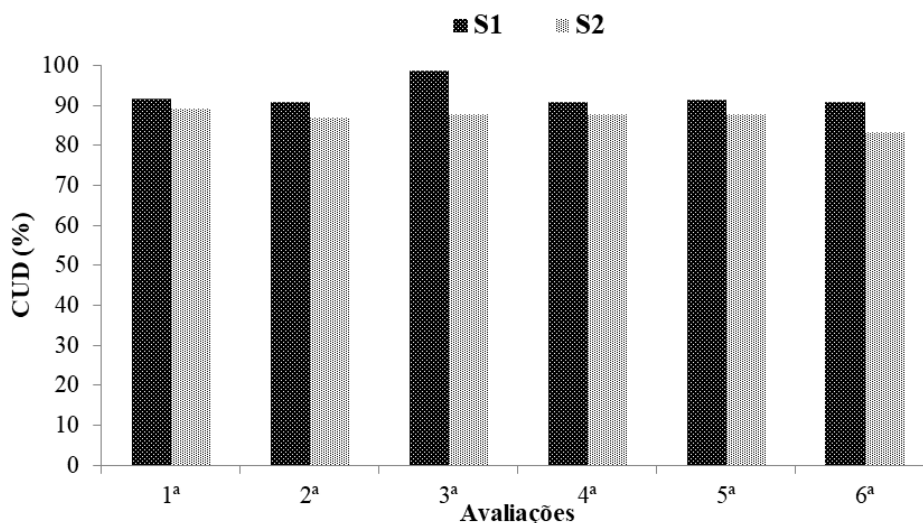
mca) devido à variação da radiação solar, por consequência variação de entrada de energia na motobomba acionado pelas placas solares.

De acordo com Carvalho *et al.* (2015) as obstruções causadas por fatores físico-químicos geralmente resultam de partículas inorgânicas em suspensão e orgânicas e, da precipitação de sais de cálcio, magnésio formando incrustações que podem bloquear, parcial ou completamente a passagem da água. Já as biológicas, se originam de pequenos organismos aquáticos, como algas e bactérias que passam através dos filtros e se desenvolvem formando colônias no interior dos emissores.

Segundo Batista *et al.* (2010) no estudo da influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação observaram a formação de um biofilme, resultante da interação entre colônias de bactérias e algas, o qual propiciou entupimentos parcial e total dos gotejadores, consequentemente decréscimo do CUC, CUD e da vazão nos emissores avaliados operando com efluente doméstico tratado.

Comportamento semelhante foi observado no coeficiente que compara a média de 25% das observações com menores valores, ou seja, a média do menor quartil, com a média total, bem como o coeficiente de uniformidade de distribuição. Nota-se no sistema de irrigação de irrigação com água potável (S1) a uniformidade de aplicação está acima de 90%, sendo classificada como “excelente” de acordo com a classificação de Mantovani, (2001). Entretanto, no sistema de irrigação com efluente doméstico tratado (S2) foi classificado como “bom” devido à diminuição dos valores de CUD estando estes abaixo de 90%, com destaca para última avaliação 83% (Figura 14).

**Figura 14** – Coeficiente de Uniformidade de Distribuição do sistema de irrigação por gotejamento com água potável (S1) e com efluente doméstico tratado (S2).

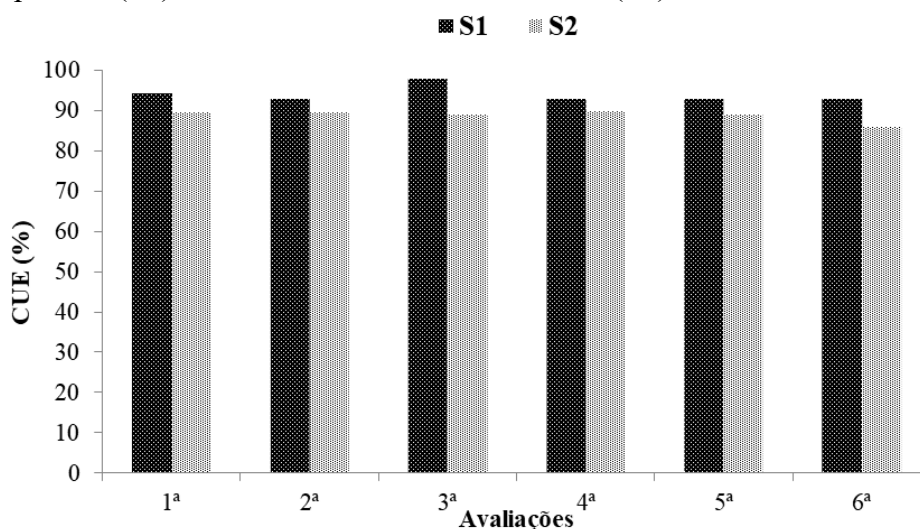


Fonte: o Autor.

Bernardo *et al.* (2006), afirmam que os valores devem ser superiores a 90% e recomenda um valor mínimo admitido de 80% dentro da parcela de irrigação.

Com relação ao indicador de desempenho que utiliza o desvio padrão como medida de dispersão, ou seja, o coeficiente de uniformidade estatística verificou-se que segundo a classificação de Mantovani (2001), o sistema por gotejamento com água potável (S1) nas seis avaliações foi “excelente”, enquanto o sistema por gotejamento com esgoto doméstico tratado (S2) foi classificado como “bom” e na última avaliação o menor desempenho com valor de 86% (Figura 15).

**Figura 15** – Coeficiente de Uniformidade Estatístico no sistema de irrigação por gotejamento com água potável (S1) e com efluente doméstico tratado (S2).



Fonte: o Autor.

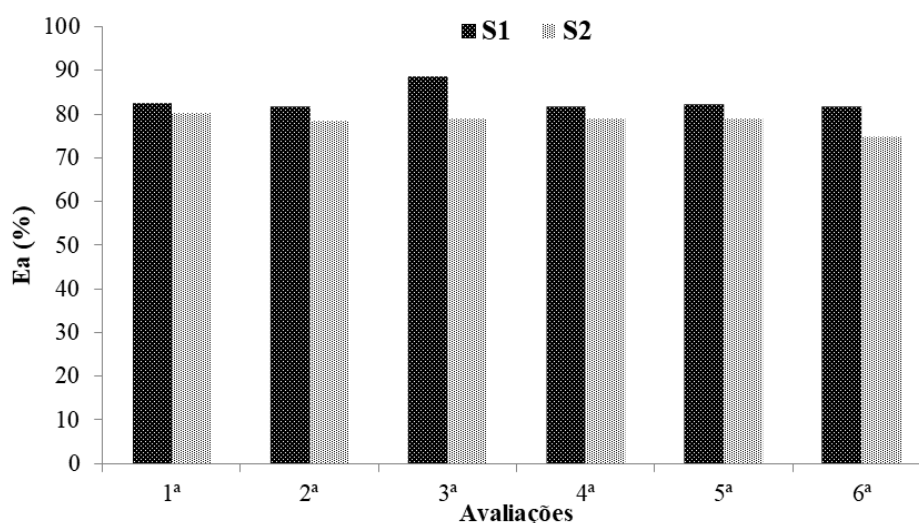
Para Song *et al.* (2017) com relação ao uso de água residuária, a principal causa de entupimento dos gotejadores, consiste na bioincrustação formada nos dispositivos internos dos emissores, afetando, assim os indicadores de desempenho hidráulico e eficiência de aplicação do sistema de irrigação.

Na Figura 16 observa-se a variação da eficiência de aplicação ao longo do período de estudo para os sistemas de irrigação operando com água potável (S1) e efluente doméstico tratado (S2). Dessa forma, observou-se no geral que a eficiência em ambos os sistemas de irrigação decresceu ao longo do tempo, devido ao entupimento dos gotejadores e variações de pressão, particularmente no sistema (S2).

Verificou-se reduções de 0,8% no S1 e 6,8% no S2, quando se estabeleceu comparação entre a avaliação inicial (1ª) e a avaliação final (6ª). Para o sistema de irrigação

com água potável (S1) a eficiência foi acima de 80%, enquanto no sistema de irrigação com efluente doméstico tratado (S2) ficou abaixo de 80%, com destaque para a última avaliação 75%. Desse modo, o valor da eficiência de aplicação no sistema de irrigação (S2) ficou abaixo daquele esperado para o sistema de irrigação localizada que segundo Vermeiren e Jobling (1997) recomendam um valor acima de 80% para a eficiência de aplicação.

**Figura 16** - Valores de eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação por gotejamento com água potável (S1) e com efluente doméstico tratado (S2).



Fonte: o Autor

Essa menor eficiência no sistema (S2) está associada à variabilidade da incidência de irradiação solar nas placas solares, o que causa variações de potência de entrada na motobomba, afetando a pressão de serviço do sistema de irrigação. Fernandez *et al.*, (2012) destacam que a baixa uniformidade de distribuição também foi causada por variações da pressão do sistema de irrigação. No sistema de irrigação (S1), seus valores apresentaram-se constantes durante todas as avaliações, indicando uma melhor eficiência do sistema de irrigação com água potável.

Dessa forma, o sistema de irrigação por gotejamento com efluente doméstico tratado (S2) foi o que apresentou as maiores diferenças na uniformidade consequentemente na eficiência de aplicação. O efluente doméstico tratado é uma alternativa para melhorar a produção e o uso mais sustentável da produção. Entretanto, cuidados devem ser tomados, devido a sua qualidade e os efeitos que podem causar no sistema, como entupimentos nos gotejadores, portanto podendo afetar ao longo do tempo a eficiência do sistema de irrigado.

Para Mantovani *et al.* (2009), a avaliação da irrigação é uma importante etapa para obter as informações relacionadas à eficiência de uso da água do sistema de irrigação, uniformidade de distribuição de água, funcionamento real do sistema (vazão, pressão, lâmina, entupimento, etc.) e necessidade de manutenção.

## **6. CONCLUSÕES**

A qualidade da água residuária afetou a uniformidade de aplicação e a eficiência de aplicação do sistema.

Os coeficientes de uniformidade CUC, CUD e o CUE, apresentam-se dentro dos níveis aceitáveis e classificados como excelente e bom.

O sistema de irrigação por gotejamento com água potável apresentou melhor eficiência de aplicação em relação ao sistema de irrigação por gotejamento com efluente doméstico tratado.

## REFERÊNCIAS

ASAE – AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Field Evaluation of Microirrigation Systems. St. Joseph, p.792-797. 1996.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage Paper**. Rome: FAO, 1998, n. 56.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil - 2014**: relatório síntese. Brasília: ANA, 2017. 33 p.: II

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22. ed. 2012.

ANDRADE, C. L. T.; BRITO, R. A. L. **Irrigação**. 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. Versão Eletrônica.

BATISTA, R. O.; SOUZA, J. A. R.; FERREIRA, D. C. Influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 57, n.1, p. 018-022, jan/fev, 2010.

BATISTA, R. O.; SOARES, A. A.; MOREIRA, D. A.; FEITOSA, A. P.; BEZERRA, J. M. Influência de diferentes qualidades de esgoto doméstico na vazão de gotejadores. **Revista Caatinga**, v.24, n.3, p. 128-134, 2011.

BATISTA, R. O.; SILVA, K. B.; OLIVEIRA, R. A.; B. FILHO, S.; DIAS, N. S. Desempenho hidráulico de sistema de irrigação por gotejamento aplicando água residuária de suinocultura. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.8, n.3, p. 105-111, 2012.

BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, D. B. dos; OLIVEIRA, A. de F. M.; AZEVEDO, C. A. V. de; MEDEIROS, S. de S. 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, 2013.

BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, R. A.; FIGUEIREDO, V. B.; SILVA, K. B.; FERREIRA, D. A. C. Vazão de gotejadores com distintos tempos de irrigação aplicando água residuária de suinocultura e água de abastecimento. **Engenharia Agrícola**, v.34, n.6, p. 1283-1295, 2014.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de Irrigação. 8ª Ed. Viçosa, Ed. UFV, 2006, 625p.

CARVALHO, L. C.C.; COELHO, R. D.; TEIXEIRA, M.B.; SOARES, F. A. L.; CUNHA, F. N.; SILVA, N. F. Tubos gotejadores convencionais submetidos a aplicação de óxido de ferro via água com carga orgânica e sólidos suspensos. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.9, n.2, p.32-41, 2015.

CAVALCANTE, K. L.; DEON, M. D.; SILVA, H. K. P. Estudo das características restritivas dos efluentes das estações de tratamento de esgoto de Petrolina - PE para uso na agricultura

irrigada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.11, n. 2, p. 1331 - 1338, 2017.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkler**. Berkeley: California Agricultural Station, 1942. 124 p. (Bul. 670).

COELHO, E.F.; SILVA, T.S.M.; PARIZOTTO, I.; SILVA, A.J.P.; SANTOS, D.B. Sistema de irrigação para agricultura familiar. Circular Técnica 106, Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, 7p., 2012.

CUNHA, M. E.; MARQUES, B. C. D.; BATISTA, R. O.; COSTA, A. G.; CUNHA, R. R.; ANDRADE, A. T. S. Obstrução de gotejadores operando com efluente de laticínios diluído. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.11, nº.4, p. 1517 - 1527, 2017.

DENÍCULI, W.; BERNARDO, S.; THIÉBAUT, J. T. L.; SEDIYAMA, G. C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v. 27, n. 150, p 155-162, 1980.

DUARTE, A. S.; AIROLDI, R. P. S.; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. A.; SOARES, T. M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 3, p. 302-310, 2008.

FAVETTA, G.M.; BOTREL, T.A. Uniformidade de sistemas de irrigação localizada: validação de equações. **Revista Scientia Agrícola**, Piracicaba, SP, v.58, n.2, p.427-430, 2001.

FERNANDES, A. I.; CARVALHO, M. A. R.; CARVALHO, L. C. C.; NETO, A. M. S. Avaliação de um sistema de irrigação pelas metodologias de Keller e Karmeli, e de Denículi em citros irrigados por gotejamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.6, nº. 2, p. 74-80, 2012.

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**, v.19, n.4, p.585-597, 2014.

FREITAS, C. A. S.; SILVA, A. R. A. da; BEZERRA, F. M. L.; FERREIRA, C. da S.; ANDRADE, R. R. de. Crescimento vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) irrigada com água de esgoto doméstico tratado. **Conexões - Ciência e Tecnologia**, Fortaleza, v. 6, n. 1, p. 27-43, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Information System on Water and Agriculture - AQUASTAT**, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Global Map of Irrigation Areas (GMIA):** interactive map. 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/quickWMS/irrimap.htm>. Acesso em: 25 mar. 2017.

HESPANHOL, I. **Potencial de reúso de água no Brasil**: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P. C. S., SANTOS, H. F. Reúso de água. São Paulo: Manole, cap. 13, p. 37-95. 2003.

HERMES, E. Efeito da carga hidráulica e qualidade de água na uniformidade de sistema de irrigação por gotejamento. Cascavel, 2010. 79p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird Sprinkler, 1974. 133 p.

KUMMER, A. C. B.; SILVA, I. P. F.; LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H. Qualidade da água residuária para irrigação do trigo. **Irriga Botucatu**, Edição Especial, p.297-308. 2012.

LEVIEN, S. L. A.; FIGUEIRÊDO, V. B. Metodologia simplificada para a estimativa em campo da uniformidade de sistemas de irrigação por gotejamento superficial. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.7, n.5, p.290-299, 2013.

LÓPEZ, R. J.; ABREU J. M. H.; REGALADO, A. P.; HERNÁNDEZ, J. F. G. **Riego localizado**. Madrid: Mundi Prensa, 1992. 405p.

LIMA, D. C.; CHAVES, M.; LIMA, A. C.; LIMA, D. L. **Reúso de água para irrigação: uma abordagem reflexiva**. **Anais**. II Colóquio Sociedade, Políticas Públicas, Cultura e Desenvolvimento-CE. Universidade Regional do Cariri-URCA, Crato-Ceará-Brasil. 05 a 09 de Novembro de 2012.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. 2009. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed. atual e ampl. Viçosa, MG: UFV. 355 p.

MAYERS, L.E.; BUCKS, D.A. Uniform irrigation with low-pressure trickle system. **Journal of Irrigation and Drainage, Division, Reston**, v.100, n.3, p.341-347, 1972.

MERRIAN, J.L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271p.

NEVES, A. L. R. **Estratégias visando o uso sustentável de água salina em um ciclo de rotação cultural feijão-de-corda/girassol**. 2012. 159 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARE, F. A. L.; ANDRADE, L. O.; NASCIMENTO, E. C. S. Produção do girassol sob diferentes lâminas com efluentes domésticos e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 14, p. 747-754, 2010.

PAIVA, J. B.; TEOFILO, E. M.; SANTOS, J. H. R.; LIMA, J. A. A.; GONÇALVES, M. F. B.; SILVEIRA, L. F. S. "**Setentão**": nova cultivar de feijão-de-corda para o Estado do Ceará. Fortaleza: UFC, 1988.

PACHICO, I. W. L. Avaliação de sistemas de irrigação localizada de baixo custo recomendado a pequenos agricultores da região semiárida. Mossoró, 2014. 67f.: il. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido.



PLETSCH, T. A.; CRUZ, R. L.; MAZZER, H. R.; OLIVEIRA, E. F. Desempenho de gotejadores com uso de esgoto doméstico tratado. **Irriga**, v.14, n.2, p.243-253, 2009.

RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SCHISCHA, A.; SAGI, G.; YECHIALY, Z.; LEV, Y. Control of clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent. **Agricultural Water Management**, 33:127-137, 1997.

SANTOS, C. H.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN-NETO, L.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J. Caracterização de ácidos húmicos de solos com aplicação de águas residuária por análise elementar e espectroscopia de ressonância magnética nuclear de <sup>13</sup>C. **Anais. VII Encontro Brasileiros de Substâncias Húmicas: Matéria orgânica ambiental e sustentabilidade**. Pelotas, RS. 2009.

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

SILVA, L. P. et al. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 480–486, 2012.

SONG, P.; LI, Y.; ZHOU, B.; ZHOU, C.; ZHANG, Z.; LI, J. Controlling mechanism of chlorination on emitter bio-clogging for drip irrigation using reclaimed water. **Agricultural Water Management**, v.184, n.1, p.36-45, 2017.

SOUZA, M. S. M.; BEZERRA, F. M. L.; TEÓFILO, E. M. Coeficientes de cultura do feijão caupi na região litorânea do Ceará. **Irriga**, Botucatu, v.10, n. 3, p.241- 248, 2005.

VERMEIREN, L.; JOBLING. G.A. **Irrigação Localizada**. Tradução de GHEY, H.R.; DAMASCENO, F.A.V.; SILVA JÚNIOR, L.G.A.; MEDEIROS, J.F. de. Campina Grande. UFPB. 1997. 184 p.