



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA PROGRAMA**  
**DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



**CARTAS DE CONTROLE ESTATÍSTICO DE SHEWHART NA AVALIAÇÃO**  
**DE PARÂMETROS HIDRÁULICOS DE UNIDADES GOTEJADORAS**

**MARIA VIVIANE PALMEIRA DA COSTA**

**CAMPINA GRANDE - PB**  
**AGOSTO - 2023**

**MARIA VIVIANE PALMEIRA DA COSTA**

**CARTAS DE CONTROLE ESTATÍSTICO DE SHEWHART NA AVALIAÇÃO  
DE PARÂMETROS HIDRÁULICOS DE UNIDADES GOTEJADORAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências do Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola para obtenção do título de mestra em Engenharia agrícola.

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO**

**IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

**ORIENTADORES**

Prof. Dr. José Dantas Neto – UFCG/CTRN/UAEA

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Vera Lúcia Antunes de Lima – UFCG/CTRN/UAEA

**CAMPINA GRANDE - PB**

**AGOSTO – 2023**

C837c

Costa, Maria Viviane Palmeira da.

Cartas de controle estatístico de shewhart na avaliação de parâmetros hidráulicos de unidades gotejadoras / Maria Viviane Palmeira da Costa. - Campina Grande, 2023.

67 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2023.

"Orientação: Prof. Dr. José Dantas Neto, Profa. Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima."

Referências.

1. Irrigação. 2. Abastecimento Urbano. 3. Drenagem 4. Água Residuária. 5. Desempenho Hidráulico. 6. Grau de Obstrução. I. Dantas Neto, José. II. Vera Lúcia Antunes de Lima. III. Título.

CDU 626.84(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA AGRICOLA  
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

## FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

**MARIA VIVIANE PALMEIRA DA COSTA**

CARTAS DE CONTROLE ESTATÍSTICO DE SHEWHART NA AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS HIDRÁULICOS DE UNIDADES GOTEJADORAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 23/03/2023

Jose Dantas Neto - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Vera Lucia Antunes de Lima - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Maria Sallydelândia Sobral de Farias - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Hernandes de Oliveira Feitosa - Examinador(a) Externo(a) - IFPI



Documento assinado eletronicamente por **VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/03/2023, às 11:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARIA SALLYDELANDIA DE FARIAS ARAUJO, PROFESSOR 3 GRAU**, em 28/03/2023, às 12:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSÉ DANTAS NETO, Usuário Externo**, em 02/04/2023, às 17:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **HERNANDES DE OLIVEIRA FEITOSA, Usuário Externo**, em 26/06/2023, às 16:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **3250495** e o código CRC **173C68E1**.

---

Referência: Processo nº 23096.018830/2023-71

SEI nº 3250495

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, cuja grandiosa presença na minha vida me permitiu jamais fraquejar nos momentos mais difíceis, por ter permitido, a força, a sabedoria e o discernimento.

Agradeço em seguida, aos meus pais, José Sérgio e Maria Lucimar, que são meu porto seguro e por sempre estarem presentes em minha vida, me educando e me mostrando, com imenso carinho, o bom caminho; agradeço pelo incentivo nos estudos e pelo apoio incondicional nas horas difíceis de desânimo e cansaço, sendo sempre o meu maior consolo.

Agradeço aos meus irmãos, José Ricardo e Eliane, pelo amor e apoio, sempre estando ao meu lado.

Ao meu namorado, João Paulo, por ser essa pessoa especial, por seu amor e companheirismo, por estar sempre me animando nas horas difíceis, por me ouvir quando eu mais precisei e por tudo que ele fez e faz por mim.

A Universidade Federal de Campina Grande por todo acolhimento e pela oportunidade e apoio que tornaram possível a conclusão do mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos. Tenham a certeza de que sempre terão meu carinho, respeito e amizade.

Aos meus orientadores, Professores Dr. José Dantas Neto e Vera Lúcia Antunes de Lima pelo empenho, dedicação, ensinamento, apoio, compreensão, amizade e, sobretudo, pela confiança no meu trabalho em prol da realização desta dissertação.

À professora Dra. Maria Sallydelândia Sobral de Farias pelo incentivo, inspiração, apoio e amizade, por ser a pessoa humilde e dedicada aos alunos.

À Dra. Mayra Gislayne Melo de Lima, por estar sempre disponível a me orientar, esclarecendo e trazendo novas informações para a elaboração da pesquisa.

Ao professor Dr. Luciano Falle Saboya, pelo apoio e contribuições para o bom andamento das atividades experimentais.

Quero agradecer também ao professor Dr. Hernandes de Oliveira Feitosa, pelo incentivo, por todo ensinamento, apoio, por ser um educador que proporcionou muito conhecimento e informações necessárias para o meu desempenho estudantil.

Aos meus amigos: Thaimara Ramos, Micael Angelino, Yohanna, Rafael, Hellen, Thiago, pelo o apoio e a colaboração para a execução das atividades, a Joelma, Camila

Tainá, pelas alegrias e tristezas compartilhadas por meio de mensagens de apoio e carinho. A todos que puderam contribuir direta ou indiretamente, para a realização desta pesquisa.

Rendei graças ao Senhor porque Ele é bom, porque a sua misericórdia dura para sempre. Salmos 136:1.



## **CARTAS DE CONTROLE ESTATÍSTICO DE SHEWHART NA AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS HIDRÁULICOS DE UNIDADES GOTEJADORAS**

### **RESUMO**

Em região semiárida o manejo racional da água é essencial para o desenvolvimento da agricultura irrigada. Sendo assim, a presente pesquisa tem por objetivo analisar parâmetros de desempenho hidráulico de unidades gotejadoras irrigadas com água de abastecimento urbano e com água residuária de esgoto doméstico parcialmente tratado, a partir de cartas de controle estatístico de Shewhart. Para tanto, a pesquisa foi desenvolvida na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em uma área experimental pertencente ao Laboratório de Engenharia de Irrigação e Drenagem (LEID), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA). Para a realização da pesquisa foram utilizadas unidades gotejadoras avaliadas a cada 24 horas, ao longo de 576 horas de funcionamento, totalizando 25 ensaios, com pressão de serviço de 100 kPa. A cada ensaio foram determinados os parâmetros hidráulicos: Vazão média -  $Q_m$ , Coeficiente de Uniformidade de Distribuição – CUD e Grau de Entupimento – GE, para dois modelos de fitas gotejadoras irrigadas com água de abastecimento urbano e a água residuária oriunda de esgoto doméstico parcialmente tratado. Dessa maneira, verificou-se que, os parâmetros de desempenho hidráulico ( $Q_m$ , CUD e GE) das unidades gotejadoras após 576h de irrigação apenas com água proveniente do abastecimento urbano conservaram seus valores entre inaceitáveis e bons para o CUD e o GE baixo médio. Já com água residuária de esgoto doméstico parcialmente tratado, os parâmetros variaram entre inaceitáveis e ruins para o CUD e para o GE alto médio. No que se refere às cartas de controle estatístico de qualidade de Shewhart, houve variações nos processos de irrigação a partir da detecção de mudanças e indícios de falta de controle dos processos. Quanto aos modelos de fitas gotejadoras analisados, o FS apresentou melhor desempenho hidráulico e o FT mais suscetível ao entupimento, com água residuária de esgoto doméstico tratado. Para as características físico-químicos e microbiológicos da água residuária de esgoto doméstico parcialmente tratado, quanto ao risco de entupimento de emissores, os valores foram classificados de “Moderados” a “Severos”.

**Palavras - chave:** Irrigação, água residuária, obstrução, desempenho hidráulico.

## SHEWHART STATISTICAL CONTROL CHARTS IN THE EVALUATION OF HYDRAULIC PARAMETERS OF DRIP UNITS

### ABSTRACT

In semi-arid region, rational water management is essential for the development of irrigated agriculture. Thus, the present research aims to analyze hydraulic performance parameters of drip units irrigated with urban water supply and partially treated domestic sewage wastewater, from Shewhart statistical control charts. For this purpose, the research was developed at the Federal University of Campina Grande (UFCCG), in an experimental area belonging to the Laboratory of Irrigation and Drainage Engineering (LEID), of the Academic Unit of Agricultural Engineering (UAEA). To carry out the research, drip units were evaluated every 24 hours, over 576 hours of operation, totaling 25 tests, with a service pressure of 100 kPa. At each test, the hydraulic parameters were determined: Average Flow -  $Q_m$ , Distribution Uniformity Coefficient - CUD and Degree of Clogging - GE, for two drip tape models irrigated with urban water supply and wastewater from partially treated domestic sewage. Thus, it was verified that the hydraulic performance parameters ( $Q_m$ , CUD and GE) of the drip units after 576h of irrigation only with water from the urban supply maintained their values between unacceptable and good for CUD and low medium GE. On the other hand, with partially treated domestic sewage wastewater, the parameters ranged from unacceptable to poor for CUD and medium high GE. Regarding the Shewhart statistical quality control charts, there were variations in the irrigation processes from the detection of changes and indications of lack of process control. As for the drip tape models analyzed, the FS presented better hydraulic performance and the FT more susceptible to clogging, with treated domestic sewage wastewater. For the physicochemical and microbiological characteristics of the partially treated domestic sewage wastewater, regarding the risk of emitter clogging, the values were classified from "Moderate" to "Severe".

**Keywords:** Irrigation, wastewater, clogging, hydraulic performance.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivo Geral .....	14
2.2 Objetivos específicos.....	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	14
3.1 Importância do reuso da água para a agricultura .....	14
3.2 Água Residuária proveniente de esgoto urbano .....	16
3.2.1 Irrigação por gotejamento.....	18
3.2.2 Entupimento de emissores .....	20
3.3 Sistemas de filtragem para água de irrigação .....	21
3.4 Parâmetros para a avaliação do desempenho hidráulico na irrigação localizada .	22
3.4.1 Uniformidade de Aplicação da água.....	23
3.4.2 Vazão (Q) .....	24
3.4.3 Grau de entupimento (GE).....	25
4 MATERIAL E MÉTODOS .....	27
4. 1 Localização do experimento .....	27
4.2 Caracterização do experimento.....	27
<b>4.2.1 Bancadas experimentais e montagem das unidades gotejadoras .....</b>	<b>27</b>
4.3 Caracterização da água de irrigação utilizada no experimento .....	29
4.4 Condução do experimento e procedimento de coleta dos dados .....	30
4.5 Tratamento dos dados.....	33
4.6 Cartas de controle estatístico de Shewhart .....	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
5.1 Estatística descritiva .....	33
<b>5.1.1 Estatística descritiva e Teste de Normalidade das unidades gotejadoras operando com água de abastecimento urbano .....</b>	<b>34</b>
<b>5.1.2 Estatística descritiva e Teste de Normalidade das unidades operando com água de residuária proveniente de esgoto doméstico parcialmente tratado .....</b>	<b>35</b>
5.2 Controle estatístico de qualidade .....	37
<b>5.2.1 Aplicação do controle estatístico de qualidade nas unidades gotejadoras com água de abastecimento urbano .....</b>	<b>37</b>
<b>5.2.2 Vazão média .....</b>	<b>37</b>

<b>5.2.3 Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)</b> .....	39
<b>5.2.4 Grau de entupimento (GE)</b> .....	41
5.2.4 Aplicação do controle estatístico de qualidade nas diferentes unidades gotejadoras operando com água de residuária de esgoto doméstico parcialmente tratado .....	43
<b>5.2.4.1 Vazão (Q<sub>m</sub>)</b> .....	43
4.3 Qualidade das águas utilizadas na irrigação e sua relação com o risco o entupimento dos emissores .....	52
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	55
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	56

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Classificação das águas de irrigação quanto ao risco de entupimento.	12
<b>Tabela 2.</b> Classificação dos valores do coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD).	20
<b>Tabela 3.</b> Classificação dos valores de Grau de entupimento (GE) para irrigação por gotejamento.	20
<b>Tabela 4.</b> Especificações técnicas da fita gotejadora a ser utilizada no experimento.	23
<b>Tabela 5.</b> Tratamentos analisados no experimento.	26
<b>Tabela 6.</b> Interpretação dos valores de CUD, e GE - coeficientes de desempenho hidráulico das unidades gotejadoras.	27
<b>Tabela 7.</b> Estatística descritiva dos parâmetros hidráulicos analisados, incluindo o Teste de Normalidade de Anderson-Darling para o tratamento AAFT (água de abastecimento Fita Tiquira) e AAFS (água de abastecimento Fita gotejadora Azud Sprint) ao longo das 576 horas de funcionamento da unidade de irrigação.	29
<b>Tabela 8.</b> Análise da estatística descritiva dos parâmetros hidráulicos analisados, incluindo o Teste de Normalidade de Anderson-Darling, para o tratamento ARFT (Irrigação com água residuária de esgoto doméstico tratado e Fita gotejadora Tiquira) e ARFS (Irrigação com água residuária de esgoto doméstico tratado e Fita gotejadora Azud Sprint) ao longo das 576 horas de funcionamento.	31
<b>Tabela 9.</b> Parâmetros físico-químicas e microbiológicas da qualidade do efluente tratado.	

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Área experimental onde foi desenvolvida pesquisa, Campus da UFCG, Campina Grande – PB (2022). 24
- Figura 2.** Layout das bancadas experimentais. 25
- Figura 3.** Ilustração (A) Fita gotejadora modelo Azud Sprint (B) Fita gotejadora modelo Tiquira. 26
- Figura 4.** Carta de Controle estatístico de qualidade de Shewhart do parâmetro hidráulico Vazão Média (Qm) para o tratamento AAFT (Água de irrigação oriunda do abastecimento urbano e Fita gotejadora Tiquira) ao longo de 576h de funcionamento da unidade de irrigação. 34
- Figura 5.** Carta de Controle estatístico de qualidade de Shewhart do parâmetro hidráulico Vazão Média (Qm) para o tratamento AAFS (Água de irrigação oriunda do abastecimento urbano e Fita gotejadora Azud Sprint) ao longo de 576h de funcionamento da unidade de irrigação. 35
- Figura 6.** Carta de Controle estatístico de qualidade de Shewhart do parâmetro hidráulico Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) para o tratamento AAFT (Água de irrigação oriunda do abastecimento urbano e Fita gotejadora Tiquira) ao longo de 576h de funcionamento da unidade de irrigação. 37
- Figura 7.** Carta de Controle estatístico de qualidade de Shewhart do parâmetro hidráulico Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) para o tratamento AAFS (Água de irrigação oriunda do abastecimento urbano e Fita gotejadora Azud Sprint) ao longo de 576h de funcionamento da unidade de irrigação. 37
- Figura 8.** Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para o Grau de Entupimento (GE) da unidade gotejadora estudada, ao longo de 576 horas operando com água de abastecimento urbano. 39
- Figura 9.** Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart do Grau de Entupimento (GE) o tratamento AAFS (Água de irrigação oriunda do abastecimento urbano e Fita gotejadora Azud Sprint) ao longo de 576 horas operando com água de abastecimento urbano. 40
- Figura 10.** Carta de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para a Vazão Média (Qm) referente ao tratamento ARFT ao longo de 576h de funcionamento. 41

- Figura 11.** Carta de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para a Vazão Média (Qm) referente ao tratamento ARFS ao longo de 576h de funcionamento. 42
- Figura 12.** Carta de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para a coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) para o tratamento ARFT (Água residuária de esgoto doméstico e Fita gotejadora Tiquira), ao longo de 576h. 44
- Figura 13.** Carta de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para a coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) para o tratamento ARFT (Água residuária de esgoto doméstico e Fita gotejadora Azud Sprint), ao longo de 576h. 45
- Figura 14.** Carta de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para o Grau de Entupimento (GE) para o tratamento ARFS (Água residuária doméstico e Fita gotejadora Tiquira ao longo de 576h). 46
- Figura 15.** Carta de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para o Grau de Entupimento (GE) para o tratamento ARFS (Água residuária doméstica e Fita gotejadora Azud Sprint) ao longo de 576h. 47
- Figura 16.** (a) Fita gotejadora Tiquira (FT); (b) Fita gotejadora AZUD Sprint (FS) após 576 horas de funcionamento com água residuária de esgoto doméstico. 49
- Figura 17.** (c) Fita gotejadora Tiquira (FT); (d) Fita gotejadora Azud Sprint (FS); após 576 horas de funcionamento com água residuária de esgoto doméstico. 50

## 1. INTRODUÇÃO

A agricultura apresenta grande papel no desenvolvimento econômico e social de uma região. A irrigação é uma técnica muito importante, altamente abundante no uso dos recursos hídricos. No entanto, o crescimento da atividade resulta em aumento do uso da água, e ao mesmo tempo diversos benefícios podem ser observados, a exemplo de aumento da produtividade, a melhoria da qualidade dos produtos, a redução de custos unitários, a atenuação dos impactos da variabilidade climática e a otimização de insumos e equipamentos (ANA, 2021).

Com a limitação da disponibilidade de recursos hídricos e ampliação cada vez mais expressiva da população, cresce a demanda por alimentos e por um maior consumo de água. Sendo esse cenário uma questão crítica na maioria das regiões áridas e semiáridas, por isso, a busca é por soluções sustentáveis para garantir a segurança da água e dos alimentos que são cultivados, sendo necessária a implementação do reuso de água (CHEKLI et al., 2017).

O lançamento de águas residuárias domésticas sem tratamento nos corpos hídricos receptores estão aumentando diversos problemas ambientais e impactos socioeconômicos, como por exemplo: a eutrofização decorrente dos níveis elevados de nitrogênio e fósforo, a redução do oxigênio dissolvido pelo aumento da carga orgânica, a disseminação de doenças de veiculação hídrica, o desequilíbrio ecológico, o incremento de hormônios, princípios ativos de medicamentos e substâncias ilícitas nos ecossistemas aquáticos, dentre outros (BEZERRA, 2018).

No Brasil, o reuso de água tem grande aplicabilidade e vem se tornando cada vez mais relevante como um instrumento de um modelo de gestão das águas garantindo uma segurança hídrica. Desse modo, o uso de efluentes tratados na agricultura, nas áreas urbanas como também nas áreas rurais, particularmente para fins não potáveis, no atendimento da demanda industrial e na recarga artificial de aquíferos, se constitui em ferramenta poderosa para restaurar o equilíbrio entre oferta e demanda em diversas regiões brasileiras. Assim, o tratamento de esgotos sanitários e o seu posterior reuso, tornou-se uma alternativa viável para irrigação, atividade que utiliza em torno de 70 % de toda a água consumida no planeta (KUMMER, et al., 2012).

Entre os sistemas de irrigação, o mais indicado para se operar com água residuária é o gotejamento, por não ter o contato direto da água com o público exposto e com a



cultura. Quando o sistema é manejado corretamente, ele apresenta alta eficiência de aplicação do efluente, com um menor risco de contaminação ambiental, devido a não geração de aerossol e baixa probabilidade de ocorrência de lixiviação e de escoamento superficial (LAVÔR, 2019).

O reuso de água é um importante componente da gestão de recursos hídricos, pois, com o aumento da demanda de água para suprir a irrigação, se torna uma alternativa viável para diminuir o uso de água de boa qualidade na agricultura. A reutilização, reciclagem e recuperação de efluentes fornece uma alternativa sustentável ao estresse hídrico, podendo ser utilizada para irrigação, fins industriais, residenciais, entre outros, com base na satisfação dos padrões de qualidade, diminuindo as retiradas dos sistemas de água doce, bem como o volume de águas residuais lançadas em corpos hídricos (HENDGES et al., 2018).

De acordo com Pacheco et al., (2022), com o uso indiscriminado e a má gestão dos recursos hídricos, tem-se o esgotamento de muitos mananciais, colocando em risco a saúde e a economia das comunidades. Ao saber da importância do reuso, o qual compreende o controle de perdas e desperdícios, a qualidade sanitária deve ser estabelecida para garantir o uso seguro na irrigação diante de um tratamento adequado para sua utilização, contribuindo para a conservação dos recursos além de acrescentar uma dimensão econômica ao planejamento dos recursos hídricos.

O reuso de água a partir do efluente tratado, está se tornando cada vez mais presente. Pois, além de disponibilizar água de origem alternativa para diversos fins, a prática alivia as pressões hídricas regionais, minimiza os impactos de conflitos pelo uso da água, incentiva o aumento dos índices de tratamento de esgotos e a melhoria das práticas operacionais para alcance da qualidade desejada e minimiza a poluição hídrica (LIMA, et al., 2021). Contudo, é necessário pesquisar a fluência da água residuária nos emissores de irrigação através da avaliação de parâmetros hidráulicos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Analisar parâmetros de desempenho hidráulico de unidades gotejadoras irrigadas com água de abastecimento urbano e com água residuária de esgoto doméstico parcialmente tratado, a partir de cartas de controle estatístico de Shewhart.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Calcular os indicadores de desempenho hidráulico de unidades gotejadoras, vazão ( $Q_m$ ) coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e grau de entupimento (GE), irrigadas com água de abastecimento urbano e com água residuária de esgoto doméstico parcialmente tratado pelo período estabelecido na pesquisa;
- Utilizar as cartas de controle estatístico de Shewhart no monitoramento do comportamento hidráulico das unidades gotejadoras;
- Correlacionar os componentes físicos, químicos e biológicos presentes nas águas empregadas na irrigação com os possíveis riscos de entupimentos das unidades gotejadoras.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 Importância do reúso da água para a agricultura**

A principal característica climática do semiárido do Nordeste brasileiro é a instabilidade temporal e espacial das chuvas que estão associadas às elevadas taxas de temperatura e evaporação. Diante de um baixo índice pluviométrico com uma precipitação média anual igual ou inferior a 800 milímetros e temperaturas médias anuais elevadas, iguais e superiores a 25°C, esse tipo climático é característico de quase todo o interior do Nordeste (LUCENA, et al., 2018).

Assim, a oscilação de períodos mais secos e períodos mais chuvosos resultam também, na variância do volume de água armazenada nos açudes da região semiárida, o que pode acarretar em problemas para a gestão das águas, já que o açude exerce papel fundamental na administração dos recursos hídricos do semiárido em razão da sua capacidade de armazenamento e distribuição de água ligada a outras políticas hídricas da região. O período chuvoso da região Nordeste se centraliza nos primeiros meses do ano

nas estações verão e outono, permanecendo o restante assolado com as estiagens (PASTOR, 2022).

Nas últimas décadas, diante do aumento da população e do crescimento industrial, os efeitos negativos decorrentes das atividades humanas se intensificaram com relação aos múltiplos usos da água. Pois, com as retiradas permanentes para diversas finalidades causa diminuição considerável da disponibilidade de água, gerando inúmeros problemas de escassez em muitas regiões e países. Sendo assim, o tratamento de esgotos sanitários e o seu posterior reuso, torna-se uma alternativa viável para a irrigação, atividade que utiliza em torno de 70 % de toda água consumida no planeta (KUMMER, et al., 2012).

O reuso de água é essencial na gestão dos recursos hídricos, pois além de promover o aumento da oferta e uso sustentado da água para diversos fins, essa prática também proporciona a proteção da saúde pública e a manutenção da integridade dos ecossistemas, especificamente a preservação do lençol freático, que é impactado pela contaminação oriunda de despejos não tratados ou mau manuseados (BERNARDINO, 2022).

A escassez de chuvas e a falta de uma política de desenvolvimento que leve em conta as especificidades regionais compromete a qualidade de vida e dificulta a fixação do homem na região. Nesse contexto, faz-se necessário reservar as águas doces de melhor qualidade para abastecimento humano e animal, e empregar águas marginais, sendo as salobras ou de esgotos domésticos tratados, para a irrigação (BARBOSA, et al., 2014).

De todo modo, o reuso proveniente da Estação de Tratamento Esgoto é uma questão prioritária, principalmente, quando se trata dos municípios do semiárido, visando uma perspectiva de crescimento e desenvolvimento local com segurança hídrica. Logo, também deve ser considerado como parte de uma atividade mais abrangente que é a educação, fazendo o uso racional e eficiente da água, o qual compreende a economia e os seus usos finais (usos múltiplos da água), que podem trazer benefícios ao próprio ecossistema, como também nas atividades humanas diante da escassez hídrica (LUCENA, et al., 2018).

A qualidade e volume de água existentes na natureza diminuem gradativamente por causa, sobretudo, da expansão agrícola, indústria e degradação do meio ambiente. Assim, o uso de água residuária na agricultura vem se tornando necessário devido a necessidade da evidente escassez de água de boa qualidade (ALVES et al., 2012).

Dessa forma, o reaproveitamento da água residuárias é um fator importante no ambiente sustentável, em um mundo excessivamente consumista e leviano, sobre a conservação dos recursos hídricos. Portanto, a prática do reuso, dentre outros processos, é um meio de reduzir e renovar a água inutilizada em nosso planeta (PASTOR, 2022).

No entanto, deve ser planejado e pautado em tratamentos que correspondam aos padrões físico-químicos, bacteriológicos e biológicos, determinados pela OMS, para ser um produto de mercado, capaz de proporcionar ao produtor uma agricultura sustentável, com utilização segura e visando a preservação dos recursos hídricos (BERNARDINO, 2022).

### **3.2 Água Residuária proveniente de esgoto urbano**

A escassez de água é um dos principais desafios do século XXI, a segurança e a sustentabilidade do abastecimento de água correspondem a uma preocupação crescente da população. Que pode ser atribuída a fatores climáticos, a exemplo de longos períodos de estiagem, com uma distribuição desigual ao redor do mundo, seguido pela crescente necessidade de recursos hídricos em virtude do crescimento demográfico, econômico e melhoria dos padrões de vida (HENDGES et al., 2018).

A gestão dos recursos hídricos é fundamental, uma vez que, a água é um bem indispensável para vida humana. O reuso surge para racionalização da água potável trazendo benefícios sociais, econômicos e ambientais nas regiões em que são inseridos. Dessa forma, a água de reuso apresenta uma qualidade inferior encaixando-se em padrões pré-estabelecidos por legislações normativas para sua utilização, tendo como “insumos” as águas residuárias ou provenientes da precipitação, que podem ser reutilizadas em usos menos restritivos (COSTA, 2022).

Ainda que muitos considerem uma opção desnecessária, não deixa de ser uma alternativa que precisa ser adequada à população, pela necessidade de investimento no uso consciente da água (OLIVEIRA, MARTINS, 2020). Do ponto de vista ambiental, social e econômico, há uma preocupação com relação ao reuso de água com potencialidade poluidora de recursos hídricos e do solo, atestando assim, a necessidade de um tratamento.

Dessa maneira, os resíduos líquidos devem receber o tratamento adequado, atingindo os níveis de parâmetros ambientais impostos pelas legislações vigentes para

descarte, evitando problemas relacionados aos poluentes emergentes e suas potencialidades tóxicas e xenobióticas (ANDRADE, BRITO, 2021).

A prática implementada de forma responsável permite a conservação dos corpos hídricos e conduz a consideráveis quantidades de nutrientes ao solo. As microalgas cultivadas em águas residuárias previamente tratadas chegam a desempenhar um papel de fonte secundária de nitrogênio, além de fósforo e outros macronutrientes essenciais ao vegetal, visto que, sua capacidade de remoção de nutrientes de águas residuárias já é comprovada, melhorando também fertilidade do solo (MOGES et al., 2020).

De acordo Alves et al. (2018), o sucesso no uso agrícola de efluentes possui uma etapa fundamental, principalmente, na escolha da cultura a ser usada, considerando suas características fitotécnicas, facilitadoras do manejo com água residuária e socioeconômicas, vinculadas à inserção regional da cultura agrícola.

Portanto, a agricultura requer grandes volumes de água e gera a necessidade de se buscar novas ferramentas para o desenvolvimento de outras fontes de abastecimento, pesquisas voltadas ao uso de águas de reuso na agricultura possui ligação direta com a transição da economia linear (utilizada atualmente) para a economia circular. Essa atividade visa o uso em ciclo de água, evitando novas retiradas de aquíferos e corpos hídricos, de forma a contribuir para o desenvolvimento sustentável (SILVA, 2022).

Os autores Nakayama e Bucks (1986) indicam os critérios específicos de qualidade de água quanto ao risco de entupimento de emissores em irrigação localizada. Considerando os fatores físicos, Tabela 1 (sólidos em suspensão), químicos (pH, sólidos dissolvidos, Mn, Fe, H<sub>2</sub>S) e biológicos por meio da caracterização das populações bacterianas (TESTEZLAF *et al.*, 2001).

**Tabela 1.** Classificação das águas de irrigação quanto ao risco de entupimento.

Fatores de entupimento	Níveis de Risco		
	Baixo	Moderado	Severo
<b>Físico</b>			
Sólido em suspensão	< 50	50 - 100	> 100
<b>Químico</b>			
pH	< 7	7 – 8	> 8
Sólidos dissolvidos	< 500	500 – 2000	> 2000
Ferro Total	< 0,2	0,2 – 1,5	> 1,5
Manganês	< 0,1	0,1 – 1,5	≥ 1,5

Sulfeto de Hidrogênio	< 0,2	0,2 – 2,0	> 2,0
<b>Biológico</b>			
População bacteriana (NMP/ml)	< 10000	10000 – 50000	> 50000

Fonte: Nakayama & Bucks (1986). Obs.: Os parâmetros físicos e químicos estão na unidade mg/L<sup>-1</sup>.

### 3.2.1 Irrigação por gotejamento

A agricultura irrigada é a maior usuária de água, pois, depende desse recurso para a sua subsistência. É, por exemplo, processo fundamental para possibilitar aumento da produtividade na ordem de até três vezes em relação ao sequeiro, elevando a renda do produtor rural, aumentando a oferta e regularidade de alimentos, e em regiões semiáridas ela é essencial para agricultura (BERNARDINO, 2022).

A irrigação é uma tecnologia que aumenta a estabilidade da lavoura, diversifica a produção e possibilita a produção fora de época. Contudo, requer estudos de implantação para melhor escolha do método e do sistema a ser aplicado, e com o mesmo nível de importância, porém com menor difusão, são os estudos preliminares para avaliar a qualidade da água para irrigação e sua disponibilidade para uso (MELO, QUEIROZ, 2020).

Nesse sentido, a escassez de água está conduzindo à implantação de projetos de desenvolvimento no semiárido que têm como desafio a busca por alternativas de convivência com a seca que conduzam a melhorias sociais. Nesse contexto, a irrigação é fundamental, ou seja, uma parte importante da agricultura que só se viabiliza mediante a aplicação artificial de água. Logo, o reúso agrícola planejado apresenta-se como uma oportunidade de valorizar a atividade agrícola na região (BARBOSA, et al., 2014; ANA, 2021).

Com a intensificação dos processos de urbanização nas últimas décadas a demanda de água para irrigação e abastecimento cresce significativamente, resultando em pressões cada vez maiores sobre os mananciais hídricos. A água de reúso proveniente das Estações de Tratamentos de Esgotos surge como alternativa sustentável por reduzir a demanda dos mananciais de água, devido à substituição da água potável por uma água de qualidade inferior, que ainda assim, pode ser reutilizada de múltiplas formas (Lucena, et al., 2018).

Então, para minimizar o desperdício do recurso no setor agrícola, é fundamental buscar formas de aumentar cada vez mais a eficiência da irrigação. Um dos critérios de melhoria reside no dimensionamento da rede, considerado no momento da concepção do projeto e com potencial de planejamento de um sistema que otimize a utilização da água, resultando na implantação de uma irrigação que promove maior redução de custos e diminuição do risco do investimento diante da maior disponibilidade hídrica, gerada pela economia do recurso (CASTELANI, MOREIRA, 2018).

Dessa forma, conhecendo a importância da irrigação na agricultura e, principalmente, no agronegócio Brasileiro para uma produção adequada, o sistema de irrigação por gotejamento possui inúmeras vantagens, tais como: menor uso de água, transporte de nutrientes, transporte de substâncias químicas, menor demanda de mão de obra, ações corretivas em curto prazo, entretanto, elas tornam-se limitadas e de certa forma, ineficazes se os processos de execução de montagem e escolha correta dos componentes não atenderem às exigências adequadas para se elaborar um projeto com total eficiência e o melhor resultado (CASTELANI, MOREIRA, 2018).

Logo, a aplicação de água no método de irrigação localizada visa molhar especificamente a área de solo na qual se encontra o sistema radicular da cultura. Ou seja, por meio de tubulações a água é conduzida sob baixa pressão, e com alta frequência por meio de emissores que são os mecanismos mais importantes desse método de irrigação. Sua função é proporcionar baixas vazões de água, o que permite diminuir o diâmetro das tubulações, reduzindo parte dos custos (cerca de 10% do custo total de um projeto (BISCARO, 2014).

De acordo com Testezlaf (2017), a irrigação localizada apresenta inúmeras vantagens, destacando a possibilidade de um melhor aproveitamento dos recursos hídricos, não interferir na execução dos tratamentos culturais, propiciar o aumento da produtividade e a melhoria na qualidade do produto, reduz o perigo de salinidade para as plantas, possibilita a prática de aplicação de produtos químicos (fertilizantes, inseticidas, fungicidas) via água de irrigação facilita o controle fitossanitário e possibilita uma economia de energia e de mão-de-obra pelo fato de operar a baixas pressões e vazões a curtos períodos de operação, adaptando relativamente em diferentes tipos de solos e topografia, entre outras.

Contudo, apresenta algumas limitações, como por exemplo, um alto custo de instalação inicial, principalmente, devido a necessidade de um sistema de filtragem rigoroso para prevenir o entupimento dos emissores por causa do pequeno diâmetro,

favorecimento do acúmulo de sais próximo as culturas, desenvolvimento limitado do sistema radicular das plantas e a necessidade de manutenção permanente de seus equipamentos (LEROY, 2022).

Dessa forma, os benefícios obtidos com a irrigação e a eficiência dos sistemas de gotejamento têm incentivado os fabricantes a desenvolverem sistemas modernos de gotejamento procurando resolver as limitações dos sistemas mais antigos, em especial, no que se refere ao entupimento dos emissores e a variação de vazão (VALE, 2019).

### **3.2.2 Entupimento de emissores**

A água de boa qualidade é essencial para o desempenho dos emissores, assim, o seu entupimento é uma das principais barreiras quanto ao uso da irrigação por gotejamento com aplicação de águas residuárias. Com o entupimento, os emissores apresentam grande suscetibilidade em função da interação dos fatores químicos, físicos e biológicos presentes nas águas residuárias, e também as características de fábrica dos gotejadores podem interferir no processo de entupimento (LAVÔR, 2019).

O entupimento de gotejadores danifica o funcionamento geral do sistema de irrigação afetando suas características de operação e exigindo manutenções mais constantes. Ele pode ocorrer por fatores físicos que podem ser causados por partículas inorgânicas em suspensão (areia, silte, argila) e por partículas orgânicas (fragmentos vegetais e animais, bactérias, algas, larvas, etc.). A areia, silte e outros resíduos introduzidos nas linhas laterais, durante a instalação, podem causar problemas e devem ser retirados do sistema antes da colocação dos emissores nas mangueiras (NASCIMENTO, 2015).

No Brasil, o efluente doméstico tratado ainda é pouco utilizado, já em alguns países como é o caso de Israel, mais da metade da produção agrícola se dá por meio de águas residuárias, em função da carga nutricional presente como nitrogênio, fósforo e potássio, o que diminui os custos com fertilizantes, além de direcionar água de melhor qualidade para fins de maior exigência (GUIMARÃES, 2019).

Para a disposição de águas residuárias na agricultura, é necessário levar em consideração os padrões de qualidade de água de acordo com a legislação vigente, sendo monitorada com a devida segurança (VALE, 2019). De acordo com Lima (2022), é indispensável o conhecimento prévio das características físicas, químicas e biológicas da água que será utilizada na irrigação, de modo que, esses fatores podem ocasionar além de



danos às culturas e ao solo, também permitem acelerar o processo de obstrução dos emissores na irrigação localizada, em especial, por gotejamento.

A ocorrência do entupimento de emissores por esses processos pode se tornar um problema grave na manutenção diária do sistema de irrigação. A obstrução por impurezas na água pode comprometer a uniformidade de distribuição de água e aumentar os riscos de insucesso da irrigação. Por essa razão, a filtragem é uma alternativa preventiva, que consiste no conjunto de tratamentos ou funções que realizam a retirada de partículas indesejadas da água (TESTEZLAF, 2014).

Portanto, há 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. O uso contínuo do efluente doméstico tratado na irrigação promove perdas no desempenho hidráulico dos gotejadores, sendo essencial as práticas de manejo, como limpeza periódica do sistema, em especial, na área de filtragem, e também o desentupimento dos gotejadores e limpeza das linhas laterais (GUIMARÃES, 2019).

### **3.3 Sistemas de filtragem para água de irrigação**

Dentre os filtros que podem ser empregados na irrigação, o de areia se destaca pela capacidade de filtrar tanto material inorgânico como orgânico, removendo inclusive, partículas menores do que o diâmetro de seus poros devido à atração estática entre as partículas filtradas e os grãos de areia (TESTEZLAF, 2014).

Os emissores com saídas de pequeno diâmetro, geralmente, na faixa de milímetros, requerem que a água esteja isenta de partículas suspensas que possam obstruir parcialmente ou entupir totalmente esses elementos, necessitando da presença de unidades de tratamento ou de filtragem da água, que são constituídas principalmente, de filtros de areia, de tela ou disco de filtros que, protegem os emissores possuindo a função de reduzir os danos causados por sedimentos nas tubulações e acessórios dos sistemas. (TESTEZLAF, 2017).

A filtragem é obrigatória em sistemas de irrigação localizada com a finalidade de prevenção de entupimento dos emissores. Para viabilizar o uso de águas de qualidade inferior nos sistemas de irrigação, é preciso sistemas de filtragem. Isso significa que, quando a água passa pelo elemento filtrante, a maior parte da sujeira fica retida na superfície superior, enquanto as partículas de sujeira pequenas e outros materiais orgânicos em suspensão são retidos ao longo do caminho pelas partículas do meio

filtrante. A água que sai como produto final é, portanto, livre de sujeira e não irá obstruir ou interromper os acessórios de irrigação (CANO, 2022).

Contudo, são essenciais cuidados especiais relativos ao efeito dos constituintes da água sobre o funcionamento hidráulico do sistema de irrigação que a conduzirá. Nesse aspecto, se faz necessário o monitoramento constante de parâmetros de qualidade da água (PASSOS, 2022).

### **3.4 Parâmetros para a avaliação do desempenho hidráulico na irrigação localizada**

Os aspectos hidráulicos de um sistema de irrigação são partes essenciais em seu dimensionamento, para ser possível avaliar as condições em que o sistema de irrigação está operando, os parâmetros de desempenho devem ser definidos.

As unidades de condução ou transporte de água são fundamentais para levar a água da fonte até a área cultivada. Por isso, as distâncias entre as fontes de água e os locais a serem irrigados precisam ser vencidos por canais ou sistemas de tubulações, de modo que o dimensionamento dessas unidades atenda aos requisitos econômicos e técnicos, permitindo que a vazão necessária para a operação do sistema esteja disponível na parcela a ser irrigada. (TESTEZLAF, 2017).

Uma vez instalado um projeto de irrigação, é essencial verificar as condições inicialmente previstas, um dos melhores critérios é o dimensionamento da rede, considerado no momento da concepção do projeto e com potencial de planejamento de um sistema que otimize a utilização da água, resultando na implantação de uma irrigação que promova maior produtividade, redução de custos e diminuição do risco do investimento diante da maior disponibilidade hídrica, gerada pela economia do recurso, sendo necessário confirmar as características do sistema em campo seguindo as recomendações do fabricante e analisar a vazão, uniformidade de distribuição de água e eficiência de irrigação (ANDRADE, 2021 e BRITO, 2022).

Para aumentar a eficiência do sistema de irrigação precisa primeiro conhecer a qualidade da água, o clima da região, a necessidade hídrica da cultura, fazer um levantamento pedológico completo e também da fazenda. Isso permitirá um bom dimensionamento do sistema e o uso de equipamentos adequados para atender o projeto. Com a avaliação dos sistemas de irrigação tem-se o conhecimento da qualidade com que a irrigação está sendo realizada, a partir de uma gama de coeficientes de uniformidade de aplicação de água, os quais expressam a variabilidade de distribuição aplicada pelo sistema de irrigação (SANTOS et al.; 2015).

### 3.4.1 Uniformidade de Aplicação da água

Sobre o correto funcionamento do sistema de irrigação, deve-se considerar principalmente, a uniformidade de aplicação, que deve ser entendida como aplicação da mesma quantidade de água e/ou fertilizante por toda a área irrigada. Assim, a verificação da uniformidade de um sistema de irrigação deve ser realizada após sua instalação e frequentemente após ser feita, com a meta de manter o bom funcionamento do sistema, localizando entupimentos e/ou vazamentos que podem ocorrer (NUNES, 2018).

Por esse motivo, aumenta a necessidade de realizar avaliação da uniformidade de emissão da água de acordo com o tempo de uso do equipamento, pois o uso prolongado provoca uma maior suscetibilidade para a obstrução de orifícios, afetando a uniformidade de distribuição de água e por consequência, também o rendimento da cultura (NASCIMENTO, et al., 2009). Existem outros fatores que podem afetar a uniformidade de distribuição da água nos sistemas de irrigação localizada, como por exemplo, a velocidade da água na tubulação, pressão de serviço do emissor, alinhamento da linha lateral e o entupimento dos emissores (SILVA, et al., 2012).

Dessa forma, existe um conjunto de fatores que precisam ser feitos constantemente desde a avaliação, manutenção e o monitoramento da qualidade da irrigação. Sendo necessário avaliar e monitorar qualitativamente e quantitativamente o funcionamento dos sistemas, para que a sua eficiência seja sempre considerada a mais próxima possível da realidade, bem como atuar no auxílio correto e na substituição de componentes do próprio sistema. Na literatura existem diversos métodos que avaliam os sistemas de irrigação, por meio de diferentes coeficientes de uniformidade, sendo que esses coeficientes medem a variação da lâmina aplicada pelo equipamento de irrigação ao longo da área irrigada (NÖRENBERG, 2022).

Segundo Hermes et al. (2018), a uniformidade na irrigação localizada emprega critérios exigentes em que Pizarro (1996), recomenda o uso do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD). Já Bralts (1986), classifica seus valores como maior que 90%, excelente; entre 80 e 90%, bom; 70 e 80%, regular e menor que 70%, ruim. Quanto maior a uniformidade de distribuição de água no sistema de irrigação, melhor o desempenho (Sales, Sánchez-Román 2019).

Dessa maneira, melhorar a uniformidade de um sistema de irrigação é uma das formas mais importantes para o manejo adequado da água aplicada e para se obter altos índices de produtividade, pois o excesso na aplicação, além da perda de água, pode carrear nutrientes para zonas do solo não exploráveis pelas raízes (BERNARDO; SOARES;

MANTOVANI, 2006). Para que um sistema de irrigação ofereça um elevado índice de eficiência, é preciso saber se o sistema está adequado às condições previamente estabelecidas na etapa do projeto (ANTUNES, 2018).

Portanto, a uniformidade com que uma subunidade de irrigação localizada distribui a água é avaliada mediante o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), essencial em qualquer método de irrigação, pois afeta a eficiência do uso da água e como consequência, a quantidade e a qualidade da produção (SANTOS et al.2013).

### **3.4.2 Vazão (Q)**

Com a instalação do sistema de irrigação, é necessário saber trabalhar com ele. Para isso, é fundamental conhecer primeiro se a quantidade de água que sai dos emissores ao longo de uma linha lateral é a mesma. A melhor situação é aquela em que todas as plantas recebam a mesma quantidade de água num dado tempo ou a mesma vazão. Nesse sentido, é preciso saber se a água que entra na linha lateral, à medida que vai saindo pelos gotejadores, vai diminuindo. Sendo importante entender que a pressão da água é maior no início da linha lateral e vai diminuindo ao final da linha (COELHO, et al., 2017).

A variação de vazão, de temperatura, da qualidade da água e a variação de pressão por perda de carga e entupimentos, são fatores que afetam a uniformidade de um sistema de irrigação. Assim, o coeficiente de variação da vazão é determinado ao longo do tempo de funcionamento das unidades gotejadoras, diante das variações de vazão ao longo de todo o período de irrigação (CUNHA et al., 2018).

Dessa maneira, um dos requisitos necessários ao dimensionamento de um sistema de irrigação localizada, é analisar os componentes das características hidráulicas do tubo gotejador, o tipo de material empregado no processo de fabricação, diâmetro interno do tubo e a relação vazão-pressão são parâmetros hidráulicos que influenciam diretamente no desempenho de sistemas pressurizados de irrigação (DALRI et al., 2015).

Em sistemas de gotejamento com gotejadores regulares (onde a vazão de um gotejador depende da pressão), há que estabelecer critérios de engenharia para assegurar um alto grau de uniformidade. Normalmente, se define que nesses casos um bom projeto tenha uma variação máxima de vazão entre os gotejadores de 10%. Com esse critério, se assume que a uniformidade do sistema é alta e não deve afetar o resultado agrônomo, já para variações maiores do que 10%, a desuniformidade aumenta e, conseqüentemente, a diferença entre a vazão dos primeiros e dos últimos emissores nas linhas laterais de

irrigação será grande. Essa situação pode influenciar na produção, criando áreas mais produtivas do que outras (PAOLINELLI, 2022).

**Tabela 2.** Classificação dos valores do coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD).

CUD (%)	CLASSIFICAÇÃO
> 84	Excelente
68 – 84	Bom
52 – 68	Razoável
36 – 52	Ruim
<36	Inaceitável

Fonte: Mantovani (2001).

### 3.4.3 Grau de entupimento (GE)

O entupimento dos emissores é uma das principais barreiras ao uso da irrigação por gotejamento na aplicação de águas residuais urbanas tratadas. Pois, acarreta perdas de vazão e desuniformidade de distribuição de água ou efluente para a irrigação por gotejamento, afetando a uniformidade de distribuição, comprometendo a produção agrícola e efetivando redução da vida útil dos equipamentos (LIMA et al., 2017).

A obstrução dos emissores está diretamente relacionada à qualidade da água de irrigação, diferentes gotejadores apresentam graus de suscetibilidade diversos ao entupimento. Ocasionalmente alterando na vazão e a obstrução; isso se deve pelos pequenos orifícios de passagem da água, o que provoca perda da uniformidade do sistema e variação da eficiência da irrigação, considerado como um fator agravante do sistema. Portanto, os sólidos em suspensão, a composição química e a atividade microbológica ditam o tipo de tratamento de água necessário para prevenção das obstruções (COELHO, 2007; BUSATO, SOARES, 2010).

**Tabela 3.** Classificação dos valores de Grau de entupimento (GE) para irrigação por gotejamento.

GE (%)	CLASSIFICAÇÃO
<0	Sem entupimento
0 – 10	Baixo
10 – 40	Médio
40 – 90	Alto

---

Fonte: MORATA *et al.* (2014).

### 3. Controle estatístico de qualidade (CEQ)

O controle estatístico da qualidade (CEQ) surgiu com o objetivo de identificar e estudar desvios ou irregularidades presentes nos processos, a partir da utilização de métodos de controle, para avaliar os dados obtidos e sugerir ações para minimizar a influência de não conformidades ao produto final. Buscando assim, implementar soluções para analisar processos após as modificações. É possível a partir da utilização do CEQ um satisfatório grau de confiabilidade, pois, possui técnicas e ferramentas de monitoramento e controle estatístico, responsáveis por expressar quantitativamente a variação dos parâmetros de distribuição da qualidade dos processos, associados às características e descrições das amostras obtidas (GARCIA, et al., 2020).

O controle estatístico da qualidade refere-se a um processo propício a manter os padrões preestabelecidos em relação à ocorrência de determinado evento. Esse controle utiliza ferramentas intrínsecas à estatística para medição das variáveis e mensuração dos níveis de desvios presentes, pode ser largamente definido como aqueles métodos estatísticos e de engenharia que são usados na medida, na monitoração, no controle e na melhoria da qualidade. Esses métodos incluem análise e verificação das tolerâncias presentes nos processos, identificando a ocorrência de desvios e suas causas. (MOREIRA, 2012, e MONTGOMERY, RUNGER, 2009).

O CEQ é uma análise estatística, que era muito aplicada apenas no setor industrial; mas com o aumento da competitividade mundial e exigência do mercado por produtos de ótimas qualidade, o seu uso tornou-se essencial com a viabilidade da utilização das técnicas de controle na agricultura, permitindo o monitoramento e entendimento do processo. O CEP se destaca como uma das ferramentas que possui as cartas de controle como as mais usadas, por permitir o monitoramento e a detecção das causas especiais (MOROSSINI, 2016).

As cartas ou gráficos de controle estatístico são uma das principais ferramentas usadas no monitoramento do desempenho de processo, sendo ferramentas benéficas para o monitoramento da variabilidade e da estabilidade de um processo, tendo como principal objetivo diferenciar a ocorrência de causas especiais, que provocam mudanças importantes no processo daquelas provocadas por causas comuns ou aleatórias (HERMES, 2013).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização do experimento

O experimento ocorreu em uma área experimental (Figura 1) pertencente ao Laboratório de Engenharia de Irrigação e Drenagem (LEID), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), no município de Campina Grande - PB. As coordenadas geográficas do local são: 07°15'18" de latitude S, 35°52'28" de longitude W, altitude média de 550 m e com classificação climática de Kooppen do tipo CSa, com clima mesotérmico, semiúmido, com verão quente e seco (4 a 5 meses) e chuvas de outono a inverno (ANDRADE *et al.*, 2022).



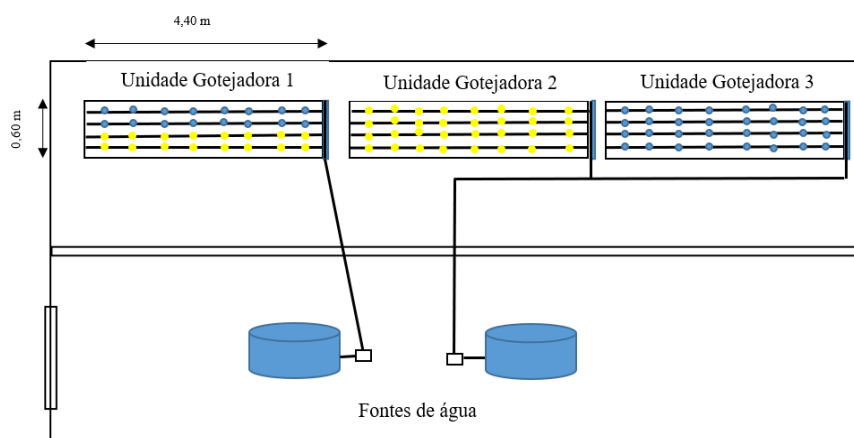
**Figura 1.** Área experimental situada no Campus da UFCG, Campina Grande – PB (2022).

### 4.2 Caracterização do experimento

#### 4.2.1 Bancadas experimentais e montagem das unidades gotejadoras

Para a realização do experimento foram necessárias três bancadas experimentais construídas e adaptadas conforme Ferreira (2015), confeccionadas em madeira, com 4,40 m de comprimento, 0,60 m de largura e 1,20 m de altura (Figura 2). Cada uma das bancadas

subdividida para permitir a instalação e a análise de quatro linhas laterais na parte superior e quatro linhas laterais na parte inferior, posicionadas paralelamente, com espaçamento de 0,15 m.



**Figura 2.** Layout das bancadas experimentais.

As unidades gotejadoras instaladas nas bancadas experimentais compostas por: eletrobomba de  $\frac{1}{2}$  CV com vazão máxima de 35 L/min (monofásica) 220 V, reservatórios de água com capacidade para 500 L (caixas d'água em polietileno), filtros de disco de 120 mesh, manômetros de glicerina (na saída das bombas e nas extremidades finais das linhas principais), válvulas de retenção, registros de globo, tubos de PVC, conexões e fitas gotejadoras.

Além disso, nelas haviam prateleiras móveis, colocadas apenas no momento das avaliações, e um sistema de recirculação da água, em que por meio de telhas de fibra de vidro a água que era liberada pelos emissores, recolhida em calha e direcionada novamente ao reservatório (caixa d'água).

No experimento passaram por análise dois modelos de fitas gotejadoras comercializadas no comércio local, com emissores convencionais planos, do tipo pastilha espaçados em 0,20 m, cujas características obtidas de catálogos técnicos fornecidos pelos fabricantes estão disponíveis na Tabela 1.

**Tabela 4.** Especificações técnicas da fita gotejadora a ser utilizada no experimento.

Nomenclatura	Fabricante	Modelo	DA	Q (L h <sup>-1</sup> )	k	x	PN (kPa)	DN (mm)	EE (m)
FS	Azud	Sprint	Não	1,6	0,49	0,5	50-125	16	0,20
FT	Petroísa	Tiquira	Não	1,5	0,46	0,5	100	16	0,20

(DA) = dispositivo de auto compensação, (Q)= vazão nominal, (k) = coeficiente de vazão, (x)= expoente da vazão que caracteriza o regime de escoamento, (PN) = pressão nominal, (DN) = diâmetro nominal e



(EE) = espaçamento entre emissores **Nota:** \* - Vazão nominal das fitas gotejadoras na pressão de serviço de 100 kPa; \*\* Informações obtidas no catálogo dos fabricantes.



**Figura 3.** Ilustração (A) Fita gotejadora modelo Azud Sprint (B) Fita gotejadora modelo Tiquira.

Fonte: Fonte: (A) Casa irriga, 2023; (B) Google, 2023.

### 4.3 Caracterização da água de irrigação utilizada no experimento

Para realização dos ensaios a água proveio do abastecimento urbano do município de Campina Grande – PB, a qual atende a todo o campus da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG e é fornecida pela Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba – CAGEPA. E água residuária de esgoto doméstico de um córrego que passa no interior do Campus de Campina Grande – PB da UFCG, coletada semanalmente, em recipientes de plásticos com capacidade para 50 L e 25 L, e transportada até a área experimental, em seguida, filtrada em um filtro de areia e armazenada em reservatórios com capacidade de 500 L.

Buscando relacionar a origem do possível entupimento dos emissores com a qualidade da água utilizada na irrigação, foram analisados os parâmetros físicos, químicos e biológicos da água de abastecimento urbano, a partir dos dados disponibilizados pelo laboratório da CAGEPA e após ensaio feito no Laboratório de Irrigação e Salinidade

(LIS) e da água residuária bruta e após filtragem, no LIS e no Laboratório de Referência em Dessalinização - LABDES/UFCG.

De modo que os parâmetros de potencial hidrogeniônico (pH), sólidos em suspensão (Ss), turbidez, sólidos dissolvidos, ferro (Fe), sulfetos de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), manganês (Mn), concentração de algas e bactérias, foram obtidos em conformidade com as recomendações do Standard Methods (APHA, 2005) e, posteriormente, classificados segundo Nakayama & Bucks (1986).

**Tabela 9.** Parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas utilizadas na irrigação das unidades gotejadoras.

Parâmetros <sup>1</sup>	Unidades	Água de Abastecimento	Água Residuária	
			Bruta	Filtrada
CE	dS m <sup>-1</sup> a 25°C	0,743	1.101	1.073
pH	-	6,58	7,8	8,1
Cor, Unidade Hazen	mg Pt-Co L <sup>-1</sup>	-	103	56
Dureza em Cálcio (Ca <sup>++</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	-	61,8	49
Dureza em Magnésio (Mg <sup>++</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	-	28,6	20,1
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg L <sup>-1</sup>	-	275,3	208,4
Sódio (Na <sup>+</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	2,49	157,7	140,8
Potássio (K <sup>+</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	0,23	25	23,9
Ferro Total	mg L <sup>-1</sup>	-	0,4	4,39
Alcalinidade em Hidróxidos (CaCO <sub>3</sub> )	mg L <sup>-1</sup>	1,27	0,0	0,0
Alcalinidade em Carbonatos	mg L <sup>-1</sup>	-	0,0	52,8
Alcalinidade em Bicarbonatos	mg L <sup>-1</sup>	Presença	362,3	252,4
Alcalinidade Total	mg L <sup>-1</sup>	-	363	305,0
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	3,85	67,5	99,3
Fósforo Total	mg L <sup>-1</sup>	-	20,4	1,0
Cloreto (Cl <sup>-</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	-	160,8	147,7
Nitrato (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	1,76	0,5	0,82
Nitrito (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	1,62	0,0	0,348
Cálcio (Ca)	mg L <sup>-1</sup>	-	4,8	0,46
Magnésio (Mg)	mg L <sup>-1</sup>	-	17,4	3,46
Amônia (NH <sub>3</sub> )	mg L <sup>-1</sup>	-	57,1	37,83
Sílica (SiO <sub>2</sub> )	-	-	49,8	9,1
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	mg L <sup>-1</sup>	-	0,6	0,71
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C)	mg L <sup>-1</sup>	-	1044,9	873,8
Coliformes Totais	-	0,0	>1,01 x 10 <sup>3</sup>	>1,01 x 10 <sup>3</sup>
Escherichia Coli	-	0,0	>1,01 x 10 <sup>3</sup>	0,0
Relação de adsorção de sódio	-	1,92	2,84	3,36
Classe da água		C2	C3	C3

Os resultados dos parâmetros da referida tabela estão sendo avaliados de acordo com os valores padrão apresentados na Tabela 1, referente aos limites de sensibilidade dos emissores quanto ao risco de entupimento, de acordo com a classificação proposta por Bucks *et al.* (1979) e Capra e Scicolone (1998).

#### 4.4 Condução do experimento e procedimento de coleta dos dados

O experimento possui o propósito de analisar os indicadores de desempenho hidráulico de unidades gotejadoras irrigadas com água de abastecimento urbano e água

residuária de esgoto doméstico parcialmente tratado. As avaliações ocorreram a cada 24 horas de funcionamento sendo analisados ao decorrer do experimento 25 eventos de irrigação, de acordo com a metodologia proposta Denículi *et al.* (1980), totalizando 576 horas de funcionamento. Cada unidade gotejadora contou com quatro linhas laterais, de modo que em cada uma foram selecionados 8 gotejadores, totalizando 32 avaliados.

Os dados foram obtidos a partir da coleta dos volumes de água dos emissores selecionados, seguindo a metodologia proposta por Denículi *et al.* (1980), que consistiu na coleta das vazões de oito gotejadores em quatro linhas laterais (A primeira linha, a localizada a 1/3 da origem, a localizada a 2/3 e a última linha). Como a unidade de irrigação em estudo possui quatro linhas laterais, todas foram avaliadas, sendo selecionada a primeira, a que estava a 1/7, 2/7, 3/7, 4/7, 5/7, 6/7 do comprimento da linha lateral e o último emissor.

O processo de coleta dos volumes de água das quatro linhas laterais foi simultâneo, com o auxílio de recipientes de plástico com capacidade para 300 ml, depois os volumes foram aferidos com o auxílio de uma proveta graduada de 100 ml, seguindo a norma ABNT NBR ISO 9261: 2006, que recomenda para avaliação das características hidráulicas e técnicas de emissores um tempo de ensaio superior a 3,5 minutos e no mínimo três repetições, sendo usado no experimento um tempo pré-estabelecido de 5 minutos, admitindo uma defasagem de 20 segundos de um gotejador para outro, com três repetições.

As unidades gotejadoras avaliadas funcionaram com a pressão recomendada pelo fabricante, de 100 kPa, aferida e controlada por meio de dois manômetros de glicerina, um situado na saída da bomba centrífuga e outro ao final de cada unidade gotejadora. Dessa forma, os tratamentos consistiram em dois modelos de fitas gotejadoras irrigadas com água de abastecimento urbano (AAFT e AAFS) e com água residuária de esgoto doméstico tratado (ARFT e ARFS), descritos na tabela seguinte.

**Tabela 5.** Tratamentos analisados no experimento.

Tratamento	Pressão de Serviço (KPa)	Vazão média (-)	Número de ensaios	Modelo
AAFT	100	1,5	25	Tiquira
AAFS	100	1,6	25	Azud Sprint
ARFT	100	1,5	25	Tiquira
ARFS	100	1,6	25	Azud Sprint

1 Água de irrigação proveniente o abastecimento urbano do município de Campina Grande – PB;

2 Água de irrigação residuária de esgoto doméstico tratado.

Com os volumes de água coletados dos emissores foram calculados os seguintes indicadores de desempenho hidráulico: vazão média (Qm), coeficiente de uniformidade

de distribuição (CUD) e grau de entupimento (GE), conforme as equações de 1 a 4, descritas a seguir:

$$q = \frac{V}{1000 \cdot t} \cdot 60 \quad \text{Eq. (1)}$$

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

Em que: CUD – Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (%);  $q_{25\%}$  – vazão média dos 25% menores valores de vazão observada ( $L h^{-1}$ );  $q_m$  – média de todas as vazões ( $L h^{-1}$ ).

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

Para o grau de entupimento (GE) dos gotejadores, foi possível calcular e acompanhar as mudanças nas características hidráulicas ao longo do tempo de funcionamento, gerando uma relação entre a vazão dos gotejadores usados, conforme equação 5:

$$GE = \left( 1 - \frac{q_{usado}}{q_{novo}} \right) \cdot 100 \quad \text{Eq. (3)}$$

Em que: GE – grau de entupimento, %;  $q_{usado}$  – vazão do gotejador usado,  $L h^{-1}$ ;  $q_{novo}$  – vazão do gotejador novo,  $L h^{-1}$ .

**Tabela 6.** Interpretação dos valores de coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e grau de entupimento (GE).

CLASSIFICAÇÃO	CUD <sup>1</sup> (%)	GE <sup>3</sup> (%)
Excelente / Sem entupimento	> 84	<0
Bom /Médio/ Baixo	68 – 84	0 – 10
Razoável / Baixa/ Regular/ Médio	52 – 68	10 – 40
Ruim / Pobre/ Alto	36 – 52	40 – 90
Inaceitável / Muito alto	< 36	90 – 100

Fonte: <sup>1</sup>Mantovani (2001); <sup>2</sup>Morata *et al.* (2014).

#### 4.5 Tratamento dos dados

Após a coleta dos volumes de água dos emissores, os dados foram trabalhados em planilha eletrônica, com os cálculos dos valores de vazão média ( $Q_m$ ), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e grau de entupimento (GE).

Com o auxílio do programa computacional Minitab foi encontrada a estatística descritiva correlacionando os dados obtidos com o tempo de funcionamento e, posteriormente, construídas as cartas de controle estatístico de Shewhart.

#### 4.6 Cartas de controle estatístico de Shewhart

As cartas geradas possuíam o intuito de monitorar o desempenho hidráulico das unidades gotejadoras irrigadas com água de abastecimento urbano e água residuária de esgoto doméstico tratado, para os parâmetros hidráulicos vazão média ( $Q_m$ ), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e grau de entupimento (GE), a partir da determinação dos limites de controle superior (LCS), central (LC) e inferior (LCI) com os valores individuais já obtidos para cada um dos parâmetros de desempenho hidráulico, de acordo com as equações seguintes:

$$LSC = \bar{x} + 3\sigma \quad \text{Eq. 5}$$

$$LSC = \underline{x} - 3\sigma \quad \text{Eq. 6}$$

$$\sigma = MR. (d^2)^{-1} \quad \text{Eq. 7}$$

Em que:

LSC - Limite Superior de Controle;

$\bar{x}$  - Linha central do gráfico de controle e corresponde ao valor médio das vazões;

$\sigma$  - Estimador do desvio-padrão populacional;

$d^2$  - Fator de correção tabelado que depende do tamanho da amostra;

MR - Amplitude amostral média.

### 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 5.1 Estatística descritiva

De acordo com os valores obtidos para Vazão média ( $Q_m$ ), Uniformidade de Distribuição (CUD) e Grau de Entupimento (GE) para cada uma das unidades gotejadoras

compostas por dois modelos de fitas, submetidas a 576h de irrigação com água de abastecimento urbano (AA) e água de residuária de esgoto doméstico parcialmente tratado (AR), calculou-se a estatística descritiva apresentada nas Tabelas 7 e 8.

### 5.1.1 Estatística descritiva e Teste de Normalidade das unidades gotejadoras operando com água de abastecimento urbano

Na Tabela 7 se encontra a estatística descritiva dos parâmetros hidráulicos avaliados para os tratamentos AAFT (Unidade de irrigação operando com água de abastecimento urbano e fita gotejadora Tiquira) e AAFS (Unidade de irrigação operando com água de abastecimento e fita gotejadora Azud Sprint) ao decorrer de 576h de funcionamento.

**Tabela 7.** Estatística descritiva dos parâmetros hidráulicos analisados, incluindo o Teste de Normalidade de Anderson-Darling para o tratamento AAFT (água de abastecimento Fita Tiquira) e AAFS (água de abastecimento Fita gotejadora Azud Sprint) ao longo das 576 h de funcionamento.

	Parâmetros Hidráulicos	Média	DP	Var	CV	Mín.	Máx.	Teste de Normalidade (Anderson-Darling)	
								P-valor	Normal
AAFT	Qm (L h <sup>-1</sup> )	1,500	0,141	0,020	9,410	1,238	1,773	0,165	Sim
	CUD (%)	23,430	9,280	86,100	39,610	10,140	48,640	0,071	Sim
	GE (%)	9,370	8,290	68,680	88,470	-6,790	25,390	0,070	Sim
AAFS	Qm (L h <sup>-1</sup> )	1,422	0,101	0,010	7,130	1,226	1,604	0,090	Sim
	CUD (%)	82,200	9,480	89,850	11,530	59,700	95,050	<0,005	Não
	GE (%)	11,110	6,340	40,220	57,070	-0,280	23,340	0,090	Sim

DP – Desvio padrão; Var – Variância; CV – Coeficiente de variação; Valor mínimo; Valor máximo; Qm – Vazão média; CUD – Coeficiente de uniformidade de distribuição GE – Grau de entupimento.

Averiguando o valor de Vazão Média (Qm) nota-se que, os resultados dos tratamentos AAFT e AAFS se aproximam dos valores da vazão nominal contidos nos catálogos disponibilizados pelos respectivos fabricantes (FT = 1,5 L h<sup>-1</sup> e FS = 1,6 L h<sup>-1</sup>). Com relação aos valores de vazão, as unidades gotejadoras apresentaram um pequeno decréscimo nos valores médios, em função de um maior tempo de uso, mostrando que as vazões médias em relação a inicial não diferiram muito durante o período avaliado.

Ainda na tabela 7, os desvios padrões para os valores de Qm em ambos os tratamentos (AAFT e AAFS) foram baixos, sendo possível afirmar que houve estatisticamente, uma pequena variabilidade entre os valores das médias, resultados semelhantes aos de Gonçalves et al. (2013), em que nas mesmas condições, o desvio padrão demonstrou um comportamento de pouca variabilidade dos dados.

No que se refere aos valores de Coeficientes de variação para o tratamento AAFT o valor foi de 9,41%, já para o tratamento AAFS de 7,13 sendo considerados “Razoáveis”, diante de uma dispersão em termos relativos em função da média, de acordo com a classificação proposta por Borssoi et al. (2012), que classifica os valores de (CV < que 5 “excelente”, 5–7 “Bom”, e 7-11 como “Razoável” e > que 15 “Inaceitável”).

Os parâmetros de desempenho hidráulico das unidades gotejadores irrigadas com água de abastecimento urbano, Tabela 7, mostram que, ao final das 576 h de funcionamento o valor do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) foi de 23,43% para a fita gotejadora FT, sendo classificado como “Inaceitável”, já para a fita gotejadora FS de 82,20% considerado “Bom”. Segundo a metodologia de Mantovani (2001), o valor desse coeficiente é inferior ao valor convencional de 84%, o que o torna a sua classificação como “Bom”, proporcionando uma distribuição mais uniforme.

Para o parâmetro de grau de entupimento (GE) dos emissores Tabela 7, o valor obtido para a fita gotejadora FT foi de 9,37% sendo considerado “Baixo”, e para a fita gotejadora FS de 11,11%, “Médio”, de acordo com Morata et al. (2014). No que se refere aos resultados da aplicação do teste de normalidade de Anderson-Darling, apenas o parâmetro hidráulico coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) para a fita gotejadora FS apresentou distribuição não normal.

### **5.1.2 Estatística descritiva e Teste de Normalidade das unidades operando com água de residuária proveniente de esgoto doméstico parcialmente tratado**

Na Tabela 8 consta a análise da estatística descritiva dos parâmetros hidráulicos das unidades de irrigação por gotejamento operando com água residuária proveniente de esgoto doméstico parcialmente tratado por 576h. É possível verificar que, o valor obtido para Vazão média ( $Q_m$ ) para o tratamento ARFT, apresentou uma vazão inferior à indicada pelo catálogo de  $1,5 \text{ L h}^{-1}$ . Pois, houve no decorrer do tratamento uma maior redução nos valores médios, em função de um maior tempo de uso e por estar trabalhando com água de qualidade inferior. Os resultados corroboram com os apresentados por Paiva (2021), em que no início do processo ocorreu a obstrução e a dilatação do material de composição do emissor nos momentos das avaliações.

**Tabela 8.** Análise da estatística descritiva dos parâmetros hidráulicos analisados, incluindo o Teste de Normalidade de Anderson-Darling, para os tratamentos ARFT

(Irrigação com água residuária de esgoto doméstico tratado e Fita gotejadora Tiquira) e ARFS (Irrigação com água residuária de esgoto doméstico tratado e Fita gotejadora Azud Sprint) ao longo das 576h de funcionamento.

		<b>Teste de Normalidade (Anderson-Darling)</b>							
	<b>Parâmetros Hidráulicos</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>Var</b>	<b>CV</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>	<b>P-valor</b>	<b>Normal</b>
<b>ARFT</b>	<b>Qm (L h<sup>-1</sup>)</b>	0,945	0,275	0,076	29,100	0,578	1,793	<0,005	Não
	<b>CUD (%)</b>	16,690	17,950	322,140	107,550	0,000	70,590	<0,005	Não
	<b>GE (%)</b>	47,220	15,360	235,820	32,520	0,150	67,610	<0,005	Não
<b>ARFS</b>	<b>Qm (L h<sup>-1</sup>)</b>	1,249	0,179	0,032	14,320	0,817	1,593	0,352	Sim
	<b>CUD (%)</b>	48,970	29,890	893,440	61,040	4,560	95,940	0,259	Sim
	<b>GE (%)</b>	21,930	11,180	125,000	50,990	0,450	48,930	0,352	Sim

DP – Desvio padrão; Var – Variância; CV – Coeficiente de variação; Valor mínimo; Valor máximo; Qm – Vazão média; CUD – Coeficiente de uniformidade de distribuição GE – Grau de entupimento.

Já para o tratamento ARFS, os valores da Vazão média (Qm) tiveram grandes alterações ficando inferiores a vazão contida no catálogo do fabricante de 1,6 L h<sup>-1</sup> tendo ao longo do tratamento um diferencial no decréscimo de vazões. Desse modo, é possível afirmar que entre as unidades gotejadoras analisadas, a equivalente ao tratamento ARFT sofreu os maiores danos ao utilizar água residuária proveniente de esgoto doméstico tratado na irrigação.

Quanto aos valores de Desvio Padrão (DP), Tabela 8, nota-se que foram baixos, com uma pequena variabilidade entre os valores das médias. No entanto, o valor de (CV= 29,10% para a Vazão média (Qm) do tratamento ARFT, pode ser classificado como “Inaceitável”, com uma grande variabilidade de dispersão entre os valores da média, ultrapassando o valor recomendado pela norma ABNT NBR ISO 9261 (2006), o que pode ser atribuído ao uso da água residuária na irrigação. Já para o tratamento ARFS, o valor de CV encontrado foi de 14,32%, sendo considerado “Ruim”, de acordo com Borssoi et al. (2012).

Segundo Mantovani (2001), o valor obtido de Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) de 16,69% para o tratamento ARFT pode ser classificado como



“Inaceitável”, e para o tratamento ARFS o valor de 48,97% como “Ruim”. Tais resultados concordam com os de Santos et al. (2017) que avaliando a irrigação por gotejamento, operando com água residuária tratada, encontraram o valor inaceitável para o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição.

O valor médio do Grau de Entupimento (GE) para o tratamento ARFT de 47,22% pode ser classificado como “Alto”, já para o tratamento ARFS o valor médio de GE foi de 21,93%, como “Médio”, segundo a classificação proposta por Morata et al. (2014). Os autores Dalri et al. (2014) ressaltam que, não há grave entupimento dos emissores quando o valor do GE é inferior a 40%. Já para os resultados da aplicação do teste de normalidade de Anderson-Darling, foi possível verificar para o tratamento ARFT que os valores obtidos não apresentaram uma distribuição normal, enquanto que para o tratamento ARFS os dados seguiram um padrão de normalidade.

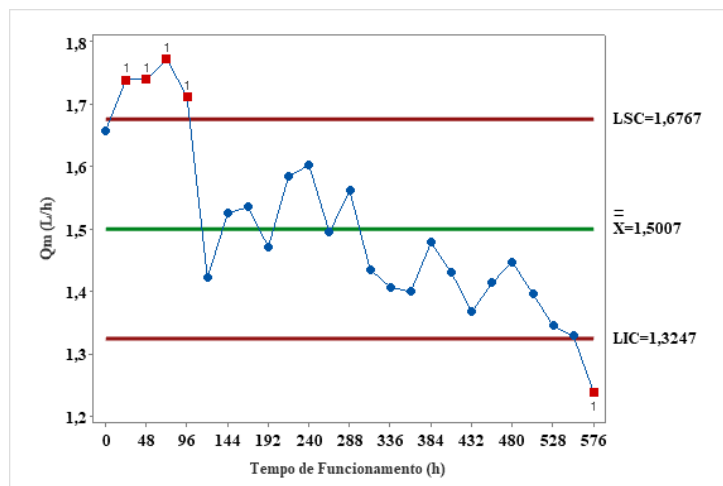
## **5.2 Controle estatístico de qualidade**

### **5.2.1 Aplicação do controle estatístico de qualidade nas unidades gotejadoras com água de abastecimento urbano**

#### **5.2.2 Vazão média**

A Figura 4 apresenta a carta de controle estatístico de qualidade de Shewhart, para os valores de Vazão Média ( $Q_m$ ) do tratamento AAFT (Água de irrigação oriunda do abastecimento urbano e Fita gotejadora Tiquira), ao decorrer de 25 ensaios realizados em 576h de funcionamento. Há um deslocamento de quatro pontos acima do Limite Superior de Controle (LSC) nos ensaios entre 24h e 96h (Ensaio 2 ao 4), constatando que, as fitas gotejadoras FT em estado de novo alcançaram um valor de vazão média de 2,4 L h<sup>-1</sup>. Resultados semelhantes aos obtidos por Souza (2022) que descreve em seus ensaios vazões médias acima da informada pelo fabricante da fita de gotejadora de 2,4 L h<sup>-1</sup>. De acordo com Melo (2022), a presença de pontos extrapolando o LSC na situação estudada não implica em problemas no processo de irrigação. Todavia, na prática o ideal é que o valor médio da vazão se mantenha próximo do valor nominal que é fornecido no catálogo dos fabricantes.

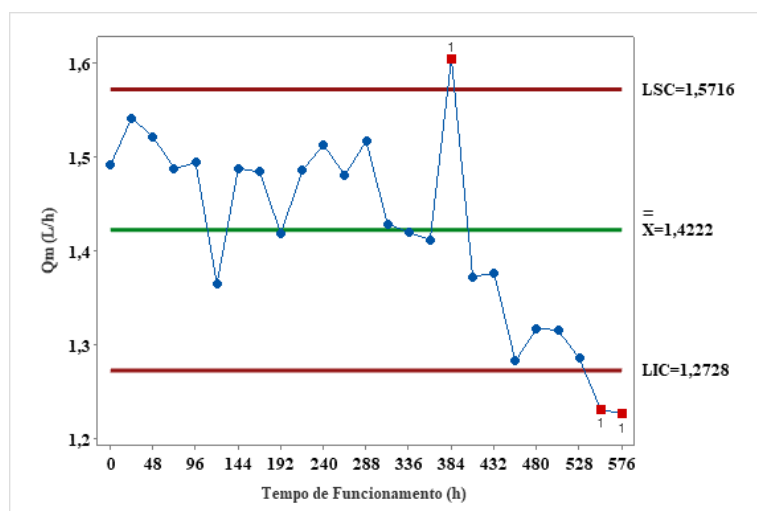
**Figura 4.** Carta de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para o parâmetro hidráulico Vazão Média ( $Q_m$ ) para o tratamento AAFT (Água de irrigação oriunda do abastecimento urbano e Fita gotejadora Tiquira) ao longo de 576h de funcionamento da unidade de irrigação.



Além disso, a partir das 120h os valores de  $Q_m$  passam a ficar situados abaixo da Linha Média ( $\bar{X}=1,5 \text{ L h}^{-1}$ ) em uma sequência de 14 e um ponto chegando a ultrapassar o Limite Inferior de controle (LIC) às 576h indicando que, o processo estava fora de controle necessitando de correções para retornar ao funcionamento correto. Esse fato pode ter ocorrido em função de pequena desestabilização da pressão de serviço, acarretando em um ponto fora do limite de controle (SILVA, 2014). Tal comportamento também foi descrito por Gomes (2017), ao detectar a falta de controle do processo a partir de valores de vazão fora do Limite Inferior de Controle (LIC).

Em relação ao tratamento AAFS (Água de irrigação oriunda do abastecimento urbano e Fita gotejadora Azud Sprint) observa-se na carta de controle estatístico de qualidade de Shewhart (Figura 5), a presença de um ponto fora do limite superior de controle às 384h (Ensaio 17) e a permanência de uma maior quantidade de pontos em torno da linha média. Sendo identificada uma perda gradativa nos valores de vazão, com início às 456h, e presença de pontos fora do Limite Inferior de Controle (LIC) a partir de 552h de funcionamento (Ensaio 24) da unidade de irrigação, exatamente como os encontrados por Gomes et al. (2020), que afirmam que quando a vazão está abaixo do LIC as causas podem estar ligadas a diversos fatores, entre eles, o desgaste ou a deterioração dos materiais utilizados na irrigação.

**Figura 5.** Carta de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para o parâmetro hidráulico Vazão Média ( $Q_m$ ) do tratamento AAFS (Água de irrigação oriunda do abastecimento urbano e Fita gotejadora Azud Sprint) ao longo de 576h de funcionamento.



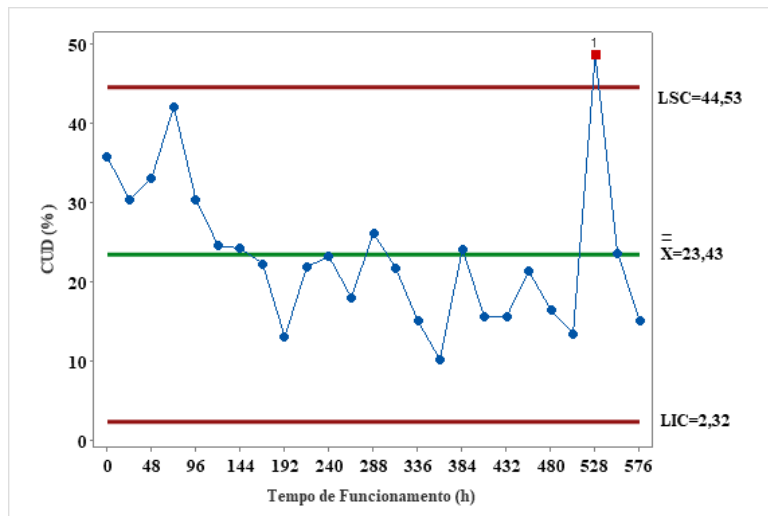
Assim, é possível localizar tendências decrescentes e crescentes que podem ser consideradas como fatores indesejáveis na análise e indícios de falta de controle do processo. Os resultados obtidos no estudo corroboram com Mercante et al. (2014), que observaram pontos acima da linha de controle com aplicação de gráficos de controle para os parâmetros de vazão dos gotejadores. Segundo Montgomery (2013), quando sete ou mais pontos em sequência estão abaixo ou acima da linha média, configura uma tendência de dados que representam um indicativo de falta de controle estatístico, diante de um deslocamento de nível dos processos.

### 5.2.3 Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)

Na carta de controle estatístico de Shewhart para os valores do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) para o tratamento AAFT (Água de irrigação oriunda do abastecimento urbano e Fita gotejadora Tiquira), a partir das 168h a maioria dos pontos passaram a ficar situados abaixo da linha média ( $\bar{X} = 23,43\%$ ), e apenas nove acima da linha média ao longo do período em estudo. De acordo com Montgomery (2013), o comportamento sinaliza um alerta para falhas no processo, que por sua vez, indicam posterior falta de controle. Ferreira (2015) também menciona tal comportamento, em unidades gotejadoras ao serem irrigadas com água de abastecimento urbano. Ademais, analisando o CUD médio estimado ao longo do tempo experimental, o valor obtido pode ser classificado como “Inaceitável” de acordo com a classificação proposta por Mantovani (2001).

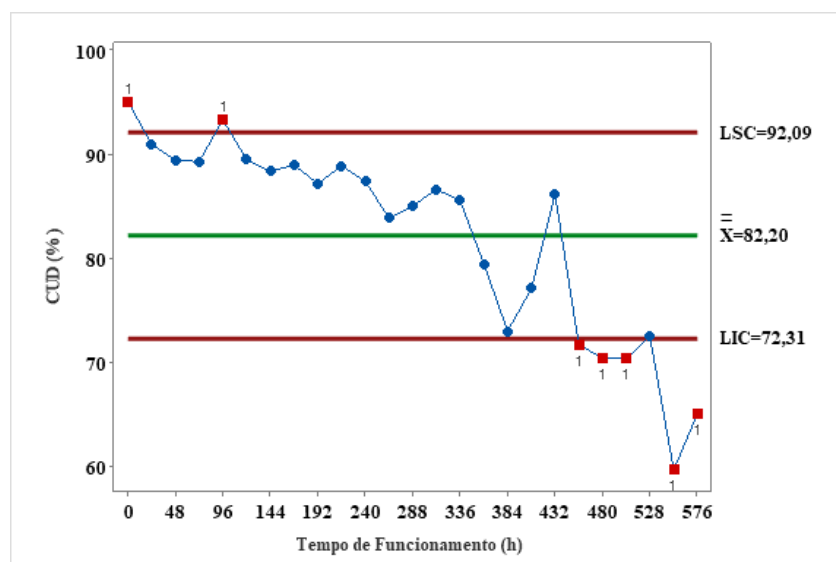
**Figura 6.** Carta de Controle estatístico de qualidade de Shewhart do parâmetro hidráulico Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) para o tratamento AAFT (Água de

irrigação oriunda do abastecimento urbano e Fita gotejadora Tiquira) ao longo de 576h de funcionamento.



Já para o tratamento AAFS (Água de irrigação oriunda do abastecimento urbano e Fita gotejadora Azud Sprint) a partir da análise da carta de controle estatístico apresentada na Figura 7, é possível notar dois pontos acima do Limite Superior de Controle (LSC) logo no início de período experimental. Em uma situação semelhante, de acordo com Frigo (2012) valores acima do LSC devem ser considerados aceitáveis, pois, quanto maiores os valores desse coeficiente, melhor será a irrigação. Segundo Gomes et al. (2020), esse comportamento de aumento de pressão pode ser pelo fenômeno da dilatação das fitas gotejadoras, que provoca pequenas declividades ao longo da bancada de ensaio, fazendo com que as gotas emitidas por alguns emissores escoassem às proximidades dos emissores a jusante, aumentando os volumes obtidos. De acordo com Reisdorfer (2013), isso é um problema frequente na irrigação por gotejamento, por conta da instalação das linhas laterais em aclave ou declive.

**Figura 7.** Carta de Controle estatístico de qualidade de Shewhart do parâmetro hidráulico Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) para o tratamento AAFS (Água de irrigação oriunda do abastecimento urbano e Fita gotejadora Azud Sprint) ao longo de 576h de funcionamento.

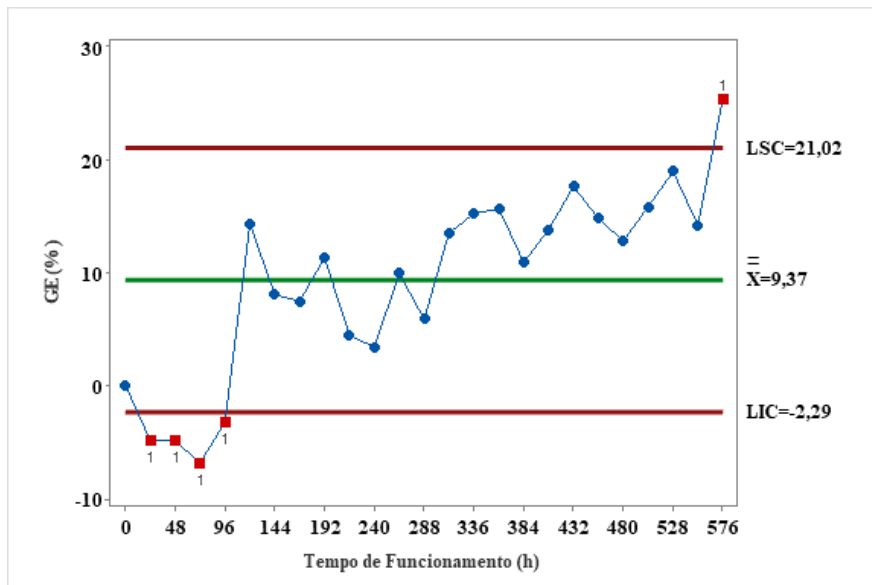


Ainda sobre a Figura 7, há presença de 14 pontos acima da linha média até às 336h e cinco pontos situados abaixo do Limite Inferior de Controle (LIC) durante o período de 456h a 576h de funcionamento da unidade (Ensaio 20 ao 25). Fato que pode ser atribuído, possivelmente, a uma variação da pressão de operação da unidade durante o ensaio. Além disso, o valor médio do CUD encontrado para a AAFS foi de 82,20%, com LSC de 92,09% e LIC de 72,31%, possibilitando que o valor médio de CUD seja considerado “Bom”, segundo a classificação proposta por Mantovani (2001). Para Guimarães (2019), a avaliação da irrigação é uma etapa significativa para adquirir as informações relacionadas à eficiência de uso da água com uma melhor uniformidade de distribuição, tendo sempre no decorrer do funcionamento do sistema a necessidade de manutenção para uma melhor aplicação de água.

#### 5.2.4 Grau de entupimento (GE)

Com base na carta de controle estatístico de Shewhart, Figura 8, para o parâmetro hidráulico Grau de Entupimento (GE) no tratamento AAFT (Água de irrigação oriunda do abastecimento urbano e Fita gotejadora Tiquira), percebe-se logo nos ensaios iniciais quatro pontos posicionados abaixo do Limite Inferior de Controle (LIC) no período de 24h à 96h (Ensaio 2 ao 4). Todavia, esse deslocamento de pontos não é considerado ruim para o processo, pois analisando os valores não há entupimento dos emissores ( $GE < 10\%$ ). Existe para o tratamento uma tendência de pontos tanto acima como abaixo da linha média indicando, de acordo com Montgomery (2013), um deslocamento do nível do processo com uma sequência de pelo menos sete pontos consecutivos de um dos lados da linha média.

**Figura 8.** Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para o Grau de Entupimento (GE) da unidade gotejadora estudada, ao longo de 576h de funcionamento.

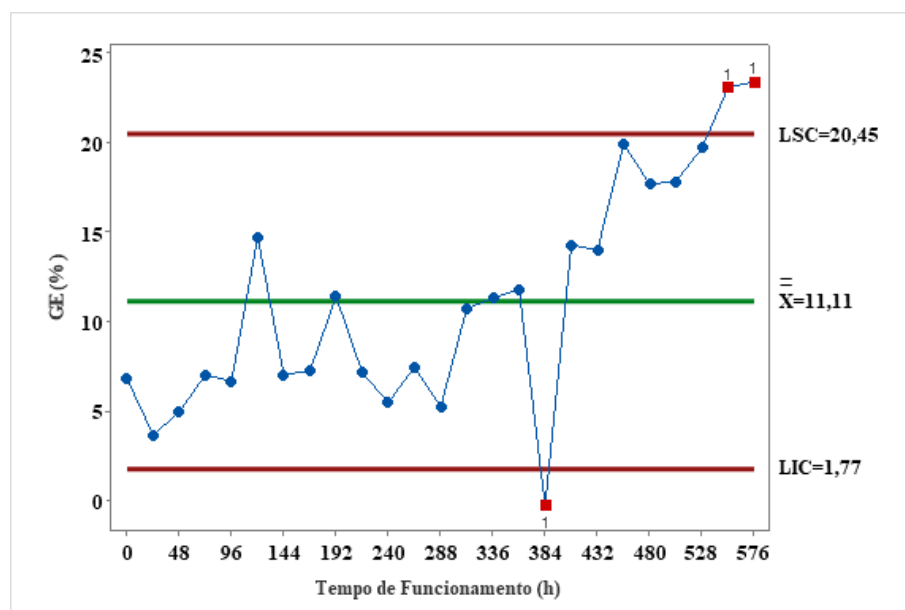


Há também um ponto extrapolando o Limite Superior de Controle (LSC) no (Ensaio 25) realizado às 576 horas de funcionamento da unidade de irrigação, segundo a classificação proposta por Morata *et al.* (2014) esse valor ( $GE_{576h} = 21,02\%$ ) pode ser classificado como “Médio”, indicando que há indícios de entupimento dos emissores. Entretanto, o valor médio do GE para o tratamento AAFT ao longo do período de estudo foi de 9,37%, classificado como “Baixo”, com limites de controle superior de 21,02% e inferior de 2,29%. Segundo Testezlaf (2017), os problemas mais comuns de entupimento, estão relacionados ao tratamento inadequado da água de irrigação, acarretando a obstrução dos emissores e diminuindo a disponibilidade de operação do sistema por causa da necessidade de limpeza da tubulação e/ ou reposição dos emissores.

Para o parâmetro Grau de Entupimento (GE) do tratamento AAFS (Água de irrigação oriunda do abastecimento urbano e Fita gotejadora Azud Sprint), nota-se na carta de controle estatístico de Shewhart, contida na Figura 9, uma maior quantidade de pontos localizados abaixo da linha média do primeiro ensaio até o 14<sup>o</sup> (0h as 312h), com um ponto ultrapassando o limite inferior de controle no Ensaio 17 (384h) podendo ter ocorrido um escoamento da água de outro emissor ou uma variação de pressão de serviço (SILVA, et al., 2014), no momento da avaliação. A partir do Ensaio 17 houve também uma dispersão de pontos acima da linha média, chegando ao final da análise com dois pontos extrapolando o Limite Superior de Controle nos Ensaios 24 e 25 (552h às 576h),

a partir daí, de acordo com a classificação de Morata *et al.* (2014) os valores são classificados como “Médios”. Entretanto, vale ressaltar que, embora o Grau de Entupimento tenha sido considerado “Médio” é necessária uma atenção constante quanto ao funcionamento dos equipamentos de irrigação. De acordo com Zhang *et al.* (2017), o entupimento dos emissores tem um impacto direto no desempenho e na vida útil de um sistema de irrigação por gotejamento.

**Figura 9.** Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart do Grau de Entupimento (GE) o tratamento AAFS (Água de irrigação oriunda do abastecimento urbano e Fita gotejadora Azud Sprint) ao longo de 576h de funcionamento.



Segundo Carmo *et al.* (2016), a redução do entupimento dos gotejadores pode ser atribuída à baixa concentração de oxigênio dissolvido no efluente, o que diminui a produção de subprodutos da atividade microbiana e, conseqüentemente, a formação de biofilme que é o principal obstáculo da irrigação localizada.

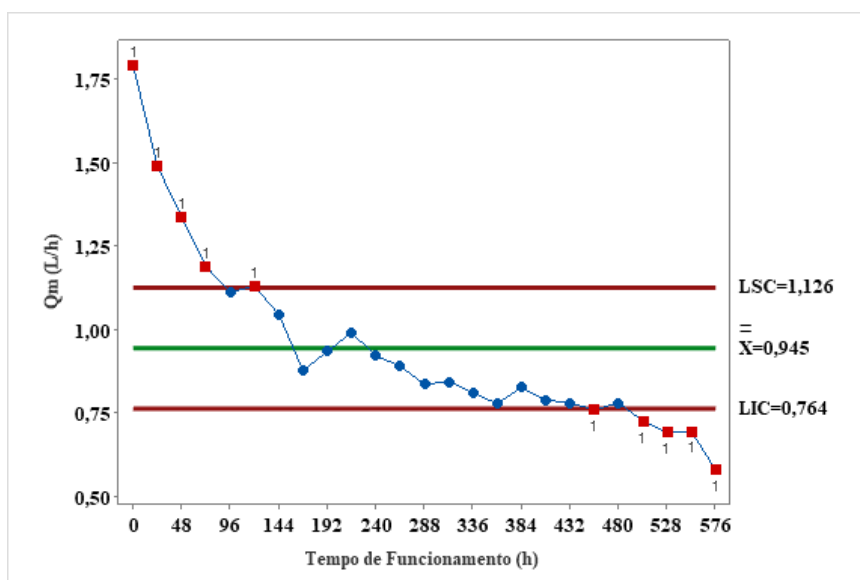
## 5.2.4 Aplicação do controle estatístico de qualidade nas diferentes unidades gotejadoras operando com água de residuária de esgoto doméstico parcialmente tratado

### 5.2.4.1 Vazão (Qm)

A Figura 10 mostra a carta de controle estatístico de Shewhart para o parâmetro Vazão Média (Qm) referente ao tratamento ARFT (Água residuária de esgoto doméstico parcialmente tratado e Fita gotejadora Tiquira) ao longo do período em estudo. Há pontos acima do limite superior de controle do primeiro ao sexto ensaio, fato que pode ter ocorrido devido a um acréscimo da lâmina de água coletada, resultante do escoamento de

água de outro emissor. Segundo Gomes (2017), o acréscimo do valor de vazão pode ser atribuído a um deslocamento da mucilagem que é gerada no interior do emissor dentro da linha lateral.

**Figura 10.** Carta de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para a Vazão Média ( $Q_m$ ) referente ao tratamento ARFT (Água residuária de esgoto doméstico e Fita gotejadora Tiquira) ao longo de 576h de funcionamento.



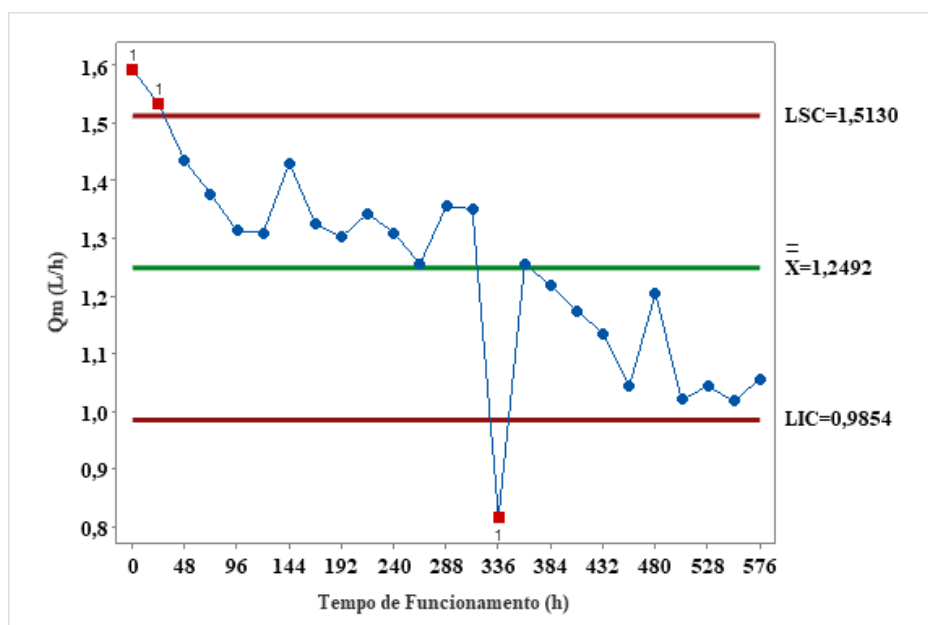
As vazões seguem uma sequência ou tendência de valores decrescentes que excedem as linhas médias em direção ao Limite de Controle Inferior, a partir das 456 horas (Ensaio 20 ao 25), indicando de acordo com Montgomery (2016), uma tendência de pontos com um deslocamento do nível, evidenciando que o processo está fora de controle, fato que pode ter ocorrido devido a ação do tempo e/ou ao surgimento de fissuras nas fitas gotejadoras de maneira aleatória.

Em relação ao tratamento ARFS, verifica-se na Carta de Controle estatístico de qualidade de Shewhart da Figura 11, a presença de dois pontos posicionados acima do Limite Superior de Controle (LSC) nos dois primeiros ensaios, o que pode ser atribuído a ocorrência de uma variação de pressão no ponto de coleta, resultado em um acréscimo na lâmina de água coletada, conforme Silva (2014). Bem como, há uma dispersão dos pontos que se iniciam acima da linha média e vão decrescendo com o passar do tempo de funcionamento, com uma queda gradativa da vazão, fazendo com que seja possível detectar problemas no funcionamento dos emissores. De acordo com Nascimento (2016), essa maior frequência de valores abaixo da média contribui para explicar problemas de obstrução dos emissores. Andrade et al. (2017) ao analisarem a uniformidade da vazão a



partir do controle estatístico de qualidade detectaram uma tendência de sete pontos abaixo da linha média, indicando tendência e falta de controle estatístico.

**Figura 11.** Carta de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para a Vazão Média ( $Q_m$ ) referente ao tratamento ARFS (Água residuária de esgoto doméstico e Fita gotejadora Azud Sprint) ao longo de 576h de funcionamento.



Apenas um ponto ultrapassou o Limite Inferior de Controle (LIC) às 336h de funcionamento (Ensaio 15). Os autores Hermes et al. (2015), verificando a irrigação por gotejamento, com base nos gráficos de controle de Shewhart, verificaram valores abaixo do limite inferior de controle, definindo o sistema como fora de controle estatístico de qualidade, conforme ao ocorrido neste experimento.

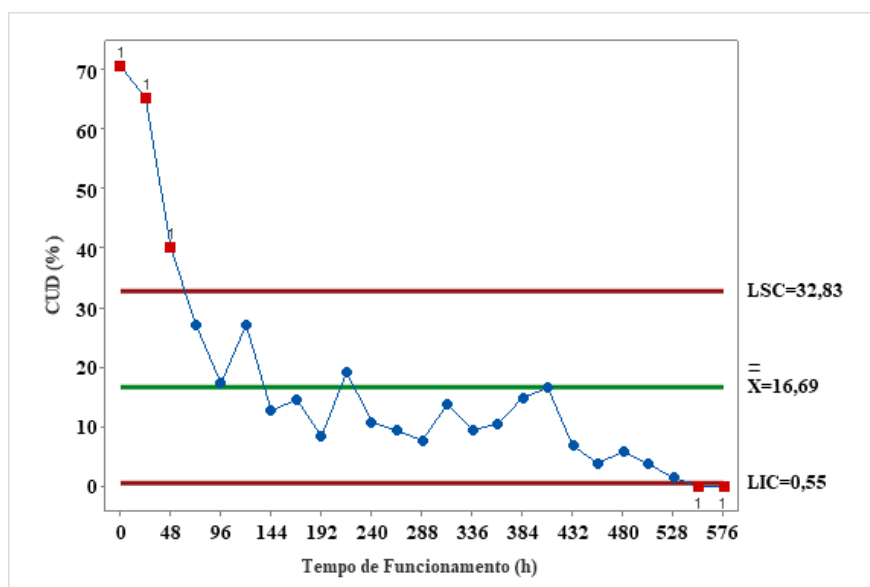
Ainda observando a Figura 11, os valores de vazões médias para o tratamento ARFT de 0,94% e para o tratamento ARFS de 1,24%, ambos com água residuária de esgoto urbano bruto, apresentaram variações em suas vazões médias.

Dessa forma, as duas unidades operacionais tiveram decréscimo nos valores da vazão, em comparação aos valores fornecidos pelos fabricantes em seus catálogos e ao serem irrigados apenas com água de abastecimento urbano. Resultados em conformidade com os encontrados por Gomes et al. (2020) e Ferreira (2015), que ao trabalharem com água residuária na irrigação perceberam que o efeito gradativo da água residuária ocasionou a diminuição da vazão em ambas unidades gotejadoras.

### 5.2.4.2 Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)

Na Figura 12 se encontra a carta de controle estatístico de Shewhart para os valores individuais do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) para o tratamento ARFT (Água residuária de esgoto doméstico parcialmente tratado e Fita gotejadora Tiquira). A partir das 144 horas (Ensaio 7) ocorre uma sequência de valores de CUD localizados abaixo da linha média, com apenas sete pontos situados acima dessa linha ao longo de todo o período de ensaio. Com a extrapolação do Limite Inferior de Controle (LIC) a partir das 552h de irrigação.

**Figura 12.** Carta de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para a coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) para o tratamento ARFT (Água residuária de esgoto doméstico e Fita gotejadora Tiquira), ao longo de 576h.

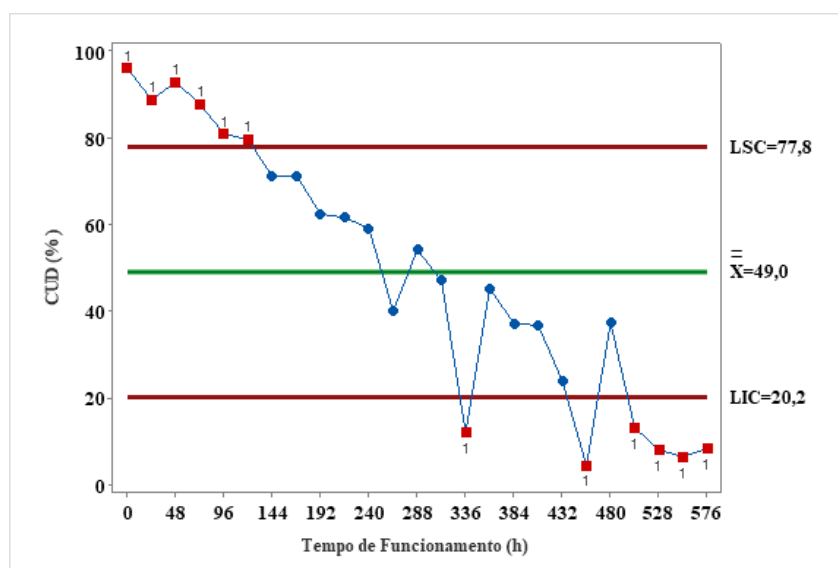


Ainda analisando a Figura 12, o valor médio do CUD estimado ao longo do período experimental foi de 16,69%, classificado como “Inaceitável”, segundo Mantovani (2001), com limites de controle superior de 32,83% e inferior de 0,55%, como os resultados obtidos por Gomes et al. (2020) que ressaltam que gotejadores de diferentes fabricantes podem apresentar valores de CUD desiguais, quando realizam aplicação de água residuária de estação de tratamento de esgoto, comparando com os valores obtidos apenas com água de abastecimento. Segundo Song et al. (2017), o uso de água residuária é a principal causa de entupimento dos gotejadores, gerando uma bioincrustação nos dispositivos internos dos emissores, prejudicando os indicadores de desempenho hidráulico, resultando na alteração da vazão com o aumento ou redução e,

consequentemente, afetando a Uniformidade de Distribuição do sistema de irrigação exigindo manutenções com maior frequência.

Para o parâmetro hidráulico Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) referente ao tratamento ARFS (Água residuária de esgoto doméstico e Fita gotejadora Azud Sprint) ao longo de 576h de funcionamento, é possível verificar na Figura 13, uma sequência de pontos acima e abaixo da linha média. Há também pontos extrapolando o Limite Superior de Controle (LSC) de 0h até às 120h (Ensaio 0 ao 6) e o Limite Inferior de Controle (LIC) a partir das 336h (Ensaio 15 ao 25), o que demonstra um comportamento crescente e decrescente, indicando uma uniformidade abaixo da desejada, o que pode ser atribuído ao desgaste da unidade de irrigação ao longo do tempo de funcionamento, que segundo Montgomery (2013) indicam a falta de controle do processo.

**Figura 13.** Carta de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para a coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) para o tratamento ARFT (Água residuária de esgoto doméstico e Fita gotejadora Azud Sprint), ao longo de 576h.



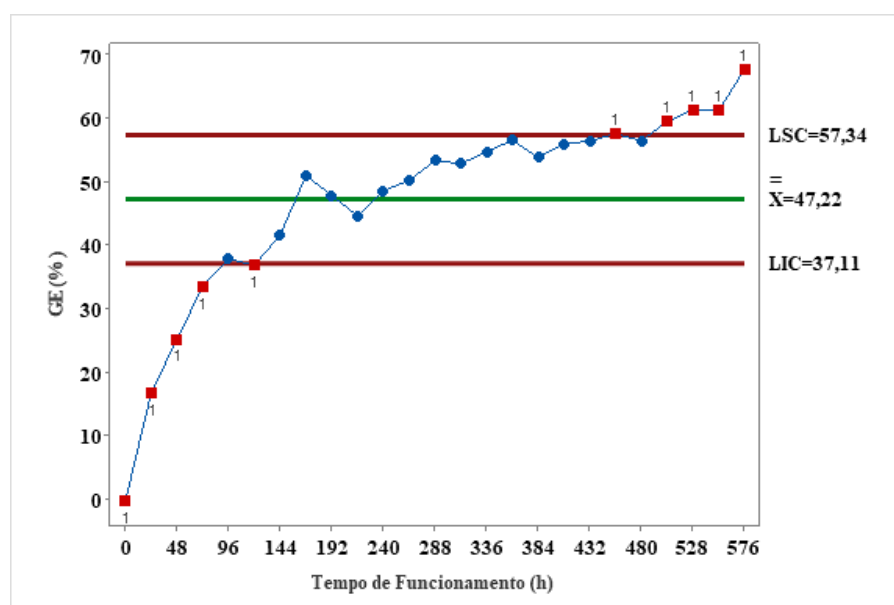
Ainda com base na Figura 13, quanto aos valores obtidos para o CUD, e considerando a classificação proposta Mantovani (2001), a partir do valor médio de 49,0%, pode ser classificado como “Ruim”. Corroborando com SANTOS et al. (2017), que ao estudarem sobre água residuária tratada em um sistema de irrigação por gotejamento, além de constatarem que houve uma redução em todos os parâmetros hidráulicos avaliados, o valor médio obtido para o CUD também foi classificado como “Ruim”. Resultados parecidos aos de Batista et al. (2008), ao pesquisarem sobre o comportamento dos parâmetros hidráulicos após irrigação com esgoto doméstico tratado.

E também com Leroy (2022), que utilizou diferentes concentrações de água residuária tratada e observou que o aumento dos percentuais de água residuária tratada, pode influenciar negativamente na uniformidade do sistema de irrigação a longo prazo.

### 5.2.4.3 Grau de entupimento (GE)

A figura 14 expõe a carta de controle estatístico de qualidade de Shewhart para os valores individuais do parâmetro Grau de Entupimento (GE) para o tratamento ARFT (Água residuária de esgoto doméstico parcialmente tratado e Fita Gotejadora Tiquira). Com base nela é possível notar no início dos ensaios cinco pontos localizados abaixo do Limite Inferior de Controle (LIC) de 0h às 120h (Ensaio 0 ao 6), ou seja, indícios de entupimento dos emissores, já que o valor do Grau de Entupimento ficou próximo de 40% às 120h e de acordo com Morata et al. (2014) classificado como “Médio”. A partir do ensaio executado às 168h (Ensaio 8) há uma sequência de 12 pontos posicionados acima da linha média, indicando segundo Montgomery (2013), um deslocamento do nível do processo. Além de cinco pontos acima do Limite Superior de Controle a partir das 432h até às 576h (Ensaio 19 ao 25) de funcionamento da unidade, de modo que, como apontam Morata *et al.* (2014) o valor de  $GE_{432h}=56,36\%$  já é considerado como “Alto”.

**Figura 14.** Carta de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para o Grau de Entupimento (GE) para o tratamento ARFT (Água residuária de esgoto doméstico e Fita gotejadora Tiquira ao longo de 576h).

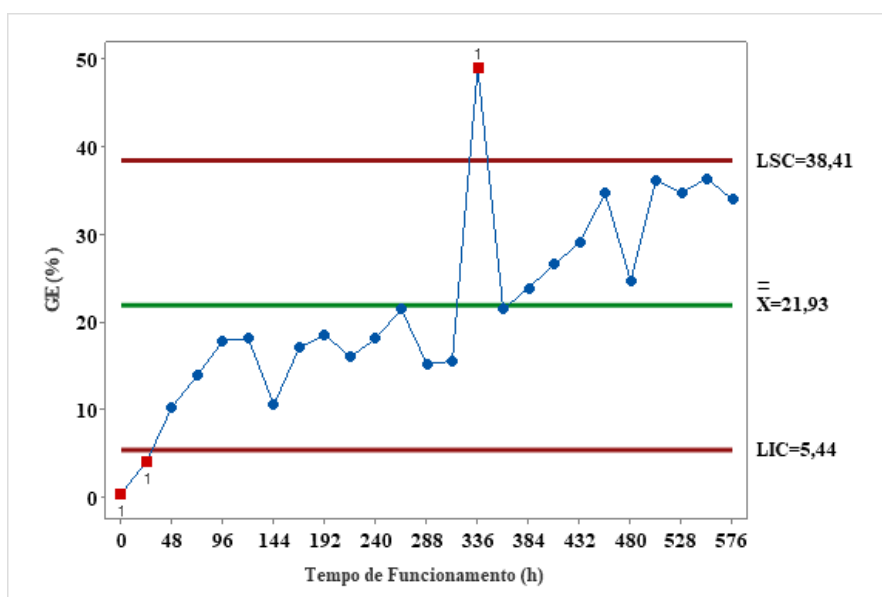


Na Figura 13, o valor médio de GE estimado ao longo do período experimental de 47,22%, segundo Morata *et al.* (2014) pode ser classificado como “Alto”, com limite de controle superior de 57,34% e limite de controle inferior de -37,11%.

Autores como Silva *et al.* (2014a) destacam que, uma maior suscetibilidade ao entupimento do gotejador pode estar associada ao maior comprimento de labirinto e também a menor vazão, nessas condições a velocidade do escoamento do efluente no interior do emissor é menor, podendo favorecer tanto a deposição de partículas quanto a adesão de bactérias formadoras de biofilme. Assim, o parâmetro Grau de Entupimento pode apresentar valores positivos, que são resultantes de problemas de entupimento que ocasionaram redução na vazão, ou valores negativos, que são originários do aumento da vazão em consequência de problemas de obstrução (Reis *et al.* 2021).

No tratamento ARFS, a partir da análise da Carta de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para o Grau de Entupimento (GE) (Figura 15), existem dois pontos extrapolando o Limite Inferior de Controle (LIC) de 0h até 24h (Ensaio 0 ao 2). Todavia, esse ocorrido logo no início da pesquisa não é ruim para o processo, pois os valores indicam que não há entupimento nos emissores ( $GE < 10\%$ ).

**Figura 15.** Carta de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para o Grau de Entupimento (GE) para o tratamento ARFS (Água residuária doméstica e Fita gotejadora Azud Sprint) ao longo de 576h.



A partir daí, ocorre uma queda gradativa de vazão com uma dispersão de pontos abaixo da linha média de 48h até 312h (Ensaio 3 ao 14), e apenas um ponto extrapolou o

Limite Superior de Controle (LSC) às 336h (Ensaio 15), refletindo problemas ocasionados às unidades gotejadoras pelo uso de água residuária de esgoto doméstico tratado com uma possível ocorrência de entupimento dos emissores. Já a partir das 384h até 576h (Ensaio 17 ao 25), os pontos ultrapassaram a linha média em direção ao Limite Superior de Controle (LSC), comportamento que de acordo com Melo (2022) deve ser ressaltado, por esses valores indicarem altas alterações nos graus de entupimento das unidades gotejadoras avaliadas. Relativo ao valor médio de GE, referente a 21,93%, pode ser classificado como “Médio”, conforme Morata *et al.* (2014). Tendo com limite de controle superior de 38,41% e limite de controle inferior de 5,44%, tendo para Montgomery (2013), uma falta de controle estatístico nos processos, pela presença de sequências ou tendências de valores acima ou abaixo das linhas médias.

Nesse sentido, Almeida (2019) ressalta que, o entupimento de emissores é o principal problema na irrigação por gotejamento superficial e subsuperficial, ocasionando a redução do crescimento das plantas e perdas econômicas. De acordo com Silva *et al.* (2019), o potencial de entupimento dos gotejadores varia conforme a qualidade da água utilizada na irrigação, relacionando os aspectos físicos, químicos e biológicos e com as características do emissor.

Vale ressaltar que, as variações que ocorreram na vazão ao longo da linha lateral nos emissores não podem ser atribuídas apenas ao entupimento em função da qualidade da água, mas também as oscilações das pressões de serviço da unidade gotejadora. Portanto, a maior suscetibilidade ao entupimento do gotejador pode estar associada ao maior comprimento de labirinto e também a menor vazão, nessas condições a velocidade do escoamento de efluente no interior do emissor é menor, podendo favorecer tanto a deposição de partículas quanto a adesão de bactérias formadoras de biofilme, (Silva, *et al.*, 2014).

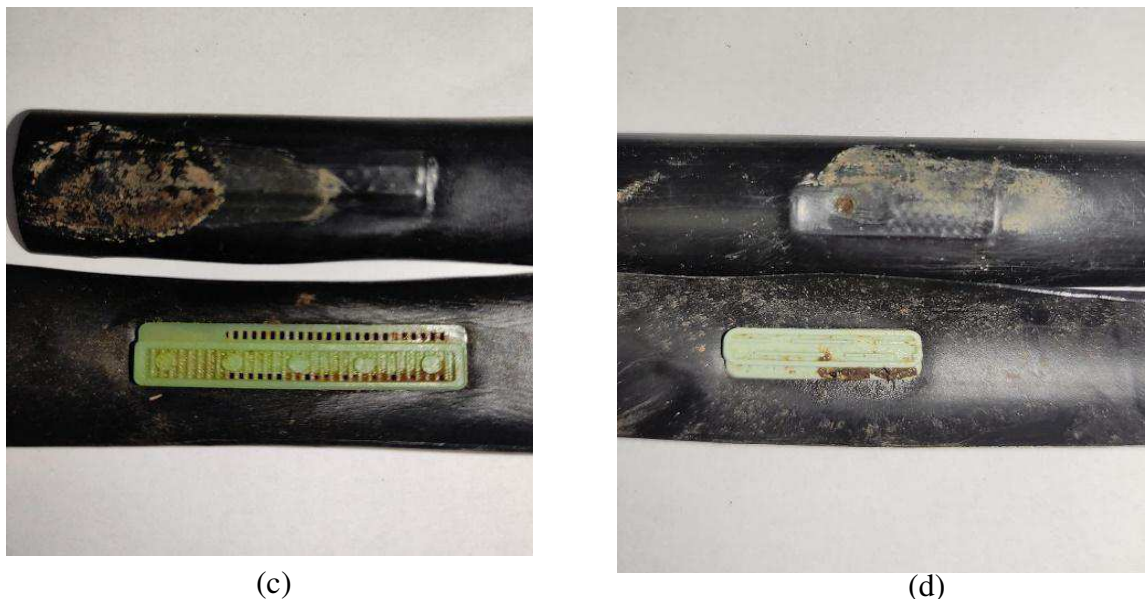
Nas Figuras 16 (a) e (b) é possível visualizar a presença do biofilme formado no interior das paredes e nos labirintos dos emissores dos dois modelos de fitas gotejadoras estudadas na pesquisa, ao serem irrigadas com água de abastecimento urbano. De acordo Carvalho *et al.* (2015), as obstruções que são causadas por fatores físico-químicos, geralmente, se originam de partículas inorgânicas em suspensão, orgânicas e da precipitação de sais de cálcio e magnésio, que formam incrustações que chegam a bloquear e a limitar completamente a passagem da água. Já as obstruções de origens biológicas, podem se originar a partir da presença de pequenos organismos aquáticos,

como algas e bactérias, que passam através dos filtros e se desenvolvem formando colônias no interior dos emissores (Carvalho et al., 2015).



**Figura 16.** (a) Fita gotejadora Tiquira (FT); (b) Fita gotejadora AZUD Sprint (FS) após 576h de funcionamento com água de abastecimento urbano.

As Figuras 17 (c) e (d) mostram o biofilme formado no interior das paredes e nos labirintos dos emissores das fitas gotejadoras analisadas na pesquisa, ao serem irrigadas com água de esgoto doméstico tratado. De modo que, os resultados encontrados corroboram com os obtidos por Melo (2022), que ao analisar o desempenho hidráulico das mesmas fitas gotejadoras utilizadas na pesquisa irrigadas com água residuária de fecularia, percebeu alterações nos parâmetros analisados e atribuiu isso ao acúmulo de biofilme no interior das paredes do labirinto dos emissores, o que fez com que houvesse uma redução na área de passagem e um aumento na pressão do fluxo do efluente no labirinto.



**Figura 17.** (c) Fita gotejadora Tiquira (FT); (d) Fita gotejadora Azud Sprint (FS); após 576 horas de funcionamento com água residuária de esgoto doméstico tratado.

### 4.3 Qualidade das águas utilizadas na irrigação e sua relação com o risco o entupimento dos emissores

Analisando as características físico-químicas e microbiológicas da água de abastecimento urbano e da água residuária de esgoto doméstico tratado utilizada na pesquisa (Tabela 9), é possível descrevê-la de acordo com a sua adequabilidade para uso na irrigação.

De acordo com os resultados, a Condutividade Elétrica – CE para a água residuária de esgoto doméstico tratada antes do tratamento foi de  $(1,101 \text{ dS m}^{-1})$  e após o tratamento de  $1,073 \text{ dS m}^{-1}$ , já para a água de abastecimento o valor obtido foi de  $0,743 \text{ dS m}^{-1}$ , sendo classificados como valores baixos, segundo Ayers Westcost (1999). Sendo assim, a CE é considerada o parâmetro mais usado para avaliação dos níveis de salinidade e concentrações de sais solúveis em águas destinadas para fins de irrigação, diretamente relacionada com a quantidade de sais dissolvidos na forma de íons que aumenta proporcionalmente com o aumento da concentração de sal (LIMA, et al. 2014).

Os valores de sólidos totais dissolvidos para irrigação encontrados na amostra de água residuária foram classificados como moderados, ultrapassando o valor permitido de  $500 \text{ mg L}^{-1}$  para fins agrícolas conforme a classificação de Nakayama & Bucks (1986). Para Almeida (2009), os altos teores de sólidos suspensos promovem o entupimento físico que é, geralmente, derivado de partículas que a água leva em suspensão e que obstruem ou fecham diante do aparecimento de incrustações nos emissores ou nas próprias tubulações.



O pH da água residuária de esgoto doméstico tratado mostrou um risco de entupimento antes do tratamento moderado de 7,8, e após o tratamento o valor obtido foi 8,1, sendo o efluente classificado com risco severo quanto à obstrução dos gotejadores, por causa da suscetibilidade da precipitação dos elementos químicos, como também indicaram Dazhuang et al. (2009) ao avaliarem a formação de biofilme com a aplicação de efluente doméstico com uma faixa de pH entre 8,04 a 8,21, classificando como risco severo ao entupimento em sistemas de irrigação por gotejamento. Em relação à água de abastecimento, o valor do pH obtido foi de 6,58 sendo baixo o risco de entupimento, tomando como base a classificação proposta por Nakayama e Bucks (1991). Segundo Caminha (2022), quando as águas possuem um valor de pH acima de 8,4, podem ocasionar entupimentos nos sistemas de irrigação localizados, por causa da precipitação do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

Sobre a concentração de cálcio para água de abastecimento urbano e residuária de esgoto doméstico tratado, os valores foram menores que 12,5 ( $\text{mmolc L}^{-1}$ ), sendo considerados baixos, já o magnésio teve a concentração média de 1,62 mg/L baixo para a água de abastecimento urbano, para a água residuária o valor antes do tratamento foi 17,4 mg/L em que o risco de entupimento é classificado como severo, já após o tratamento o valor passou a ser de 3,46 mg/L considerado moderado, segundo Capra e Scicolone (1998).

Na água de irrigação os principais sais dissolvidos são os de sódio, cálcio e magnésio em forma de cloretos, sulfatos e bicarbonatos. Em geral, o potássio e o carbonato estão presentes em proporções relativamente baixas (OLIVEIRA JÚNIOR, 2021). Em relação ao entupimento físico para os valores de ferro total, para água residuária foram classificados com risco severo tanto antes como após o tratamento, de acordo com Nakayama & Bucks (1986). Segundo Almeida (2010), o ferro manganês e enxofre são elementos solúveis em estado reduzido, mas ao passarem por oxidação, eles precipitam e podem obstruir os emissores. A oxidação pode ser produzida por bactérias, por contato com o ar livre ou com oxidantes contidos na água. Com relação ao acúmulo de cloretos, ele pode constituir nas redes de distribuição um aumento relevante de incrustações e corrosões, ocasionando rompimentos no sistema de irrigação (CAGEPA, 2009).

A dureza de uma água se define a partir da concentração de carbonato de cálcio, que é quimicamente equivalente a concentração de cátions multivalentes (principalmente

cálcio e magnésio) da água. Assim, são quatro os principais compostos que conferem dureza às águas: bicarbonato de cálcio, bicarbonato de magnésio, sulfato de cálcio e sulfato de magnésio, a sua classificação em termos de dureza é considerada dura para os valores antes (275,3 mg/L) e após (208,4 mg/L) o tratamento. O risco de entupimento em função da qualidade da água utilizada na irrigação é reduzido quando o resultado desse parâmetro é menor que  $150 \text{ mg L}^{-1}$ , caso seja acima de  $300 \text{ mg L}^{-1}$  a água é considerada muito dura (SILVA et al. 2011; ALMEIDA 2010; NAKAYAMAE, BUCKS 1986).

A Alcalinidade representa a medida total das substâncias presentes na água, que são capazes de neutralizar ácidos. O valor total de alcalinidade encontrado nas amostras ao longo do tempo de funcionamento corresponde, em sua maioria, a presença de bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ ), o que Ayers e Westcot (1999), afirmam em seus estudos que concentrações de bicarbonato acima de  $305 \text{ mg L}^{-1}$ , provocam problemas graves quanto a precipitados no sistema de irrigação. É importante ressaltar que, antes do tratamento o valor alcalinidade total era (363 mg/L) e depois (305 mg/L), obtendo uma redução nos valores, o que indica que a partir do referido tempo de funcionamento ocorre o processo de obstrução dos emissores pela precipitação do bicarbonato. Já os valores do Índice de Saturação de Langelier (ILS) apresentaram resultados acima de zero, comprovando o risco de ter precipitação de carbonato de cálcio e provocar incrustações nas paredes das linhas condutoras de água e gotejadores obstruindo a passagem da água pelos condutos. (FERREIRA, 2015).

A concentração de amônia na água residuária de esgoto doméstico tratado antes do tratamento foi  $57,1 \text{ mg L}^{-1}$  e após o tratamento de  $38,20 \text{ mg L}^{-1}$  sendo esses valores superiores aos estabelecidos para lançamento com o limite máximo de  $20 \text{ mg L}^{-1}$ , de acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) em sua Resolução 430/2011. Por essa razão, os valores de amônia encontrados nas análises do efluente indicam a presença de nitrogênio e de potássio (reafirmando o suporte nutricional que possui os efluentes domésticos). E a presença desses nutrientes pode vir a interferir indiretamente no processo de entupimento dos gotejadores, pois eles também contribuem para o crescimento de bactérias, criando assim, mucilagem e o biofilme nos gotejadores ao longo das linhas laterais (FERREIRA, 2015).

Estudos realizados por Taylor et al. (1995) mostraram que, as interações entre fatores físicos, químicos e biológicos, foram responsáveis por 90% dos gotejadores entupidos. A água precisa apresentar características adequadas para o cultivo e garantir

um produto com a maior confiabilidade do ponto de vista higiênico e sanitário, (VILELA, 2018).

Quanto à população bacteriana, no que se refere ao entupimento biológico dos emissores, a água residuária de esgoto doméstico tratado apresentou risco severo de entupimento, com resultados positivos para Coliformes totais e *Escherichia Coli*. De acordo com Vale et al. (2018), os níveis populacionais de coliformes totais foram as características que mais interferiram no processo de obstrução dos gotejadores. Dados semelhantes aos de Martins (2015) utilizando esgoto tratado na irrigação com a presença de coliformes termotolerantes, nas três amostras coletadas em diferentes dias, podendo contaminar o solo, água, agricultores e consumidores quando usados sem controle.

## 5. CONCLUSÕES

- A partir dos resultados obtidos conclui-se que, no tratamento com uso de água de abastecimento os indicadores de desempenho hidráulico (CUD, GE) se mantiveram em níveis variando de Bom, Inaceitável, Ruim e Médio;
- Com a utilização de água residuária esses indicadores foram classificados como Inaceitável, Ruim, Alto e médio;
- Independente da fonte de água, os valores de vazões apresentaram uma queda gradativa ao longo do tempo.
- A partir dos indicadores analisados na pesquisa, a fita gotejadora “FS” ao ser irrigada com água de abastecimento urbano e com água residuária apresentou melhor desempenho hidráulico;
- Analisando os componentes físico-químicos e biológicos das águas de irrigação usadas na pesquisa e correlacionando-os com os possíveis entupimentos das unidades gotejadoras estudadas, sabe-se que a água residuária de esgoto doméstico tratada pode ser classificada quanto ao risco de entupimento de emissores na irrigação localizada de “Moderado” a “Severo”, destacando os altos teores dos parâmetros de pH, ferro total, alcalinidade dureza total e amônia;
- Através do controle estatístico, com base nas cartas de Shewhart, foi possível detectar as mudanças de indícios de falta de controle dos

processos e ausência de dados fora dos limites, ao longo do período experimental.

## 6. RECOMENDAÇÕES

Ter uma melhor eficiência no tratamento da água residuária, considerando o tipo de água a ser empregada na irrigação.

Para o manejo adequado da irrigação sugere-se um monitoramento das unidades gotejadoras com relação aos fatores de desempenho hidráulico.

Diante dos problemas no desempenho hidráulico das unidades gotejadoras com o uso de água residuária de esgoto doméstico parcialmente tratado, medidas de controle contra entupimentos de origem física química e biológica devem ser adotadas.

Considerando que, a água residuária de esgoto doméstico parcialmente tratado é uma fonte natural de nutrientes para o desenvolvimento das culturas, recomenda-se uma maior filtragem para uma maior eficiência.

## REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília: ANA, 2021, 66p.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR ISO 9261: equipamentos de irrigação agrícola. Emissores e tubos emissores. Especificação e métodos de ensaio**. São Paulo, 17p., 2006.

ANDRADE, E. M. G.; SILVA, S. S.; LIMA, G. S. de; SOARES, L. A. dos A.; SILVA, A. A. R.; LACERDA, C. N. de. Cultivo inicial de cajueiro anão precoce com água salina e esterco bovino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 17, n. 1, p. 10-16, 2022.

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

AYERS, R. S. WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2. ed.

Campina

Grande: UFPB, 153p., 1999.

ALVES, R. C., NETO, M. F., NASCIMENTO, M. L., OLIVEIRA, M. K. T., LINHARES, P. S. F, CAVALCANTE, J. S. J., OLIVEIRA, F. D. A. (2012). Reutilização de água residuária na produção de mudas de tomate. **Agropecuária Científica no Semiárido**, 8(4), 77-81.

ALVES, P. F. S.; SANTOS, S. R.; KONDO, M. K.; ARAÚJO, E. D.; OLIVEIRA P. M. Fertirrigação do milho com água residuária sanitária tratada: crescimento e produção. **Eng Sanit Ambient**. v.23 n.5 set/out 2018.

ALMEIDA, O. A. de. Entupimento de emissores em irrigação localizada. Cruz das Almas: **Embrapa Mandioca e Fruticultura**, 2009. 61p.

ALMEIDA, O. A. Qualidade da água de irrigação. Cruz das Almas: **Embrapa Mandioca e Fruticultura**, 2010.

ANDRADE, P. M; BRITO, N. N. Resíduos agroindustriais aplicados como material filtrante ao pós tratamento de água residuária da produção de cosméticos **Rev Agro Amb**, v. 14, n. 4, e 8773, 2021.

APHA 2005. Métodos padrão para o exame de água e efluentes. 21ª edição. **Associação Americana de Saúde Pública**, Nova York.

ANTUNES, A. D. **Avaliação da uniformidade de distribuição de água e eficiência de aplicação, em um sistema de irrigação por aspersão com diferentes combinações de espaçamento, bocal e turno**. Trabalho de Conclusão de Curso. 2018.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR ISO 9261: equipamentos de irrigação agrícola. Emissores e tubos emissores**. Especificação e métodos de ensaio. São Paulo, 17p., 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT NBR ISO 9261. 2006. Equipamentos de irrigação agrícola – Emissores e tubos emissores – Especificação e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro. 17p.

ANDRADE, A. R. S.; SILVA, E. G.; SILVA, E. T.; PEREIRA, R. G.; SILVA, J. F.; COSTA, C. M.; de NORONHA, D. A.. Avaliação do desempenho de sistema de irrigação por gotejamento em cultivo de maracujá. **Research, Society and Development**, 10(4), e21710414034-e21710414034. 2021.

ANDRADE, M. G.; VILAS BOAS, M. A.; SIQUEIRA, J. A.; SATO, M.; DIETER, J.; HERMES, E.; MERCANTE, E. Uniformity microsprinkler irrigation system using statistical quality control. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 2, p. 1-7, maio 2017.

ANDRADE, M. G.; VILAS BOAS, M. A.; SIQUEIRA, J. A.; SATO, M.; DIETER, J.; HERMES, E.; MERCANTE, E. Uniformity microsprinkler irrigation system using statistical quality control. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 2, p. 1-7, maio 2017.

BARBOSA, M. S., SANTOS, M. E. P. D., MEDEIROS, Y. D. P. (2014). Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. **Ambiente & Sociedade**, 17, 17-32.

BUSATO, C. C.M.; SOARES, A. A. Desempenho de gotejadores utilizando água de baixa qualidade química e biológica. **Bioscience Journal (Online)**, Uberlândia, v.26, n.5, p. 739746, set. q7/out. 2010.

BEZERRA, V. G. D. S. **Análise do desempenho de uma estação de tratamento de água residuária doméstica na cidade de Mossoró- M.** 2018.

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

BATISTA, R. O.; SOARES, A. A.; SOUZA, J. A. R.; BATISTA, R. O. Modelos empíricos da irrigação localizada com esgoto sanitário tratado. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 16, n. 3, p.369-377, set. 2008.

BORSSOI, A. L.; VILAS BOAS, M. A.; REISDÖRFER, M.; HERNÁNDEZ, R. H.; FOLLADOR, F. A. Water application uniformity and fertigation in a dripping irrigation set. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 718-726, julho/agosto, 2012.

BERNARDINO, L. M. **Potencial de reúso de efluentes tratados para irrigação na agricultura periurbana no Semiárido Paraibano. 2022.**

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. viçosa: UFV, 625 p., 2006.

BARBOSA, M. S., SANTOS, M. E. P. D., MEDEIROS, Y. D. P. (2014). Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. **Ambiente & Sociedade**, 17, 17-32.

BUSATO, C. C.M.; SOARES, A. A. Desempenho de gotejadores utilizando água de baixa qualidade química e biológica. **Bioscience Journal (Online)**, Uberlândia, v.26, n.5, p. 739746, set./out. 2010.

BRITO, J. D. S. **Análise de eficiência hidráulica e modelagem de sistema de irrigação por gotejamento.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal do Ceará, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. 2022

CASTELANI, F., MOREIRA, R. N. (2018). Dimensionamento de sistemas de irrigação por gotejamento. **IGNIS Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo Engenharias e Tecnologia de Informação.** 2018

CHEKLI, L.; KIM, Y.; PHUNTSO, S.; LI, S.; GHAF FOUR, N.; LEIKNES, T.; SHON, H. K. (2017). Evaluation of fertilizer-drawn forward osmosis for sustainable agriculture and water reuse in arid regions. **Journal of Environmental Management**, 187(1), 137-145.

CASTELANI, F., MOREIRA, R. N. **.Dimensionamento de sistemas de irrigação por gotejamento.** *IGNIS.* Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo Engenharias e Tecnologia de Informação. 2018.

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.

COSTA, R. O. F. **Viabilidade de implantação de sistema de reúso urbano de águas residuárias tratadas da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Dom Nivaldo Monte.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

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.

CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; RODRIGUES, C. R.; MORAES, G. S.; SILVA, I. O. F.; ALVES, D. K. M. Uniformidade de irrigação por gotejamento sob fertirrigação com fontes de nitrogênio. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 12, n. 7, p. 3118-3128, nov./dez. 2018.

COELHO, R.D. **Contribuições para a irrigação pressurizada no Brasil.** 2007. 192 f. Tese (Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 70, n. 4, p. 355-365, 1998.

CANO, N. D. **Caracterização operacional e desempenho e de desempenho de filtro de filtro de tela autolimpante e elementos filtrantes utilizados para irrigação.** (Tese) doutorado em Engenharia Agrícola, na área de Água e Solo.

CAMINHA, M. P. **Classificação de qualidade da água para irrigação em microbacia hidrográfica em condições semiáridas.** Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. 2022.

CAGEPA - Companhia de água e Esgoto da Paraíba. Dados dos reservatórios do sistema de água de Campina Grande, Pocinhos, Galantes-PB, 2009.

DENÍCULI, W.; BERNARDO, S.; THIÁBAUT, J. T. L.; SEDIYAMA, G. C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, v. 27, n. 50, p. 155-162, 1980.

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.

DALRIL, A. B.; GARCIAL, C.J.B.; ZANINIL, J.R.; FARIAL, R.T.; PALARETTI, L.F. Caracterização técnica e desempenho hidráulico de quatro gotejadores autocompensantes utilizados no Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.8, p.1439-1444, 2015.

DAZHUANG, Y.; ZHIHUI, B.; ROWAN, M.; LIKUN, G.; SHUMEI, R.; PEILING, Y. Biofilm structure and its influence on clogging in drip irrigation emitters distributing reclaimed wastewater. **Journal of Environmental Sciences**, v. 21, p. 834-841, 2009.

FERREIRA, D. D. J. L. (2015). **Controle estatístico de qualidade em sistema de irrigação por gotejamento utilizando efluente de reator anaeróbio.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, 2015.

FRIGO, J. P. **Controle do processo da irrigação no sistema de aspersão convencional em Palotina - PR.** Cascavel: UNIOESTE, 2012. 43p. Dissertação de Mestrado.



GOMES, A. H. S. **Controle estatístico de qualidade em unidades gotejadoras utilizando diferentes tipos de água.** Tese apresentada à Universidade Federal de Campina Grande. 2017.

GOMES, A. H. S.; LIMA, M. G. M., FERREIRA, D. D. J. L., VASCONCELOS, G. N., PEDROZA, J. P., & DE LIMA, V. L. A. (2020). Controle Estatístico Aplicado a Uniformidade de Distribuição em Unidades Gotejadoras Operando com Água Residuária. *Irriga*, 25(4), 719-727.

GOMES, A. H. S.; LIMA, M. G. M. de; FERREIRA, D. de J. L.; VASCONCELOS, G. N.; PEDROZA, J. P.; LIMA, V. L. A. de. Controle estatístico aplicado a uniformidade de distribuição em unidades gotejadoras operando com água residuária. *Irriga*, Inovagri, Notas Técnicas, Botucatu, v. 25, n. 4, p. 719-727, 2020.

GUIMARÃES, V. B. **Influência da água residual na uniformidade de aplicação do sistema de irrigação por gotejamento.** Monografia (Agronomia) Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará. 2019.

GARCIA, S. C., REZENDE, B. A., FERREIRA, J. C. B.; SILVA, R. H. Aplicação das ferramentas da qualidade para o diagnóstico de perda de embalagem e reprocesso de leite em pó em uma indústria de lã. *Acta Mechanica et Mobilitatem*, 5(2), 1-9. 2020.

HERMES, E. **Avaliação da irrigação por gotejamento com aplicação de água residuária de amidonaria.** 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

HERMES, E., BOAS, M. A. V., GONÇALVES, M. P., GRIS, D. J., LINS, M. A., & BERGER, J. S. (2018). Uniformidade de distribuição na irrigação por gotejamento com água residuária de processamento de mandioca. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 11(2), 545-559.

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*, local, v. 10, n., p. 1427-1433, mês, 2015.

HENDGES, L. T., DOS SANTOS ANTES, B., & TONES, A. R. M. (2018). Reuso da água na agricultura: a realidade brasileira e experiências internacionais. *Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia*, 9(23), 94-109.

- LUCENA, C. Y. D. S., dos SANTOS, D. J. R., da SILVA, P. L. S., da COSTA, E. D., & Lucena, R. L. (2018). O reuso de águas residuais como meio de convivência com a seca no semiárido do Nordeste Brasileiro. **Revista de Geociências do Nordeste**, 4, 1-17.
- LEROY, K. A. Reuso de Efluente de Estação de Tratamento de Esgoto Tratado em Filtros Anaeróbios Verticais Aplicado na Alface Irrigada por Gotejamento. Dissertação na área de Agronomia (Irrigação e Drenagem) Unesp Botucatu 2022.
- LIMA, M. G. M. **Controle estatístico no monitoramento hidráulico de unidades gotejadoras utilizando água residuária de fecularia diluída**. 105 fl. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2022.
- LIMA, S. V. (2021). Irrigação com água de Irrigação com água de reúso no Brasil: Aplicação do modelo semiquantitativo de aplicação do modelo semi quantitativo de avaliação de risco microbiológico para a saúde humana. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 9, n. 2, p. 71-86.
- LIMA, M. G. M. D.; APPEL NETO, J. D.; FERREIRA, D. D. J. L.; GOMES, A. H. S.; VASCONCELOS, G. N. Comportamento hidráulico de sistema de irrigação por gotejamento em função da pressão de serviço adotada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 12, n. 1, p. 167-171, jan./mar. 2017.
- LIMA, J. O. G; FRANÇA, A. M. M.; LOIOLA, H. G. Implicações hidroquímicas da condutividade elétrica e do íon cloreto na qualidade das águas subterrâneas do semiárido cearense. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 2, p. 279-292, 2014.
- LIMA, M. A. M.; SANTOS, A. S. P.; VEIRA, J. M. P. Irrigação com água de reúso no Brasil: aplicação do modelo Semiquantitativo de avaliação de risco microbiológico para saúde humana. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, 71-86. 2021.
- MANTOVANI, E. C. **Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada**. Viçosa, MG: UFV, 2001.
- MERCANTE, E.; VILAS BOAS, M. A.; SILVA, B. B. dá; KLEIN, M. R. Utilização de gráficos de controle estatístico na irrigação. **REMEA - Revista Eletrônica do Mestrado de Educação Ambiental**, Rio Grande, v. 1, n. 1; edição especial, p. 97-108, 2014.
- MOREIRA, D. A. Administração da produção e operações. 2. ed. rev. e **ampl.** São Paulo: Cengage Learning, 2012.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

MORATA, G. T.; DANTAS, G. F.; DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F.; FARIA, R. T.; SANTOS, G. O. Entupimento de gotejadores com uso de efluente de esgoto tratado sob dois sistemas de filtragem. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 8, n. 2, p. 86 - 97, 2014.

MONTGOMERY D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 572p. 2016.

MOGES, M. E.; HEISTAD, A.; HEIDORN, T. Nutrient Recovery from Anaerobically Treated Blackwater and Improving Its Effluent Quality through Microalgae Biomass Production. **Water**, v. 12, n. 2, p. 592, 2020.

MELO, M. G. L. (2022). **Controle estatístico no monitoramento hidráulico de unidades gotejadoras utilizando água residuárias de fecularia diluída**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, 2022.

MELO, M. T., & DE QUEIROZ, T. M. (2020). Disponibilidade e qualidade da água para irrigação no território indígena Rio Formoso, na transição cerrado/Amazônia, Mato Grosso-Brasil. **Geosul**, 35(75), 461-480.

MARTINS, J. G. **Uso planejado de água residuária proveniente de estação de tratamento de esgoto na irrigação em cultura de alface crespa (Bachelor's thesis**, Universidade Tecnológica Federal do Paraná). Trabalho de Conclusão de Graduação apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2015.

NAKAYAMA, F. S. Water treatment. In: Nakayama, F. S.; Bucks, D. A. (ed.). **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, Cap.3, p.164-187, 1986.

NASCIMENTO, R. C. **Dinâmica da obstrução de emissores tipo gotejador oriundos do vale do São Francisco**. 2015.

NASCIMENTO, A.K.S.; SOUZA, R.O.R.M.; LIMA, S.C.R.V.; CARVALHO, C.M.; ROCHA, B.M.; LEITE, K.N. Desempenho hidráulico e manejo da irrigação em sistema

irrigado por microaspersão. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.3, n.1, p.39-45, 2009.

NASCIMENTO, R. C., DE MEDEIROS, P. R. F., SANTOS, G. S., DE ALENCAR, E. C. P. V., GONÇALVES, D. R., & MARTINS, A. P. F.. Dinâmica da obstrução de emissores usados na cultura da uva utilizando água salina de poço subterrâneo. *Irriga*, 21(3), 491-491. 2016.

NÖRENBERG, B. G. **Índices de desempenho da irrigação pressurizada com base na distribuição logística de probabilidades**. Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Recursos Hídricos. 2022.

NAKAYAMA, F. S. Water treatment. In: Nakayama, F. S.; Bucks, D. A. (ed.). **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, Cap.3, p.164-187, 1986.

OLIVEIRA, D. N; MARTINS, M. J. **Estudo da viabilidade do sistema desviufpe de aproveitamento de águas da chuva implantado em uma residência de Juiz de Fora - MG**. Monografia de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil). 2020.

OLIVEIRA JÚNIOR, R, F. et al. Estatística multivariada aplicada a qualidade da água para irrigação em microbacia perene do semiárido brasileiro. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 3, p. 650-658, 2021.

PACHECO, C. S. G. R., SANTOS, R. P. **Reuso de águas residuárias: uma breve revisão de literatura**. 2022.

PASTOR, J. D. S. **Importância do reuso da água na cidade de Patos-PB** (Master's thesis). 2022.

PASSOS, M. L. V. **Predição de Retrolavagem de filtros em função da qualidade da água de irrigação**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará. (2022).

PIZARRO, C. F. Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación. 3 ed. **Ediciones Mundi Prensa**. 1996.

PAOLINELLI; NETO, D. D; MANTOVANI, E. C. (2022). **Agricultura irrigada no Brasil: ciência e tecnologia**. Piracicaba: ESALQ; Viçosa: ABID.

REIS, K. M. dos; PALARETTI, L. F.; BARRETO, A. C. ZANINI, J. R. Irrigação por

gotejamento subsuperficial e fertirrigação da cultura brócolis. **Irriga**, Botucatu, v. 26, n. 2, p. 383-397, 2021.

REISDORFER, M. **Utilização da AHP e controle estatístico do processo na avaliação de módulos de irrigação por gotejamento**. 2013.

SILVA, A. R. D. **Uso de água residuária tratada na agricultura no contexto da economia circular: uma revisão sistemática da literatura**. Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Engenharia Ambiental 2022.

SILVA, K. B., SILVA JÚNIOR, M. J., BATISTA, R. O., SANTOS, D. B., BATISTA, R. O., & de AQUINO LEMOS FILHO, L. C. Irrigação por gotejamento com água residuária tratada da indústria da castanha de caju sob pressões de serviço. **Semina: Ciências Agrárias**, 35(2), 695-705. 2014.

SILVA, S.; APPEL NETO, J. D.; TEODORO, I.; SANTOS, M. A.; ANDRADE, A. B. A. D.; CORDÃO, M. A. Qualidade da irrigação por gotejamento em cultivos consecutivos de cana-de-açúcar. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 01-08, abr./jun. 2015.

SILVA, K. B. et al. Vazão de gotejadores aplicando esgoto sanitário tratado e prevenção do entupimento com catalisador enzimático. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.12, n.2, p. 679- 699, 2019.

SANTOS, M. A. L., DOS SANTOS, D. P., SILVA, D. S., DOS SANTOS SILVA, M., & CAVALCANTE, P. H. S. (2015). Avaliação da uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por gotejamento em inhame (*Dioscoreacayennensis* L.). **Revista Ciência Agrícola**, 13(1), 7-12.

SANTOS, R. D., DE CARVALHO BISPO, R., VENTURA, K. M., DE SOUZA, M. H. C., & DE LIMA SALES, M. A. (2017). Avaliação de kit de irrigação por gotejamento utilizando água residuária. **IRRIGA**, 1(1), 110-117.

SANTOS, C. S., DOS SANTOS, D. P., SILVA, P. F., ALVES, É. D. S., & DOS SANTOS, M. A. L. (2013). Avaliação da uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 3, p. 4.

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.

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.

SILVA, P. F. D. (2014). **Uniformidade de vazão em mangueira gotejadora autocompensante utilizando água salina**. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

TESTEZLAF, R; D, F. P; M, M. **Filtros de areia na irrigação Campinas, SP: UNICAMP/Faculdade de Engenharia Agrícola**, 2014. 56 p.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: Métodos, sistemas e aplicações**. Universidade Estadual de Campinas SP. Unicamp/FEAGRI, 2017, 215p.

TESTEZLAF, R. Irrigação: métodos, sistemas e aplicações. Campinas-SP: Unicamp/Feagri, 215p. 2017.

TAYLOR, H. D.; BASTOS, R. K. X.; PEARSON, H.W.; MARA, D. D. Drip irrigation with waste stabilization pond effluents: Solving the problem of emitter fouling. **Water Science Technology**, v.31, p.417-424, 1995.

VALE, H. S. M. (2019). **Análise do nível de obstrução em gotejadores operando com diluições de água produzida tratada**. 2019.

VALE, H. S. M. et al. Hydraulic Performance of drippers applying sanitary landfill leachate diluted in water. **Revista Caatinga**, v.31, p.987-996, 2018.

VILELA, V. L. D. **Qualidade da água de mananciais empregados na irrigação e lavagem de hortaliças da região de Apucarana**, Paraná. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2018.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2. ed.

Campina Grande: UFPB, 153p., 1999.

Zhang, L., Wu, P., Zhu, D. et al. Effect of pulsating pressure on labyrinth emitter clogging. **Irrig Sci** 35, 267–274 (2017).