



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - UAEA**



MAYRA GISLAYNE MELO DE LIMA

**CONTROLE ESTATÍSTICO NO MONITORAMENTO HIDRÁULICO DE
UNIDADES GOTEJADORAS UTILIZANDO ÁGUA RESIDUÁRIA DE
FECULARIA DILUÍDA**

Campina Grande – PB

Mai de 2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - UAEA



MAYRA GISLAYNE MELO DE LIMA

**CONTROLE ESTATÍSTICO NO MONITORAMENTO HIDRÁULICO
DE UNIDADES GOTEJADORAS UTILIZANDO ÁGUA RESIDUÁRIA
DE FECULARIA DILUÍDA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para a obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:

ENGENHARIA DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

ORIENTADORES:

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

Prof. Dr. Juarez Paz Pedroza – UFCG/CTRN/UAEA

Campina Grande – PB

Mai de 2022

L732c

Lima, Mayra Gislayne Melo de.

Controle estatístico no monitoramento hidráulico de unidades gotejadoras utilizando água residuária de fecularia diluída / Mayra Gislayne Melo de Lima. - Campina Grande, 2022.

103 f. il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2022.

"Orientação: Prof. Dr. José Dantas Neto, Prof. Dr. Juarez Paz Pedroza."

Referências.

1. Água Residuárias na Irrigação. 2. Entupimento - Modelo M3. 3. Desempenho Hidráulico. 4. Fertirrigação. I. Dantas Neto, José. II. Pedroza, Juarez Paz. III. Título.

CDU 626.841(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
Rua Aprígio Veloso, 882, - Bairro Universitário, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

MAYRA GISLAYNE MELO DE LIMA

CONTROLE ESTATÍSTICO NO
MONITORAMENTO HIDRÁULICO
DE UNIDADES GOTEJADORAS
UTILIZANDO ÁGUA RESIDUÁRIA
DE FECULARIA DILUÍDA

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

Aprovada em: 17/05/2022

Jose Dantas Neto - Orientador(a) - PPGEA/CTR/UFCEG

Juarez Paz Pedroza - Orientador(a) - PPGEA/CTR/UFCEG

Vera Lucia Antunes de Lima - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTR/UFCEG

Maria Sallydelândia de Farias Araújo - Examinador(a) Interno(a) -
PPGEA/CTR/UFCEG

Luciano Marcelo Fallé Saboya - Examinador(a) Externo(a) - UAEA/CTR/UFCEG

Denise de Jesus Lemos Ferreira - Examinador(a) Externo(a) - IFBaiano Campus Xique-
Xique



Documento assinado eletronicamente por **LUCIANO MARCELO FALLE SABOYA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/05/2022, às 10:31, 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 18/05/2022, às 13:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

26/07/2022 14:39

SEI/UFCG - 2403074 - PRPG-Folha de Assinatura para Teses e Dissertações



Documento assinado eletronicamente por **JOSE DANTAS NETO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 27/05/2022, às 16:42, 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 **VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/06/2022, às 10:06, 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 **Denise de Jesus Lemos Ferreira, Usuário Externo**, em 25/07/2022, às 15:38, 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 **JUAREZ PAZ PEDROZA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 26/07/2022, às 11:19, 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 **2403074** e o código CRC **95E624B9**.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Marcos Ailton Pereira de Melo e Maria Gizelda dos Santos Melo. Minhas maiores inspirações e incentivadores do meu crescimento pessoal. Por todo amor, carinho, dedicação e cuidado. Por terem dedicado suas vidas para me tornar a cidadã que sou hoje.

Ao meu filho, Lukas Natan Melo de Lima. Meu maior presente de Deus. Por ser quem revigora minhas energias, e com seu incomparável amor me dá forças para seguir diariamente em busca dos meus sonhos.

Ao meu querido esposo, Jocélio de Lima Mendes. Por seu amor e companheirismo. Por estar sempre ao meu lado disposto a me ajudar, compartilhando as dificuldades e as alegrias ao longo dos anos, apoiando minhas decisões e em busca diariamente, da construção dos nossos sonhos.

A minha irmã, Mislayne Fátima Melo de Lima. Por ser minha melhor amiga, pelo apoio e por estar sempre me motivando a nunca desistir dos meus objetivos de vida.

Ao meu sobrinho, João Isaac Melo França. Pelo seu singelo amor e por todos os momentos de alegria vividos.

Aos meus sogros, Josivan Jorvino da Silva - Jorge e Damiana Ferreira de Lima – Rozy, e aos meus cunhados, Josyclésio de Lima e Rayssa Jocely de Lima Amaral. Por serem minha segunda família, pelo acolhimento e amor. Por partilharem comigo dificuldades e vitórias.

Aos meus familiares: Avós, tios e primos. Por todo apoio, pela confiança e por estarem sempre comigo ao longo de toda jornada. Que minha caminhada inspire a todos a nunca desistirem de seus sonhos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu porto seguro, pela dádiva da vida, força, sabedoria e discernimento. Por todas as benfeitorias ocorridas em minha vida e por ser meu abrigo nos momentos de angústia.

A Universidade Federal de Campina Grande por todo acolhimento e pela oportunidade de poder construir uma parte muito importante da minha história, ao longo de 12 anos de desenvolvimento pessoal.

A FAPESQ – Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudo, instrumento primordial na viabilidade da pesquisa.

Aos meus orientadores Professores Dr. José Dantas Neto e Dr. Juarez Paes Pedrosa pelo ensinamento, apoio, compreensão, empatia e confiança no meu profissionalismo na realização dessa Tese, em especial, nesses últimos dois anos em função das medidas emergências adotadas mundialmente devido a pandemia do Covid-19.

À professora Dra. Denise de Jesus Lemos Ferreira pela amizade, apoio paciência, dedicação, pelo amparo nos momentos de incerteza e por todas as contribuições para que a pesquisa fosse realizada da melhor forma possível.

Ao professor Dr. Luciano Fallé Saboya pelo apoio, pela amizade e por sua grande contribuição ao longo de todas as atividades experimentais e para o bom desenvolvimento da pesquisa.

À Maria Sallydelândia Sobral de Farias e à Vera Lúcia Antunes de Lima pela inspiração, amizade e apoio ao longo de toda minha caminhada acadêmica.

Ao senhor Didi, proprietário da Casa de farinha de mandioca localizada no povoado Samambaia em Puxinanã – PB, a sua família e aos seus funcionários por terem disponibilizado e contribuído com a coleta da água residuária utilizada ao longo de todo o experimento.

A todos os professores na Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola que contribuíram com os ensinamentos repassados ao decorrer de toda a minha acadêmica.

Aos Funcionários do Laboratório de Irrigação e Drenagem (LEID), Marciano e sei Edil, pelo apoio, ajuda e disponibilidade.

Aos Funcionários do Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) Jaqueline, Wilson e Sergiana, pela ajuda e por toda gentileza.

Aos secretários Roberto, Michele e Dona Aparecida, pela dedicação, prontidão e assistência em todos os momentos.

Aos meus amigos: Jean, Felipe, Antônio, Leandro e Laysa, pelo companheirismo, paciência, apoio e grande colaboração para a execução das atividades experimentais e pela amizade construída ao longo de muitos anos de universidade.

As minhas amigas: Lanna, Laiss, Ana Karoliny, Renata e Willana, que mesmo distantes sempre estiveram ao meu lado, me fortalecendo, torcendo e incentivando para a concretização dessa pesquisa, por meio de mensagens de apoio e carinho.

A todos que ao longo de toda minha trajetória puderam contribuir de alguma forma para a realização desta pesquisa.

*“Consagre ao Senhor tudo o que você
faz, e os seus planos serão bem-
sucedidos.”*

Provérbios 16:3

CONTROLE ESTATÍSTICO NO MONITORAMENTO HIDRÁULICO DE UNIDADES GOTEJADORAS UTILIZANDO ÁGUA RESIDUÁRIA DE FECULARIA DILUÍDA

RESUMO

O uso de águas residuárias na irrigação pode danificar os equipamentos de irrigação, por isso, é fundamental a realização de avaliações periódicas para a detecção rápida e eficaz dos possíveis problemas ocasionados aos emissores. Sendo assim, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar o comportamento hidráulico de diferentes unidades gotejadoras utilizando água de abastecimento e água residuária oriunda do processamento da mandioca (manipueira tratada) por meio do controle estatístico de qualidade e realizando comparação dos gráficos de controle de Shewhart, de Média Móvel Exponencialmente Ponderada (MMEP) e de Soma Acumulativa (CUSUM). A pesquisa foi conduzida em uma área experimental pertencente ao Laboratório de Engenharia de Irrigação e Drenagem (LEID), da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, no Campus de Campina Grande, Paraíba, Brasil. Para tanto, quatro unidades gotejadoras foram avaliadas a cada 20 horas, ao longo de 480 horas de funcionamento, totalizando 25 ensaios, com pressão de serviço de 100 kPa. A cada ensaio foram determinados os parâmetros hidráulicos: vazão, coeficientes de uniformidade de distribuição e de variação de vazão, eficiência de aplicação de água e grau de entupimento, para quatro tipos de fitas gotejadoras submetidas a água de abastecimento urbano e a água residuária oriunda do processamento da mandioca, para então, analisar os possíveis problemas ocasionados nos gotejadores pelo uso desse tipo de água residuária nos equipamentos de irrigação. Desse modo, constatou-se que, os parâmetros de desempenho hidráulico (Q , CUD, CV_q , Ea e GE) das unidades gotejadoras após 480h de irrigação apenas com água proveniente do abastecimento urbano conservaram seus valores entre excelente e bom. Já com água residuária de fecularia diluída na irrigação, os parâmetros variaram entre regular e ruim. O Grau de entupimento (GE) foi o indicador de desempenho que melhor refletiu a ocorrência de problemas de entupimentos nos emissores. No que se refere as cartas de controle estatístico de qualidade estudadas, as de Shewhart se mostraram adequadas no diagnóstico dos processos sob controle, entretanto, as cartas de Média Móvel Exponencialmente Ponderada (MMEP) e de Soma Acumulativa (CUSUM) tiveram maior sensibilidade na percepção de variações de menor porte. Considerando viáveis as técnicas de controle estatístico de processos no monitoramento das unidades gotejadoras estudadas na pesquisa. Quanto aos modelos de fitas gotejadoras analisados, o modelo M2 apresentou melhor desempenho hidráulico, diante das condições impostas, e o modelo M3 mais suscetível ao entupimento, em especial, quando irrigada com água residuária de fecularia. Por fim, as características físico-químicas da água residuária de fecularia utilizada na irrigação atenuaram o entupimento dos emissores, afetando negativamente no bom desempenho hidráulico das unidades gotejadoras estudadas.

PALAVRAS-CHAVE: Entupimento, água de irrigação, desempenho hidráulico, fertirrigação.

STATISTICAL CONTROL IN THE HYDRAULIC MONITORING OF DRIPPER UNITS USING DILUTED FECULARIA WASTEWATER

ABSTRACT

The use of wastewater in irrigation can damage irrigation equipment, so periodic evaluations are essential for the rapid and effective detection of possible problems caused to emitters. Thus, the present research aimed to evaluate the hydraulic behavior of different drip units using water supply and wastewater from the processing of cassava (treated manipueira) through statistical quality control and performing comparison of shewhart control graphs, Weighted Exponentially Weighted Moving Average (MMEP) and Cumulative Soma (CUSUM). The research was conducted in an experimental area belonging to the Irrigation and Drainage Laboratory (LEID) of the Federal University of Campina Grande - UFCG, at the Campus of Campina Grande, Paraíba, Brazil. For this, four drip units were evaluated every 20 hours, over 480 hours of operation, totaling 25 trials, with service pressure of 100 kPa. The following hydraulic parameters were determined at each assay: flow rate, coefficients of uniformity of distribution and flow variation, water application efficiency and degree of clogging, for four types of drip tapes submitted to urban water supply and wastewater from cassava processing, to analyze the possible problems caused in drippers by the use of this type of wastewater in irrigation equipment. Thus, it was found that the hydraulic performance parameters (Q, CUD, CVq, Ea and GE) of the drip units after 480h of irrigation only with water from the urban supply preserved their values between excellent and good. On the other hand, with wastewater of boiled fecularia in irrigation, the parameters varied between regular and poor. The degree of clogging (EG) was the performance indicator that best reflected the occurrence of clogging problems in the emitters. Regarding the statistical quality control charts studied, Shewhart's were adequate in the diagnosis of the processes under control, however, the exponentially weighted moving average (MMEP) and cumulative soma (CUSUM) charts had greater sensitivity in the perception of smaller variations. Considering viable the techniques of statistical control of processes in the monitoring of the drip units studied in the research. As for the models of drip tapes analyzed, the M2 model presented better hydraulic performance, given the imposed conditions, and the M3 model more susceptible to clogging, especially when irrigated with wastewater of fecularia. Finally, the physical-chemical characteristics of the wastewater of fecularia used in irrigation attenuated the clogging of the emitters, negatively affecting the good hydraulic performance of the drip units studied.

KEYWORDS: Clogging, irrigation water, hydraulic performance.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	18
1.1	OBJETIVOS	20
1.1.1	Objetivo Geral	20
1.1.2	Objetivos Específicos	20
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1	Irrigação Localizada por gotejamento.....	22
2.2	Emissores utilizados na irrigação localizada por gotejamento.....	23
2.3	Reuso de água da agricultura e qualidade de água na irrigação por gotejamento	24
2.5	Parâmetros para a avaliação do desempenho hidráulico na irrigação localizada	26
2.5.1	Vazão (Q)	27
2.5.2	Uniformidade de Aplicação de água	27
2.5.3	Coeficiente de variação de fabricação (CV_f) e de vazão (CV_q).....	28
2.5.4	Eficiência de Aplicação (E_a).....	29
2.5.5	Grau de entupimento (GE)	30
2.6	Controle estatístico de qualidade (CEQ).....	31
2.6	Água residuária de fecularia (Manipueira): Características e seu uso na agricultura	35
3	MATERIAL E MÉTODOS	37
3.1	Localização do experimento.....	37
3.2	Caracterização do experimento	37
3.2.1	Bancadas experimentais e montagem das unidades gotejadoras.....	37
3.2.2	Modelos das fitas gotejadoras analisadas	38
3.2.3	Coleta e caracterização das águas utilizadas na irrigação das unidades gotejadoras ..	40
3.3	Condução do experimento.....	42
3.3.1	Procedimento de coleta dos dados e análise das unidades gotejadoras.....	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1	Estatística descritiva e Teste de Normalidade	48
4.1.1	Estatística descritiva e Teste de Normalidade das unidades gotejadoras operando com água de abastecimento urbano.....	49
4.1.2	Estatística descritiva e Teste de Normalidade das unidades gotejadoras operando com água de residuária de fecularia diluída	50
4.2	Controle estatístico de qualidade.....	52
4.2.1	Aplicação do controle estatístico de qualidade nas diferentes unidades gotejadoras operando com água de abastecimento urbano.....	52

4.2.2 Aplicação do controle estatístico de qualidade nas diferentes unidades gotejadoras operando com água de residuária de fecularia diluída	70
4.3 Qualidade da água residuária de fecularia diluída e o entupimento dos emissores.....	88
5. CONCLUSÕES.....	91
6. RECOMENDAÇÕES	92
REFERÊNCIAS	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área experimental onde foi desenvolvida a pesquisa, Campus da UFCG, Campina Grande – PB (2020).	37
Figura 2. Layout das bancadas experimentais.....	38
Figura 3. Ilustração dos gotejadores M1 (A), M2 (B), M3 (C) e M4 (D) utilizados na pesquisa	40
Figura 4. Casa de farinha de mandioca, localizada no povoado de Samambaia, município de Puxinanã - PB. Local onde foi coletada a água residuária utilizada ao longo do experimento... 40	
Figura 5. Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para a vazão das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.....	54
Figura 6. Cartas de Controle estatístico de qualidade de MMEP para a vazão das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.....	55
Figura 7. Cartas de Controle estatístico de qualidade de CUSUM para a vazão das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.....	56
Figura 8. Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.....	57
Figura 9. Cartas de Controle estatístico de qualidade de MMEP para o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento.....	58
Figura 10. Cartas de Controle estatístico de qualidade de CUSUM para o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.....	60
Figura 11. Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para o Coeficiente de Variação de vazão (CV_q) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.....	61
Figura 12. Cartas de Controle estatístico de qualidade de MMEP para o Coeficiente de Variação de vazão (CV_q) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.....	62
Figura 13. Cartas de Controle estatístico de qualidade de CUSUM para o Coeficiente de Variação de vazão (CV_q) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.....	63
Figura 14. Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para a Eficiência de Aplicação (E_a) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.....	64
Figura 15. Cartas de Controle estatístico de qualidade de MMEP para a Eficiência de Aplicação (E_a) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.	65

Figura 16. Cartas de Controle estatístico de qualidade de CUSUM para a Eficiência de Aplicação (Ea) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.....	66
Figura 17. Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para o Grau de Entupimento (GE) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.	68
Figura 18. Cartas de Controle estatístico de qualidade de MMEP para o Grau de Entupimento (GE) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.	69
Figura 19. Cartas de Controle estatístico de qualidade de CUSUM para o Grau de Entupimento (GE) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.	70
Figura 20. Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para a vazão das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia.....	71
Figura 21. Cartas de Controle estatístico de qualidade de MMEP para a vazão das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia.....	72
Figura 22. Cartas de Controle estatístico de qualidade de CUSUM para a vazão das unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia.	73
Figura 23. Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia diluída.....	74
Figura 24. Cartas de Controle estatístico de qualidade de MMEP para o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia.....	76
Figura 25. Cartas de Controle estatístico de qualidade de CUSUM para o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia.....	77
Figura 26. Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para o Coeficiente de Variação de vazão (CV_q) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia.	78
Figura 27. Cartas de Controle estatístico de qualidade de MMEP para o Coeficiente de Variação de vazão (CV_q) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia.....	79
Figura 28. Cartas de Controle estatístico de qualidade de CUSUM para o Coeficiente de Variação de vazão (CV_q) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia diluída em água de abastecimento urbano.	80
Figura 29. Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para a Eficiência de Aplicação (Ea) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia diluída em água de abastecimento urbano.....	81

- Figura 30. Cartas de Controle estatístico de qualidade de MMEP para a Eficiência de Aplicação (Ea) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia diluída em água de abastecimento urbano. 83
- Figura 31. Cartas de Controle estatístico de qualidade de CUSUM para a Eficiência de Aplicação (Ea) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia. 84
- Figura 32. Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para o Grau de Entupimento (GE) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia diluída. 85
- Figura 33. Cartas de Controle estatístico de qualidade de MMEP para o Grau de Entupimento (GE) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia. 86
- Figura 34. Cartas de Controle estatístico de qualidade de CUSUM para o Grau de Entupimento (GE) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia. 87
- Figura 35. (a) Fita gotejadora AZUD Line (M1); (b) Fita gotejadora AZUD Sprint (M2); (c) Fita gotejadora Rivulis (M3); (d) Fita gotejadora Tiquira (M4); Todas após 480 horas de funcionamento com água residuária de fecularia diluída em água de abastecimento urbano..... 88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação das águas de irrigação quanto ao risco de entupimento.	25
Tabela 2. Classificação dos valores da uniformidade de distribuição de água (CUD)	28
Tabela 3. Classificação dos valores de coeficiente de variação de vazão (CVq) para irrigação por gotejamento, segundo Solomon (1984)	29
Tabela 4. Classificação dos valores de Eficiência de irrigação (Ea) para irrigação por gotejamento.....	30
Tabela 5. Classificação dos valores de Grau de entupimento (GE) para irrigação por gotejamento.....	31
Tabela 6. Especificações técnicas das fitas gotejadoras ¹	39
Tabela 7. Características físico-químicas e microbiológicas da água residuária de fecularia utilizada na pesquisa	41
Tabela 8. Tratamentos utilizados nas unidades gotejadoras.....	43
Tabela 9. Interpretação dos valores de CUD, CVq, Ea e GE - coeficientes de desempenho hidráulico das unidades gotejadoras.....	45
Tabela 10. Estatística descritiva dos parâmetros hidráulicos analisados, incluindo o Teste de Normalidade de Anderson-Darling, para o tratamento AAM1 (Fita gotejadora AZUD Line), AAM2 (Fita gotejadora AZUD Sprint), AAM3 (Fita gotejadora Rivulis) e AAM4 (Fita gotejadora Tiquira) ao longo das 480 horas de funcionamento da unidade gotejadora utilizando água de abastecimento urbano na irrigação.....	49
Tabela 11. Estatística descritiva dos parâmetros analisados, incluindo o Teste de Normalidade de Anderson-Darling, para o tratamento AAM1 (Fita gotejadora AZUD Line), AAM2 (Fita gotejadora AZUD Sprint), AAM3 (Fita gotejadora Rivulis) e AAM4 (Fita gotejadora Tiquira) ao longo das 480 horas de funcionamento da unidade gotejadora utilizando água de residuária de fecularia diluída.	51

1. INTRODUÇÃO

Para o desenvolvimento da agricultura, a irrigação se configura como uma tecnologia a ser empregada quando a pluviometria natural da região não é capaz de suprir às necessidades hídricas da cultura. Essa tecnologia tem como função oferecer às culturas, a quantidade de água necessária no momento ideal, levando sempre em consideração as condições de relevo, solo, clima e as características de cada cultura a ser irrigada. Considerando que, cada cultura possui suas recomendações referentes a quantidade necessária de água para cada estágio de seu desenvolvimento (CAETANO *et al.*, 2020).

No Semiárido Brasileiro, sobretudo, a água é considerada um fator cada vez mais limitante no desenvolvimento da agricultura irrigada, que segundo Bezerra *et al.* (2019) se deve ao fato da região ser caracterizada por precipitações pluviométricas irregulares e elevada evapotranspiração. Considerando que a demanda de água para atender a irrigação só aumenta, se faz necessário e de grande valia a busca e o uso de sistemas de irrigação mais eficientes e de águas com qualidade físico-química e biológica inferiores, como forma de garantir que os recursos hídricos de melhor qualidade sejam destinados aos fins mais nobres, como é o caso do abastecimento urbano.

Ao saber da importância em dar uma destinação adequada às águas de qualidade inferior (águas residuárias), estudos referentes ao seu uso não apenas como alternativa para suprir as necessidades hídricas das culturas, mas também como biofertilizantes têm avançado, tendo em vista a disponibilização de nutrientes, visando além da economia de água, a de fertilizantes químicos (SOUSA *et al.*, 2021). Além disso, no quesito ambiental a reciclagem dessas águas é uma forma de destinar adequadamente um resíduo que apresenta sérios riscos ao meio ambiente e é muitas vezes direcionado “in natura” nos cursos d’água.

Dentre as mais diversas águas residuárias que estão disponíveis para uso na irrigação, encontram-se as águas resultantes do beneficiamento da mandioca, conhecidas popularmente como “Manipueira”, provenientes da prensagem das raízes da mandioca para a obtenção da fécula ou da farinha, elas possuem um aspecto leitoso, e são ricas em nitrogênio, fósforo e potássio, elementos que favorecem o

desenvolvimento das culturas (HERMES *et al.*, 2018). Diversos pesquisadores enfatizam sobre o potencial da manipueira como fertilizante para diversas culturas, a citar Araújo *et al.* (2019), que concluíram em sua pesquisa que, a manipueira pode substituir a adubação potássica via fertirrigação na produção do milho ‘Potiguar’. Ramos *et al.* (2020) ao estudarem em sua pesquisa, a eficácia da adubação orgânica com urina humana e manipueira aplicados via fundação e fertirrigação no crescimento do milho híbrido AG1051, atingiram os melhores resultados com a adubação orgânica aplicada via fundação, destacando que, pode ser vista como uma estratégia em substituição à adubação mineral, desde que não seja aplicada em excesso.

No que se refere às tecnologias desenvolvidas para a irrigação quando se trata do uso racional da água, se destacam os sistemas de irrigação localizada, em especial, o gotejamento como os mais recomendados. De acordo com Melo *et al.* (2020), cresce o interesse de técnicos e pesquisadoras pelos sistemas por gotejamento devido a sua maior eficiência quanto ao uso de água e a aplicação de fertilizantes, por propiciarem que haja uma utilização de forma racional da água e, com isso, de energia por causa da aplicação em baixos volumes. Sobre a aplicação de fertilizantes, os autores Pereira *et al.* (2019) informam que, tanto na microaspersão quanto no gotejamento, a adubação convencional pode ser substituída pela fertirrigação, pois, essa técnica possibilita o aumento da eficiência do uso de nutrientes pela planta, em função da aplicação pontual e próximo às raízes, diminuindo a aplicação de dosagens excessivas de fertilizantes.

Além disso, o sistema de irrigação localizada por gotejamento também é o mais indicado pelas agências reguladoras na aplicação de águas residuárias, por limitarem o contato direto da água com o público exposto e com a cultura (MACAN *et al.*, 2017). Na utilização de águas residuárias, é fundamental a realização de um monitoramento mais preciso e com mais periodicidade, visando evitar possíveis problemas de entupimento e o desgaste excessivo dos materiais de irrigação, como afirmam Szekut *et al.* (2018). Considerando que, os gotejadores possuem alta susceptibilidade ao entupimento, por possuírem pequenos labirintos e orifícios para a passagem de água.

Nesse âmbito, a utilização da ferramenta do controle estatístico de qualidade (CEQ) vem se sobressaindo no setor agrícola, uma vez que, segundo Gouveia (2018), a implementação eficaz do controle do processo possibilita a tomada de ações de melhoria

ou preventivas, no tempo certo, propiciando a correção ou otimização do processo, resultando no aumento de qualidade, produtividade, custos e redução do tempo de ciclo. Quando se trata das vantagens da aplicação do CEQ para o produtor rural, que utiliza águas residuárias em seus sistemas de irrigação, os autores Gomes *et al.* (2020) enfatizam que, essa ferramenta fornecerá um norteamento para a realização das manutenções preventivas em seu sistema de irrigação. O gráfico de controle mais conhecido é o de Shewhart para medidas individuais, entretanto, os de Média Móvel Ponderada (MMEP) e de Soma Acumulativa (CUSUM) também vêm sendo muito utilizados. Além disso, outra ferramenta de grande relevância no controle estatístico é a análise da capacidade do processo por meio de índices.

A relação entre a irrigação por gotejamento e as águas residuárias abre um campo de pesquisa de grande relevância que está relacionado com o estudo das características químicas, físicas e biológicas presentes nessas águas e a sua influência na performance hidráulica dos sistemas de irrigação, visando otimizar essa combinação por meio de um monitoramento eficaz para obter os melhores resultados na produção agrícola, considerando sempre a racionalidade dos recursos hídricos disponíveis.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Monitorar o desempenho hidráulico de unidades gotejadoras, operando com água de abastecimento urbano (AA) e água residuária de fecularia diluída (AR), por meio do controle estatístico de qualidade do processo.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Obter os indicadores de desempenho hidráulico vazão (q), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), coeficiente de variação total (CVt), grau de entupimento (GE) e eficiência de aplicação ao longo do período de funcionamento de 480 horas;
- Aplicar as cartas de controle estatístico de Shewhart, da média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) e de CUSUM para análise do comportamento hidráulico de unidades gotejadoras irrigadas com água de abastecimento urbano e água residuária de fecularia diluída;

- Avaliar os danos ocasionados aos emissores, das diferentes unidades gotejadoras ao serem irrigadas com água de abastecimento urbano e água residuária de fecularia diluída;
- Analisar dentre os modelos de fitas gotejadoras estudadas, a que apresentou melhor desempenho hidráulico ao ser submetida à 480hrs de irrigação com abastecimento urbano e água residuária de fecularia diluída.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Irrigação Localizada por gotejamento

O aumento da produção agrícola está diretamente relacionado com a utilização de sistemas de irrigação eficientes, que garantem um bom retorno do investimento aplicado pelo produtor, pois permitem melhor aproveitamento da água aplicada e maiores números de colheitas em um determinado período. A relação entre o rendimento da cultura e o suprimento de água, pode ser determinada quando se puder quantificar, de um lado, as necessidades hídricas das culturas e os efeitos de déficit hídricos e, de outro, os rendimentos máximo e real da cultura (ALMEIDA *et al.*, 2015).

Segundo Borssoi *et al.* (2012), os sistemas de irrigação localizada podem ser considerados alternativas promissoras no uso da água e na aplicação de fertilizantes solúveis, assumindo importância econômica e ambiental na atividade agrícola. Mantovani *et al.* (2013) enfatizam que, esses sistemas de irrigação vêm substituindo de forma gradativa os sistemas de irrigação por aspersão devido aos seus benefícios, os quais destacam sua maior eficiência em relação a aplicação de água, consumo energético e mão de obra, além de reduzir a incidência de doenças foliares.

Sendo assim, pode-se destacar a irrigação localizada por gotejamento, que pode ser definida como uma aplicação pontual e precisa de água através de gotas diretamente no solo, por meio de emissores, localizados em pontos selecionados ao longo de linhas condutoras de água (POLONI *et al.*, 2018).

Silva *et al.* (2017) ao pesquisarem sobre a irrigação da palma forrageira, destacam que, na irrigação localizada por gotejamento a aplicação de água ocorre apenas na região do solo explorada pelas raízes, o que explica sua elevada eficiência da irrigação, exigindo assim, um volume de água inferior. A alta eficiência de aplicação de água é ressaltada por Alves Júnior *et al.* (2017), como sendo de grande importância em razão das limitações dos recursos hídricos atingirem inúmeras regiões.

Entretanto, apesar das inúmeras vantagens os sistemas de irrigação localizada apresentam alguns problemas, que dentre eles se destaca a sensibilidade à obstrução de seus emissores, causada por diversos fatores, mais precisamente fatores físicos, biológicos e químicos. A obstrução parcial ou total dos emissores na irrigação localizada faz com que, a água não seja distribuída de maneira uniforme e haja excesso

de irrigação em parte da produção, uma vez que, para suprir as necessidades hídricas de todas as plantas é comum que o volume de água utilizado seja aumentado, resultando em prejuízo para o produtor, já que haverá maiores gastos com água e energia, além da possibilidade de perdas de nutrientes por lixiviação (MACAN *et al.*, 2017).

Autores como Macan *et al.* (2017), Salgueiro e Paulo (2018) e Sales e Sánchez-Román (2019), enfatizam a importância da realização periódica de manutenções corretivas e/ou preventivas nos sistemas de irrigação localizada, para minimizar ou eliminar os problemas de obstrução dos emissores, mantendo uma boa uniformidade do sistema de irrigação, reduzindo as falhas e mantendo o funcionamento adequado das tubulações e dos emissores, garantindo sua longevidade e o sucesso da produção.

2.2 Emissores utilizados na irrigação localizada por gotejamento

Na irrigação localizada por gotejamento, os emissores se mostram como a principal peça, por garantirem a aplicação correta da lâmina desejada pelo irrigante, operando com baixas pressões de serviços, resultando em um menor consumo de água e energia. De acordo com a norma ISO 9261:2006, os emissores são dispositivos instalados em uma linha lateral de irrigação e projetados para que a água seja fornecida às culturas em forma de gota ou fluxo contínuo, com vazão média máxima de 24 L h⁻¹ (SHIMIDT, 2014).

Para que os emissores tenham baixa vazão, o diâmetro da seção de escoamento da água no emissor (labirinto) deve ser reduzido. Entretanto, há uma condição oposta a ser cumprida: o diâmetro da seção de escoamento do emissor deve ser o maior possível para reduzir o risco de entupimento, que se apresenta como um dos principais problemas no manejo dos sistemas de irrigação localizada. As respectivas condições tratadas são vistas pelos fabricantes de forma variada, e como consequência existem no mercado muitos tipos de emissores (DALRI *et al.*, 2015). Frizzone *et al.* (2012) destacam que, no mercado nacional existem os mais diversos tipos de emissores que se diferenciam de acordo com seu posicionamento nas linhas laterais, dentre os quais estão os que podem ser inseridos em um tubo de polietileno, conhecidos como gotejador online ou do tipo “botão”, os emissores fundidos na parede interna do tubo, o gotejador integrado, além da fita gotejadora, que já vem com os emissores esculpidos em seu interior.

Modificações e formas alternativas de emissores surgem e crescem cada vez mais, sempre visando aumentar a acessibilidade ao uso de sistemas de irrigação de agricultores com baixa renda, minimizando os custos da produção e mantendo o alto desempenho. Nesses se enquadram os sistemas de irrigação localizada de baixo custo, que utilizam materiais muito baratos ou reaproveitáveis para a criação dos sistemas hidráulicos, que podem ser realizados por gravidade ou por bombas, a exemplo do sistema de irrigação com garrafa PET, muito utilizado, sobretudo, para irrigação de mudas de fruteiras. Também o sistema de irrigação do tipo “xique-xique”, que consiste na aplicação de água através de tubos perfurados e é usado frequentemente na irrigação de hortaliças (LIMA, 2016).

Assim, é de suma importância analisar as características hidráulicas desses emissores, considerando a influência do tipo de material utilizado, da geometria do emissor, e no caso das fitas gotejadoras, o diâmetro da fita e da espessura de parede, além da arquitetura interna do labirinto, para obter a maior quantidade de informações que servirão de subsídio para o dimensionamento do projeto e para o bom funcionamento do sistema de irrigação (MELO *et al.*, 2019).

2.3 Reuso de água da agricultura e qualidade de água na irrigação por gotejamento

Considerando a necessidade do homem de utilizar os recursos hídricos de boa qualidade e a necessidade de expansão da produção agrícola, a utilização de fontes de água de baixa qualidade, como é o caso das águas de reuso ou residuárias, se destacam como uma alternativa importante, por se tratar de um instrumento fundamental na gestão ambiental, quando adotadas as tecnologias apropriadas para essa utilização (MARQUES *et al.*, 2022). Diante do portfólio hídrico regional, o reuso de água é uma alternativa viável, por ser outra fonte de água além das tradicionais, para as mais diversas demandas, para o planejamento da gestão de recursos hídricos e para solucionar os conflitos relacionados ao uso da água (SOARES e SANTOS, 2021).

De acordo com Alves *et al.* (2018), o uso exitoso de efluentes na agricultura está interligado a uma etapa fundamental, que é a escolha da cultura a ser utilizada, levando em consideração as suas características fitotécnicas e socioeconômicas, associadas à inserção regional da cultura agrícola, facilitando assim, o manejo com água residuária.

A qualidade da água de irrigação é um dos fatores primordiais na implantação de um projeto e, muitas vezes, não recebe a devida importância e resulta em sérios prejuízos para o produtor. O conhecimento prévio das características físicas, químicas e biológicas da água que será utilizada na irrigação é indispensável, dado 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.

Silva *et al.* (2011) indicam que, a qualidade de água de irrigação é tradicionalmente definida pela quantidade total de sais dissolvidos e sua composição iônica. Diversos parâmetros são utilizados para determinar a qualidade da água para fins de irrigação, entretanto, é melhor avaliada quando determinada pelo conteúdo total de sais, pela composição iônica e pela proporção relativa entre as espécies de íons. Nesse cenário, a Condutividade Elétrica (CE) e o Total de Sólidos Dissolvidos (TSD) se sobressaem, pois fornecem uma medida quantitativa de total de sais dissolvidos na água de irrigação. Dentre os principais sais dissolvidos encontrados na água de irrigação evidencia-se os de sódio, cálcio e magnésio em forma de cloretos, sulfatos e bicarbonatos. Normalmente, o potássio e o carbonato estão presentes em proporções relativamente baixas. Entretanto, não se deve avaliar a qualidade da água apenas pelo conteúdo de sais presentes, mas também pela composição individual dos íons presentes. Já que, em excesso pode trazer prejuízos ao solo, às plantas e aos sistemas de irrigação (AYERS e WESTCOT, 1991).

Os autores Nakayama e Bucks (1986) propuseram os critérios específicos de qualidade de água quanto ao risco de entupimento de emissores em irrigação localizada (Tabela 1), considerando os fatores físicos (sólidos em suspensão), químicos (pH, sólidos dissolvidos, Mn, Fe, H₂S) 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
<u>Físico</u>			
Sólido em suspensão	< 50	50 - 100	> 100
<u>Químico</u>			

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
<u>Biológico</u>			
População bacteriana (NMP/ml)	< 10000	10000 – 50000	> 50000

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

2.5 Parâmetros para a avaliação do desempenho hidráulico na irrigação localizada

As avaliações hidráulicas de sistemas de irrigação por gotejamento são práticas comuns na pesquisa (BORSSOI *et al.*, 2012; REIS *et al.*, 2005), principalmente, em frutíferas como meloeiro. Segundo Antunes (2018), as realizações de avaliações periódicas são fundamentais para entender se o sistema de irrigação está adequado às condições previamente estabelecidas nas etapas de projeto, procurando sempre manter um elevado índice de eficiência, para que proporcione alta uniformidade de aplicação de água.

O conjunto de parâmetros a serem considerados na avaliação da qualidade da água para irrigação deve contemplar o conjunto de características físicas, químicas e biológicas, que definem sua adequação ou não para o uso na irrigação (SILVA *et al.*, 2014). De acordo com Rodrigues *et al.* (2013), a análise dos coeficientes de uniformidade é essencial para avaliar o desempenho de qualquer sistema de irrigação. Depois de instalar o sistema de irrigação, é fundamental a verificação periódica das condições estabelecidas inicialmente, no projeto em campo. Nesse sentido, é preciso avaliar as condições de pressão, vazão e lâminas d'água aplicadas (NASCIMENTO *et al.*, 2017).

Araújo Neto *et al.* (2015) complementam que, manter um alto índice de uniformidade é fundamental para que a irrigação se torne mais eficiente, considerando que, após a implantação do projeto de irrigação, seguindo as recomendações do fabricante, é preciso confirmar as características do sistema em campo para analisar a vazão, uniformidade de distribuição de água e eficiência de irrigação.

2.5.1 Vazão (Q)

Um dos critérios utilizados no dimensionamento de sistemas de irrigação é a variação de vazão (PINTO *et al.*, 2016; PRADO *et al.*, 2014). A ocorrência de alterações na vazão de uma linha lateral afeta o seu perfil de pressão, atingindo a uniformidade de distribuição de água. Ainda em um sistema de irrigação apresentando redução de vazão, a lâmina de água a ser aplicada também será reduzida, podendo ocasionar déficit hídrico para cultura e gerar problemas de entupimento nos emissores (PINTO *et al.*, 2016; CAMARGO *et al.*, 2013; RESENDE *et al.*, 2000). Para Mélo (2007) e Ribeiro *et al.* (2010), a quantificação da vazão em sistemas de irrigação e/ou do próprio emissor é um parâmetro de extrema confiança para determinação das alterações de forma a determinar o funcionamento, sobretudo, em função do entupimento dos emissores.

2.5.2 Uniformidade de Aplicação de água

A variabilidade da lâmina de irrigação aplicada sobre o solo consiste na uniformidade de aplicação, que pode ser representada por meio de diversos coeficientes, a exemplo do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e do Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE) (MACAN *et al.*, 2017; SOLOMON *et al.*, 1984) que são mais utilizados na irrigação localizada por gotejamento.

A uniformidade de distribuição de água é um critério de dimensionamento para todos os sistemas de irrigação (WANG *et al.*, 2015). Para Cunha *et al.* (2014), esse critério é fator essencial para o sucesso do empreendimento, Ribeiro *et al.* (2012) complementam que, para um manejo de água eficiente é necessário o maior valor possível de uniformidade de aplicação pelos emissores, pois, com a fertirrigação sucessiva, algumas plantas podem passar a receber quantidades menores de fertilizantes que outras, fazendo com que haja respostas diferentes de produção. Segundo Santos *et al.* (2015), um sistema de irrigação que apresenta baixa uniformidade de distribuição de água indica que, determinadas plantas estão recebendo mais água e adubo do que outras, o que significa um desenvolvimento desuniforme dentro da cultura.

O Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), apresentado originalmente por Keller e Karmeli (1974), indica a uniformidade de aplicação ao longo do sistema e se baseia na razão entre as vazões mínimas e médias dos emissores. Em um sistema de irrigação projetado de maneira adequada, a uniformidade de aplicação de

água pode chegar a ser acima de 90%, no entanto, alguns fatores podem interferir na uniformidade de distribuição da água nos sistemas de irrigação localizada, como pressão de serviço do emissor, velocidade da água na tubulação, alinhamento da linha lateral e entupimento dos emissores. De acordo com Bralts (1986), o CUD pode ser classificado de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2. Classificação dos valores da uniformidade de distribuição de água (CUD)

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

Fonte: Mantovani (2001)

A uniformidade de aplicação de água é afetada por fatores hidráulicos, qualidade dos gotejadores e da água, o uso da fertirrigação com sais que podem ocasionar o entupimento dos emissores (CUNHA *et al.*, 2013). Conforme Nascimento *et al.* (2017), um funcionamento adequado do sistema de irrigação consiste, essencialmente, na manutenção da produtividade e rentabilidade em sistemas de produção agrícola irrigados, dado que a uniformidade da irrigação tem efeito no rendimento das culturas, sendo considerado um dos fatores mais importantes no dimensionamento e na operação de sistemas de irrigação. Carmo *et al.* (2016) enfatizam que, para que o sistema de irrigação apresente alta uniformidade de distribuição de água, a adoção de práticas de manejo precisa ser simples, e também destacam a limpeza periódica mais criteriosa do sistema de filtragem, possibilitando maior pressão nos pontos de emissão, bem como desentupimento dos emissores e limpeza das linhas laterais.

2.5.3 Coeficiente de variação de fabricação (CV_f) e de vazão (CV_q)

De acordo com Dalri *et al.* (2015), o Coeficiente de Variação de Fabricação (CV_f) advêm do projeto do gotejador, relacionado ao material utilizado em sua fabricação e da qualidade de fabricação. Este coeficiente é obtido nas palavras de Keller e Bliesner (1990), pela razão do desvio padrão (S) da amostra pela vazão média (Q_m). Souza *et al.* (2012) apontam que, o acompanhamento da qualidade de fabricação dos emissores é de grande importância, por causa da instabilidade das vazões entre os emissores, em lotes que apresentam coeficiente de fabricação alto, podendo ocorrer

também na irrigação superficial. Para realizar a classificação dos emissores novos por meio do coeficiente de variação de fabricação, a Associação Brasileira de Normas Técnicas, em sua norma NBR ISO 9261 (2006), recomenda que os valores não devem divergir de $\pm 7\%$ (ABNT, 2006).

Com o decorrer do tempo de funcionamento das unidades gotejadoras, o coeficiente para ser denominado como coeficientes de variação da vazão por refletir as variações na vazão ao longo do período de irrigação, sob determinadas condições. Sendo assim, quanto menor for esse parâmetro, melhor será para a irrigação, como pode ser observada na classificação sugerida por Solomon (1984), para a análise do comportamento hidráulico dos emissores no gotejamento (Tabela 3).

Tabela 3. Classificação dos valores de coeficiente de variação de vazão (CV_q) para irrigação por gotejamento, segundo Solomon (1984)

CV _q (%)	CLASSIFICAÇÃO
≤ 3	Excelente
3,00 – 7,00	Média
>7,00 – 10,00	Baixa
>10,00 – 14,00	Pobre
> 14	Inaceitável

Fonte: SOLOMON (1984)

Alvino *et al.* (2017) enfatizam que, é de fundamental importância no controle de qualidade a determinação do coeficiente de variação de fabricação CV_f em emissores, tubos ou fitas gotejadoras, no caso estudado por eles, as porosas. Sobre o assunto, Souza *et al.* (2012) observam que, é primordial o controle de qualidade na fabricação dos emissores, uma vez que, há grande variabilidade de suas vazões, em lotes com coeficiente de variação de fabricação alto, e que possa ocorrer também em sistema superficial.

2.5.4 Eficiência de Aplicação (Ea)

Pode-se afirmar que, eficiência de aplicação representa um balanço entre os volumes de água que estão envolvidos no processo de irrigação (SILVA e SILVA, 2005; BERNARDO, 2006). Sendo assim, ela consiste na relação do volume de água disponível para a cultura e o volume que será aplicado pelo emissor, necessitando de um dimensionamento correto do sistema de irrigação, com equipamentos adequados e um manejo racional da água, fazendo com que seu valor fique entre 80 e 90%

(CONCEIÇÃO *et al.*, 2019). A eficiência de aplicação de água para emissores do tipo gotejador pode ser classificada conforme Bernardo *et al.* (2006), vide a Tabela 4.

Tabela 4. Classificação dos valores de Eficiência de irrigação (Ea) para irrigação por gotejamento

Ea	CLASSIFICAÇÃO
≥95	Excelente
80-95	Bom
70-80	Médio
<70	Ruim

Fonte: BERNARDO *et al.* (2006)

De acordo com Chaudhry (2017), o uso e a eficiência da água (UEA) fornecem informações para lâmina de água realizar a aplicação sem alterar a produção, mantendo as quantidades de outros insumos utilizados. O termo eficiência de irrigação é amplamente utilizado, tanto em projetos como no manejo dos sistemas de irrigação, podendo ser dividido em uniformidade de aplicação e nas perdas que podem acontecer durante a operação do sistema (SOUZA *et al.*, 2006; KELLER e BLIESNER, 1990).

A fim de garantir a máxima eficiência faz-se necessária a adoção de medidas que envolvam o manejo adequado do sistema de irrigação por gotejamento, como a seleção do emissor mais adequado, seleção e manutenção do sistema de filtragem, monitoramento da qualidade da água de irrigação e avaliações periódicas de uniformidade de aplicação (NASCIMENTO *et al.*, 2016).

2.5.5 Grau de entupimento (GE)

Outro fator importante quando se deseja avaliar um emissor do tipo gotejador, é o grau de entupimento. A qualidade da irrigação e a segurança do sistema dependem da seleção do emissor e dos critérios de projeto, tendo como principais fatores envolvidos na eficiência dos sistemas de micro irrigação, a variação de vazão dos emissores causada pelo processo de fabricação, a aproximação da relação vazão-pressão com as especificações de projeto, o expoente de descarga do emissor, a variação de pressão permitida, a perda de carga localizada causada pela inserção do emissor na linha lateral, a sensibilidade ao entupimento, estabilidade da relação vazão-pressão com o tempo, a porcentagem de área molhada pelo emissor, qualidade da filtração e o grau de automação (NASCIMENTO *et al.*, 2016; FRIZZONE *et al.*, 2012).

Os emissores dos sistemas de irrigação localizada possuem uma alta suscetibilidade ao entupimento, causando danos ao funcionamento do sistema, prejudicando suas características de operação e fazendo com que haja a necessidade da realização de manutenções com mais frequência (BATISTA *et al.*, 2013). Quanto ao nível de entupimento, eles podem ser classificados segundo o que propõe MORATA *et al.* (2014), exposto na Tabela 5.

Tabela 5. 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
90 – 100	Muito alto

Fonte: MORATA *et al.* (2014)

Macan *et al.* (2017) informam que, o entupimento parcial ou total dos emissores dos sistemas de irrigação localizada ocasiona redução na uniformidade de distribuição de água e pode causar excesso de irrigação em parte da produção, já que para garantir que sejam supridas todas as necessidades hídricas das plantas comumente se faz o aumento do volume de água aplicado.

Nas pesquisas de Yavuz *et al.* (2010), o problema do entupimento pode ocorrer mesmo quando todos os fatores relativos ao emissor são adequados para uma distribuição de água uniforme. Fatores como a qualidade de água, geometria dos orifícios, sistema de filtragem e sensibilidade do emissor à temperatura e variações de pressão, também interferem no entupimento dos emissores, os autores Zocoler *et al.* (2015) também compartilham da mesma perspectiva.

2.6 Controle estatístico de qualidade (CEQ)

O controle estatístico de qualidade (CEQ) surgiu a partir do reconhecimento da variabilidade dos produtos na indústria. Para Oliveira *et al.* (2018), essa ferramenta está sendo cada vez mais implantada nas indústrias brasileiras, seja por imposição do cliente ou pela própria iniciativa da empresa, com o objetivo de ter mais ganhos na produtividade e na qualidade de seus produtos, se tornando uma ferramenta indispensável para sua consolidação no cenário mundial. De acordo Follador *et al.* (2012), o controle estatístico de qualidade é vital por permitir que falhas sejam

detectadas. Mais do que isso, sua função é importante ao possibilitar informações para não somente detectar os defeitos, como também enfatizar a necessidade de melhoria no processo. Ou seja, terá a função de identificar as falhas no processo, definir suas causas e apontar formas para que não se repitam (MONTGOMERY, 2009).

O controle estatístico de qualidade (CEQ) surge como uma técnica que consiste em analisar o processo, estabelecer padrões, comparar desempenhos, verificar e estudar desvios, buscar e implementar soluções, analisar novamente o processo após as modificações, buscando a melhor performance de máquinas e/ou pessoas (MONTGOMERY, 2009). Dentro do CEQ, uma das áreas de destaque é o controle estatístico de processo (CEP), que corresponde a parte mais quantitativa do CEQ, e conforme BALDASSO *et al.* (2020) e Lopes *et al.* (2018) é considerado um sistema de inspeção por meio de amostragem, que apresenta um conjunto de ferramentas para a realização do monitoramento da qualidade, em que por meio dessas ferramentas é possível ter de maneira detalhada o comportamento do processo, identificando sua variabilidade e propiciando seu controle ao longo do tempo. Os autores Silva e Rosa (2018) destacam que, o CEP é um método constituído por um conjunto de técnicas estatísticas utilizadas com o objetivo de monitorar a variabilidade de determinado processo, com o intuito de detectar comportamentos anômalos, para que se possa agir e realizar a correção.

Conforme Hermes (2013), as cartas ou gráficos de controle estatístico são uma das principais ferramentas utilizadas no monitoramento do desempenho de processo, tendo como principal objetivo diferenciar a ocorrência de causas espaciais, que provocam mudanças importantes no processo daquelas provocadas por causas comuns ou aleatórias. Frigo (2012) acrescenta que, ele plota as médias das medidas de uma característica de qualidade em amostras do processo, em relação ao tempo ou número de amostras. Dentre os diversos tipos de cartas de controle, as mais utilizadas são as de Shewhart para medidas individuais, devido a sua facilidade de construção e interpretação. Elas podem ser aplicadas em situações em que o tamanho da amostra para monitoramento do processo é $n = 1$, ou seja, de uma única unidade individual. Em muitas aplicações dos gráficos de controle para unidades individuais usa-se a amplitude móvel das observações consecutivas como base para estimar a variabilidade do processo.

Um gráfico de controle é composto de três linhas paralelas: uma linha média que reflete o nível de operação do processo, e duas linhas externas denominadas de limite superior de controle (LSC) e limite inferior de controle (LIC), calculados em função do desvio padrão de alguma variável do processo (MONTGOMERY, 2009). Segundo Werkema (1995), quando os pontos da carta de controle estiverem dentro dos limites de controle e a disposição destes for aleatória, o processo é considerado sob controle estatístico. Todavia, Baldasso *et al.* (2020) mostram que, se os pontos saírem dos limites de controle, ou não demonstrarem uma distribuição aleatória, o processo é fora de controle. Referente à quantidade de amostras a serem coletadas, Montgomery (2004) afirma que, é altamente recomendável que se tenha de 20 a 25 amostras ou subgrupos de tamanho n , para a realização dos cálculos dos Limites Tentativos (referentes ao passado) de controle. Oliveira *et al.* (2013) complementam que, não há uma regra geral para determinar a quantidade de ensaios a serem realizados, mas confirmam que, a coleta dessa faixa de amostras sugerida por Montgomery (2004) com 4 ou 5 repetições de cada uma delas, é considerada adequada para fornecer estimativas preliminares.

Entretanto, segundo Morais (2018), as cartas de controle de Shewhart para medidas individuais não possuem sensibilidade suficiente para diagnosticar pequenas variações nos processos, porque fazem uso da informação da última amostra, desprezando as demais. Além disso, uma maneira de aumentar a detecção das variações de menor intensidade se dá pela acumulação de informações das amostras, como é realizado nas cartas de controle da Média Móvel Exponencialmente Ponderada (MMEP) e da soma acumulada (CUSUM), os quais segundo Zwetsloot e Woodall (2017) apresentam desempenho bem semelhantes, no que se refere a precisão da situação do processo.

De acordo Cassia (2016), as cartas de controle da Média Móvel Exponencialmente Ponderada (MMEP) são representadas por valores individuais e pelos da média móvel de abrangência (w) estipulados, em virtude da rigurosidade a ser implementada na análise, sendo o número de valores individuais apresentados correspondente ao valor da média móvel de abrangência. Os autores Castagliola *et al.* (2009) enfatizam que, as cartas de MMEP são uma ferramenta útil no monitoramento da variabilidade de uma característica que indica qualidade e são utilizadas, em especial,

para detectar deslocamentos persistentes no processo, com a vantagem principal de possibilitar deslocamentos pequenos e moderados.

Com relação as cartas de controle da soma acumulada, ou de cartas de controle CUSUM, Werner *et al.* (2020) dizem que, elas foram propostas por E. S. Page em 1954, e ao longo do tempo sofreram diversas aplicações, nelas é definido como um número de qualidade um parâmetro θ da distribuição de probabilidade para ser monitorado, em geral, a média é o parâmetro rotineiramente escolhido. O método desenvolvido E. S. Page visa detectar mudanças neste parâmetro, propondo um critério de decisão para iniciar ações corretivas, incorporando de forma direta toda a informação na sequência de amostras, plotando a soma cumulativa dos desvios da amostra em relação ao alvo do parâmetro θ , que neste caso é a média. Considerando para isso amostras unitárias, a diferença entre valor mensurado na amostra x_i e o alvo do processo θ_0 é calculada e somada cumulativamente ao longo das amostras. Sendo assim, as cartas de controle da soma acumulada (CUSUM) armazenam informações de todos os pontos, fazendo com que o diagnóstico das pequenas variações seja mais fácil, tornando essas cartas com qualidade superior para situações específicas, reduzindo os incidentes de alarme falso, que correspondem ao erro de afirmar que, o processo está fora de controle quando na realidade está sob controle (ANDRADE, 2016; SAMOHYL, 2009).

As ferramentas de controle estatístico de qualidade são perfeitamente adaptáveis no âmbito dos sistemas de produção agrícola, tendo em vista que, a partir da correção e da eliminação dos desperdícios e das falhas, há redução dos custos, aumento da produtividade e o acréscimo de inúmeras vantagens na competitividade do campo (HERMES, 2010). Sobre a questão, Montgomery (2009) informa que, são ferramentas que podem realizar avaliações ao longo de um período estabelecido, observando a variabilidade em função do tempo, sendo geralmente, utilizadas quando o processo se encontra estável, ou seja, está sob controle estatístico e quando a variável que se busca analisar se encontra próxima da distribuição normal.

Vários estudos indicam a viabilidade da utilização das técnicas de controle estatístico de qualidade nos sistemas de produção agrícola. Cosmo *et al.* (2021) avaliaram em seu experimento, o uso de cartas de controle estatístico de qualidade e da condutividade elétrica no monitoramento da uniformidade de diferentes soluções de fertirrigação via gotejamento. Os autores Gomes *et al.* (2020), pesquisaram em seu

projeto a uniformidade de distribuição de água em unidades de irrigação por gotejamento abastecidas por águas residuárias, com o auxílio do controle estatístico de qualidade. Morais (2018) analisou em seu estudo o monitoramento de unidades gotejadoras, a partir da análise dos Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC), de Uniformidade de Distribuição (CUD) e de Uniformidade Estatístico (CUE), bem como pelo uso das técnicas de controle de qualidade.

Em seu estudo Ferreira (2015) observou a aplicação das técnicas de controle estatístico de qualidade no monitoramento e na avaliação de diferentes modelos de emissores comumente utilizados no gotejamento, operando com água de abastecimento e com efluente de reator anaeróbio. Em sua pesquisa Silva *et al.* (2015), avaliaram o controle estatístico de processo por meio da aplicação das cartas de medidas individuais de Shewhart, e do índice de capacidade do processo em emissores autocompensantes ao serem irrigados com águas de diferentes concentrações salinas.

2.6 Água residuária de fecularia (Manipueira): Características e seu uso na agricultura

A utilização de águas residuárias na agricultura pode ser uma alternativa viável, quando se trata do uso racional dos recursos hídricos, em razão da possibilidade de redução da quantidade de adubos minerais aplicados no solo e de águas de qualidade superior na irrigação, que poderiam estar sendo utilizadas para os mais diversos fins. Daí o manejo de culturas para serem irrigadas com águas residuárias se mostra uma alternativa viável nos âmbitos sociais, ambientais e econômicos, considerando que, as altas concentrações de nutrientes presentes nessas águas podem aumentar o rendimento agrícola por meio de melhorias ocasionadas na fertilidade do solo ((RAMOS *et al.*, 2022). Segundo Araújo *et al.* (2017), em geral, as águas residuárias apresentam elevados teores de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco e manganês.

Os autores Santos *et al.* (2020), ressaltam o uso de águas residuárias como alternativa bastante atrativa para os pequenos agricultores, uma vez que, visa a conservação dos recursos naturais e a redução dos impactos ocasionados pela adubação mineral. Dentre as mais diversas águas residuárias disponíveis, se encontra as águas de fecularias, conhecidas popularmente como manipueira, obtidas a partir do beneficiamento da mandioca para a produção de farinha ou amido, consideradas um fertilizante natural ou biofertilizante de baixo custo, comum em regiões em que

predomina a agricultura familiar (CARVALHO *et al.*, 2021). De acordo com Araújo *et al.* (2014), a manipueira é um resíduo líquido constituído das raízes da mandioca, que possui aspecto leitoso, coloração amarelo-clara e odor fétido. A manipueira pode ser utilizada para diversos fins como, por exemplo, na transformação em energia, fonte de calor, alimentação de animais, fertirrigação, inseticida, nematicida e substrato para os microorganismos, os mesmos apontamentos de Pereira *et al.* (2020) e Wosiacki (2002).

Com relação a sua utilização na agricultura como fertilizante natural ou biofertilizante há diversas pesquisas para as mais distintas culturas agrícolas, dentre os autores estão Elias *et al.* (2021) que ao estudarem a utilização da manipueira na produção sustentável de tomateiros encontraram que, ela foi eficiente como biofertilizante, na fertirrigação subsuperficial, contribuindo na manutenção dos valores de pH e na matéria orgânica do solo. Os autores Santos *et al.* (2021) ao analisarem o uso da manipueira, como água para irrigação na horticultura constataram maior vigor e maior nutrição nas plantas irrigadas com manipueira, além de notarem que não houve a aparição de pragas. Os autores Souza *et al.* (2021), em seu estudo analisando o efeito de biofertilizante bovino, *Trichoderma* e manipueira que o uso desses biofertilizantes afetaram positivamente do desenvolvimento de espigas de milho da cultivar Verdão, considerando a adubação orgânica como uma opção quanto a substituição da adubação mineral. Ao pesquisarem sobre a resposta da produção de coentro a diferentes doses de manipueira os autores Costa *et al.* (2021) notaram que, doses mais elevadas supririam a demanda nutricional da cultura.

Quando se trata do efeito do uso da manipueira nos equipamentos de irrigação, como nos gotejadores se destacam pesquisadores como Hermes (2010) e é perceptível a necessidade de pesquisas nesse âmbito, pela importância de se analisar a melhor forma de utilizar esse resíduo de alto teor nutricional para as culturas nos sistemas de irrigação. Encontrando uma maneira correta de utilizar a Manipueira, considerando todos os cuidados necessários, para não prejudicar o meio ambiente, posto que, a elevada carga orgânica e a presença de cianeto em sua composição, faz com que o lançamento sem nenhum controle altere os atributos físicos e químicos do solo, e contamine os recursos hídricos superficiais e subterrâneos (AMORIM *et al.*, 2021; DUARTE *et al.*, 2013).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 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 Köppen 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 onde foi desenvolvida a pesquisa, Campus da UFCG, Campina Grande – PB (2020).

3.2 Caracterização do experimento

3.2.1 Bancadas experimentais e montagem das unidades gotejadoras

O experimento foi composto por três unidades gotejadoras instaladas em bancadas experimentais desenvolvidas por Ferreira (2015), confeccionadas em madeira com 0,60 m de largura por 4,40 m de comprimento e apoiadas em cinco peças de 1,20 m de altura, distanciadas 1,10 m; com uma parte superior constituída por uma moldura

de 4,40 x 0,60 m, com espessura de 0,05m e três peças de madeira de 0,05 x 0,6 m, colocadas ao longo da moldura distanciadas 1,10 m cada (Figura 2).

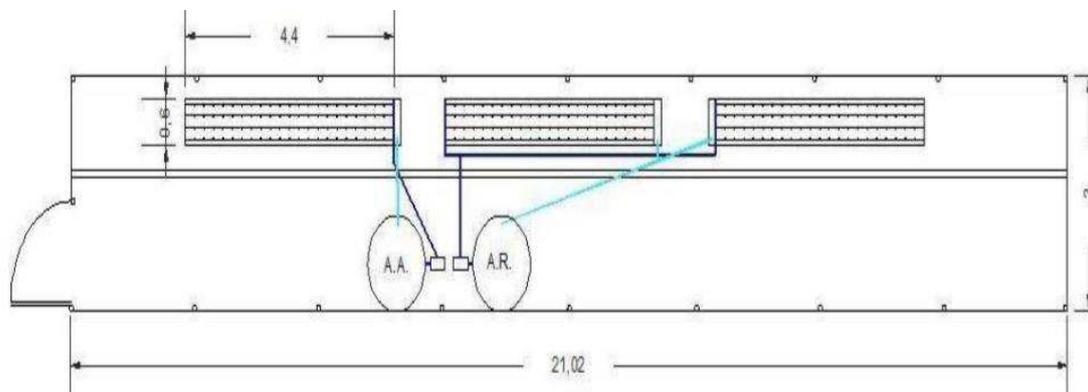


Figura 2. Layout das bancadas experimentais

Fonte: Ferreira, 2015.

Cada uma das bancadas possuíam capacidade para a instalação de quatro linhas laterais, posicionadas paralelamente, com espaçamento de 0,15 m. Cada unidade de irrigação foi composta por: eletrobomba com vazão máxima de 35 L/min de ½ CV (monofásica) 220 V, reservatório de água com capacidade de 500 litros (caixa d'água de fibra de vidro), filtro de disco de 120 mesh, dois manômetros de glicerina (um na saída da bomba e outro na extremidade final da linha principal), válvula de retenção, registro de globo, tubos de PVC, conexões, fitas gotejadoras e gotejadores. Todas as bancadas contavam com prateleiras móveis de madeira, utilizadas apenas durante as avaliações das unidades de irrigação, para suportar os recipientes coletores de água. Após as avaliações, as prateleiras eram removidas para permitir que a água gotejada fosse reconduzida para o reservatório, alimentando o processo de recirculação. Em que, por meio de telhas de fibra de vidro a água que foi liberada pelos emissores era recolhida, caía na calha, e era direcionada novamente ao reservatório (caixa d'água).

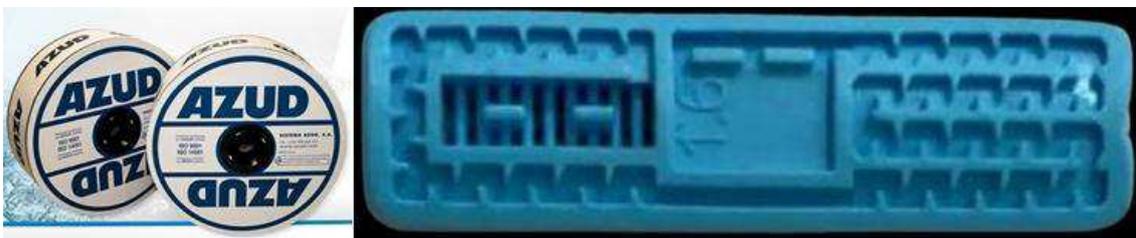
3.2.2 Modelos das fitas gotejadoras analisadas

No experimento foram utilizados quatro modelos de fitas gotejadoras comercializadas no mercado local, cujas características estão descritas na Tabela 6 e na Figura 3.

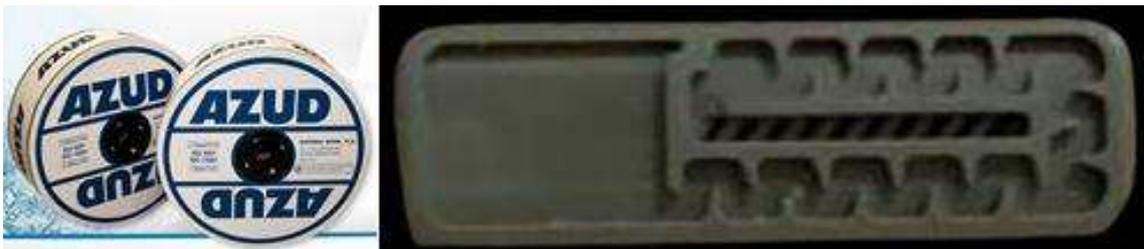
Tabela 6. Especificações técnicas das fitas gotejadoras ¹

Nomenclatura	Fabricante	Modelo	DA	Q* (L h ⁻¹)	k	x	PN (kPa)	DN (mm)	EE (m)
M1	Azud	On Line	Não	1,61	0,49	0,5	50-125	16	0,20
M2	Azud	Sprint	Não	1,61	0,49	0,5	50-125	16	0,20
M3	Rivulis	D9000	Não	1,41	-	-	100	16	0,20
M4	Petroisa	Tiquira	Não	1,51	0,46	0,5	100	16	0,20

(DA) = dispositivo de autocompensação, (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 nos catálogos dos fabricantes.



(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 3. Ilustração dos gotejadores M1 (A), M2 (B), M3 (C) e M4 (D) utilizados na pesquisa
 Fonte: (A) e (B) Autora, 2020; (C) Google, 2020.

3.2.3 Coleta e caracterização das águas utilizadas na irrigação das unidades gotejadoras

Para a realização dos ensaios utilizou-se água proveniente do abastecimento público do município de Campina Grande - PB fornecida pela Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba - CAGEPA. E água residuária de fecularia, de uma casa de farinha localizada na zona rural do município de Puxinanã – PB.



Figura 4. Casa de farinha de mandioca, localizada no povoado de Samambaia, município de Puxinanã - PB. Local onde foi coletada a água residuária utilizada ao longo do experimento.
 Fonte: Autora, 2022

As coletas da água residuária foram realizadas no local ao longo de um dia de produção, armazenadas em recipientes de plásticos com capacidade para 25 L e transportadas para Laboratório de Engenharia de Irrigação e Drenagem (LEID). Ao chegarem passaram pelo processo de digestão anaeróbia por um período de 30 dias, utilizando a metodologia proposta por Araújo *et al.* (2019), realizada em um recipiente

de plástico com capacidade para 80 L, contendo um espaço vazio de 10 cm em seu interior e fechado. Na tampa foi instalada uma mangueira com um lado fixo no recipiente e a outra extremidade mergulhada em um recipiente de água a uma altura de 10 cm, para a liberação dos gases produzidos durante a biodigestão do efluente. Logo após, a água residuária de fecularia foram filtradas em uma tela de nylon de 60 microm, instalada na parte superior do reservatório com capacidade para 200L para armazenamento na área experimental.

A água residuária de fecularia utilizada na pesquisa passou por análise no Laboratório de Referência em Dessalinização -LABDES/UFCG e no Laboratório de Controle de qualidade do SENAI – Campina Grande - PB, em conformidade com as recomendações do Standard Methods (APHA, 2005) para a obtenção das características físico-químicas e microbiológicas observadas na Tabela 7.

Tabela 7. Características físico-químicas e microbiológicas da água residuária de fecularia utilizada na pesquisa

Parâmetros ¹	Unidades	Resultados
CE	dS m ⁻¹ a 25°C	13,68
pH	-	3,6
Turbidez	uT	449,0
Cor, Unidade Hazen	mg Pt-Co L ⁻¹	936,0
Dureza em cálcio	mg L ⁻¹	380,0
Dureza em magnésio	mg L ⁻¹	1.440,0
Dureza total	mg L ⁻¹	6.950,0
Sódio	mg L ⁻¹	671,5
Potássio	mg L ⁻¹	34,1
Alumínio	mg L ⁻¹	0,63
Ferro total	mg L ⁻¹	1,11
Alcalinidade em Hidróxidos	mg L ⁻¹	0,0
Alcalinidade em Carbonatos	mg L ⁻¹	0,0
Alcalinidade em Bicarbonatos	mg L ⁻¹	0,0
Alcalinidade Total	mg L ⁻¹	0,0
Sulfato	mg L ⁻¹	75,9
Fósforo Total	mg L ⁻¹	139,8
Cloreto	mg L ⁻¹	6.035,0
Nitrato	mg L ⁻¹	2,82
Nitrito	mg L ⁻¹	0,118
Amônia	mg L ⁻¹	99,61
Sílica	mg L ⁻¹	83,7
ISL (<i>Índice de Langelier</i>)	-	-6,88
Sólidos Suspensos	mg L ⁻¹	55.466
STD (<i>Sólidos totais dissolvidos a 180°C</i>)	mg L ⁻¹	8.824,5
Coliformes Totais	-	0,0

¹Os 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).

A caracterização da água residuária oriunda de fecularia seguiu a classificação

proposta por Nakayama e Bucks (1986) de acordo com os fatores físicos, químicos e biológicos referentes à qualidade de água, quanto ao risco de obstrução dos emissores utilizados na irrigação localizada por gotejamento, os quais estão: potencial hidrogeniônico (pH), sólidos em suspensão (Ss), turbidez, sólidos dissolvidos, ferro (Fe), sulfetos de hidrogênio (H₂S), manganês (Mn), concentração de algas e bactérias.

Ao constatar que os parâmetros físico-químicos e biológicos presentes na água residuária de fecularia bruta estavam bem acima dos limites estabelecidos para a irrigação por gotejamento, baseada na classificação proposta por Richards (1954) para água de irrigação em função da condutividade elétrica (CE), foi realizada a diluição em água de abastecimento urbano na proporção 1:30, sendo uma parte de água residuária de fecularia em trinta partes de água de abastecimento urbano, mantendo-a uma CE de 0,65 dS m⁻¹, classificada como C2.

3.3 Condução do experimento

O experimento transcorreu no período de novembro de 2019 a dezembro de 2020, com o intuito de avaliar a sensibilidade de diferentes unidades gotejadoras ao uso de água de abastecimento urbano e água residuária de fecularia diluída na irrigação. As unidades gotejadoras foram instaladas em bancadas de testes, com capacidade para quatro linhas laterais, em que a unidade gotejadora 1 operou com água de irrigação proveniente do abastecimento urbano do município de Campina Grande – PB, denominada AA, e as unidades gotejadoras 2 e 3 submetidas à irrigação com água de irrigação da diluição de água residuária de fecularia, denominada AR.

Vale ressaltar que, no primeiro mês todas as unidades gotejadoras foram acionadas duas horas/dia apenas com água de abastecimento urbano, com a finalidade de reparar e propiciar as melhores condições experimentais, para em seguida, dá início ao uso de água residuária de fecularia diluída na irrigação. Para a análise dos quatro modelos de fitas gotejadoras, considerando a capacidade das bancadas de testes em que foram instaladas as unidades gotejadoras, os modelos de fitas estudados passaram por análise em períodos diferentes, de modo que, inicialmente, foram analisados os modelos de fitas gotejadoras M1 e M2 ao serem submetidos à irrigação com água de abastecimento urbano e com água de residuária de fecularia diluída e, por conseguinte, os modelos de fitas gotejadoras M3 e M4 nas mesmas condições. Sendo então, analisados oito tratamentos, dispostos nas Tabela 8.

Tabela 8. Tratamentos utilizados nas unidades gotejadoras

Tratamentos	Unidade Gotejadora	Modelo	Tipo de água
AAM1	UG1	Azud Line	AA ¹
AAM2	UG1	Azud Sprint	AA ¹
AAM3	UG1	Rivulis D9000	AA ¹
AAM4	UG1	Tiquira	AA ¹
ARM1	UG2	Azud Line	AR ²
ARM2	UG2	Azud Sprint	AR ²
ARM3	UG3	Rivulis D9000	AR ²
ARM4	UG3	Tiquira	AR ²

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

² Água de irrigação obtida a partir da diluição de água residuária de fecularia diluída em água de abastecimento urbano.

3.3.1 Procedimento de coleta dos dados e análise das unidades gotejadoras

Cada unidade gotejadora foi monitorada por meio de avaliações, em que se procedeu a coleta dos volumes de água dos emissores selecionados, seguindo a metodologia proposta por Denículi *et al.* (1980), a qual 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 possuía quatro linhas laterais, todas foram avaliadas, sendo selecionados o primeiro, que estava a 1/7, 2/7, 3/7, 4/7, 5/7, 6/7 do comprimento da linha lateral e o último emissor.

A coleta dos volumes das quatro linhas laterais se deu de forma simultânea, com o auxílio de recipientes de plástico com volume de 300 ml, sendo aferidos com o auxílio de proveta graduada de 100 ml, de acordo com a norma NBR ISO 9261 (2006), que recomenda para avaliação das características hidráulicas e técnicas de gotejadores um tempo de ensaio superior a 3,5 minutos e no mínimo três repetições, no caso do experimento um tempo pré-estabelecido de 5 minutos cronometrados, admitindo uma defasagem de 20 segundos de um gotejador para outro e com quatro repetições. Ao total foram realizadas 25 avaliações para a obtenção dos indicadores de desempenho hidráulico a cada 20 horas de funcionamento, com um tempo de funcionamento diário de 10 horas/dia, sendo distribuído da seguinte forma: 7h às 12h e 13h às 18h, totalizando 480h de funcionamento.

Todas as unidades gotejadoras funcionaram com a pressão pré-estabelecida de 100 kPa, aferida e controlada por meio de dois manômetros de glicerina, um na saída da

bomba centrífuga e outro ao final da unidade gotejadora. Ao atingir o tempo de funcionamento pré-estabelecido (480h) as fitas gotejadoras M1 e M2 foram retiradas, codificadas, armazenadas e substituídas pelas fitas gotejadoras dos modelos M3 e M4. Analisando assim, os possíveis danos ocasionados em cada modelo em função do tempo de exposição à irrigação apenas com água de abastecimento urbano (AA) e com água de residuária de fecularia diluída (AR).

A partir da coleta dos volumes de água foram determinadas as vazões médias (Q), os coeficientes de variação de vazões (CV_q), as equações características de cada emissor, o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), a eficiência de aplicação (Ea) e o grau de entupimento (GE) para cada unidade gotejadora analisada, conforme as equações de 1 a 6 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.

A equação característica do emissor, será determinada de acordo com a equação seguinte (FRIZZONE *et al.*, 2012):

$$q \cong k * h^x \quad \text{Eq. (2)}$$

Em que:

q – vazão do gotejador, L h⁻¹;

k – coeficiente de vazão (constante), adimensional;

H – pressão de serviço, kPa; e

x – expoente do emissor que caracteriza o regime de escoamento, adimensional.

Os Coeficientes de Variação em função da vazão (CV_q) foram obtidos por meio da divisão do desvio-padrão, pela média das vazões dos gotejadores (KELLER e BLIESNER, 1990), de acordo com equação 3.

$$CV_q = \frac{\delta}{\bar{x}} \quad \text{Eq. (3)}$$

Em que:

δ - desvio-padrão da amostra; e

\bar{x} - média das vazões dos emissores novos (L h⁻¹).

$$CUD = 100 \cdot \frac{q_{25\%}}{q_m} \quad \text{Eq. (4)}$$

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).

Por meio do resultado do CUD, pode-se ter a eficiência de aplicação de água da unidade gotejadora, dada pela equação 5, proposta por Merriam e Keller (1978).

$$Ea = CUD \times 0,9 \quad \text{Eq. (5)}$$

Com o cálculo do grau de entupimento (GE) dos gotejadores, foi possível acompanhar as mudanças nas características hidráulicas ao longo do tempo, bem como a sua sensibilidade ao entupimento, onde se fez uma relação entre a vazão dos gotejadores usados e novos, conforme equação 6:

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

Em que:

GE – grau de entupimento, %;

q_{usado} – vazão do gotejador usado, L h⁻¹;

q_{novo} – vazão do gotejador novo, L h⁻¹.

Os coeficientes de desempenho hidráulico para cada uma das unidades gotejadoras estudadas foram classificados seguindo os limites e critérios estabelecidos pela literatura específica (Tabela 9). O CUD foi classificado com base em Mantovani (2001), o CV_q pela proposta de Solomon (1984), a Ea de acordo com Bernardo *et al.* (2006) e o GE seguindo Morata *et al.* (2014).

Tabela 9. Interpretação dos valores de CUD, CV_q , Ea e GE - coeficientes de desempenho hidráulico das unidades gotejadoras

CLASSIFICAÇÃO	CUD ¹ (%)	CV _q ² (%)	Ea ³ (%)	GE ⁴ (%)
---------------	----------------------	----------------------------------	---------------------	---------------------

Excelente / Sem entupimento	> 84	≤ 3	≥ 95	<0
Bom /Médio/ Baixo	68 – 84	3 – 7	80-95	0 – 10
Razoável / Baixa/ Regular/ Médio	52 – 68	>7 – 10	70-80	10 – 40
Ruim / Pobre/ Alto	36 – 52	>10 – 14	<70	40 – 90
Inaceitável / Muito alto	< 36	> 14	-	90 – 100

Fonte: ¹Mantovani (2001); ²Solomon (1984); ³Bernardo *et al.* (2006); ⁴Morata *et al.* (2014)

Após a coleta, os dados foram tabulados com o auxílio do Programa Excel de planilha eletrônica e analisados por meio do programa computacional Minitab. Foi determinada a normalidade dos dados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, com a modificação de Lilliefors (LILLIEFORS, 1967), e calculada a estatística descritiva para cada um dos tratamentos aplicados.

Visando monitorar o desempenho hidráulico das quatro unidades gotejadoras operando com água de abastecimento urbano e água residuária de fecularia diluída, utilizou-se três tipos de gráficos de controle:

- a) Cartas de controle de Shewhart: Amostras individuais determinando os limites de controle superior (LCS), central (LC) e inferior (LCI) de acordo com as equações seguintes:

$$LSC = \bar{x} + 3\sigma \quad \text{Eq.(7)}$$

$$LSC = \underline{x} - 3\sigma \quad \text{Eq.(8)}$$

$$\sigma = MR. (d^2)^{-1} \quad \text{Eq.(9)}$$

Em que:

LSC - Limite Superior de Controle;

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

σ - Estimador do desvio-padrão populacional;

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

MR - Amplitude amostral média.

- b) Cartas de controle MMEP: Construídos por meio das variáveis valor médio e

número da amostra i , ou tempo. A partir da seguinte equação (10).

$$z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)z_i - 1 \quad \text{Eq. (10)}$$

Em que:

i - Número de amostras;

Z_i - Valores plotados no gráfico;

λ - Fator de suavização, constante que varia entre 0 e 1, sendo λ utilizado de 0,20;

x_i - Valores individuais ou reais encontrados no processo.

Os cálculos dos limites de controle dos gráficos de controle MMEP foram realizados utilizando as equações 11 e 13.

$$LSC = \bar{x} + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}} [1 - (1 - \lambda)^{2i}] \quad \text{Eq. (11)}$$

$$LSC = \bar{x} \quad \text{Eq. (12)}$$

$$LSC = \bar{x} - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}} [1 - (1 - \lambda)^{2i}] \quad \text{Eq. (13)}$$

Em que:

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

L - número de desvios padrão da média de controle que se quer detectar, sendo o L utilizado igual a 2);

σ - Desvio padrão.

c) Cartas de controle de CUSUM: Nos quais os desvios padrões em relação à média são acumulados ao longo do tempo, construídos utilizando a Equação 14 para a obtenção da soma acumulada.

$$C_i = \sum_{j=1}^i (x_j - \mu_0) \quad \text{Eq. (14)}$$

Em que:

x_j = Média da j -ésima amostra;

C_i = Soma acumulativa até a i -ésima amostra;

μ_0 = Alvo, sendo que na pesquisa foi utilizada a média do tratamento.

Os gráficos de CUSUM acumulam desvios acima e abaixo do valor alvo, que são denominados de CUSUM superior e CUSUM inferior, e foram calculados a partir das equações 14 e 15.

$$C_i^{+máx} \quad \text{Eq. (14)}$$

$$C_i^{-máx} \quad \text{Eq. (15)}$$

Em que:

x_i - Observação no tempo;

K - Valor de compensação, sendo utilizado na pesquisa o valor de 0,5.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estatística descritiva e Teste de Normalidade

Para os valores de vazão média, dos Coeficientes de Variação de Vazão (CV_q) e de Uniformidade de Distribuição (CUD), de Eficiência de Aplicação de Água (Ea) e do Grau de Entupimento (GE), para cada uma das unidades gotejadoras compostas por diferentes modelos de fitas e submetidas às 480 horas de irrigação utilizando água de abastecimento urbano (AA) e água de residuária de fecularia diluída em água de abastecimento urbano (AR), foram calculados os seguintes parâmetros para a avaliação da estatística descritiva: Média, Desvio Padrão, Variância, Coeficiente de variação, valores mínimo e máximo. Também foi calculada e avaliada a normalidade dos dados, que de acordo com Santos *et al.* (2019) é considerada uma etapa de grande valia que

dever anteceder a aplicação dos testes estatísticos.

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

Na Tabela 10 está a análise da estatística descritiva dos parâmetros hidráulicos avaliados para cada uma das unidades gotejadoras, submetidas às 480 horas de funcionamento utilizando água de abastecimento urbano (AA) na irrigação. Analisando os valores das vazões nota-se que, todas as unidades gotejadoras apresentaram um pequeno decréscimo nos valores médios, em função do tempo de uso. Ao comparar os valores das vazões médias das diferentes unidades gotejadoras, após às 480 horas de funcionamento com água de abastecimento urbano, com os valores disponibilizados pelos fabricantes em seus respectivos catálogos, os resultados foram de 7,45, 9,94, 7,86 e 8,00%, para todos os tratamentos, respectivamente. De modo que, segundo Souza *et al.* (2006) todos estão dentro do limite recomendado para a variação de vazão ao longo da linha lateral de 10%. Concomitante, às variações dos valores médios das vazões, os desvios padrões foram baixos, podendo ser afirmado estatisticamente que as médias estão próximas da média. Além disso, analisando os coeficientes de variação, se tem valores muito baixos, indicando assim, que existe pouca dispersão entre os valores (GOMES *et al.*, 2020). No que se refere aos resultados da aplicação do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov com a modificação de Lilliefors (LILLIEFORS, 1967), apenas o parâmetro hidráulico coeficiente de variação de vazão (CV_q) para a fita gotejadora M4 apresentou distribuição não normal.

Tabela 10. Estatística descritiva dos parâmetros hidráulicos analisados, incluindo o Teste de Normalidade de Anderson-Darling, para o tratamento AAM1 (Fita gotejadora AZUD Line), AAM2 (Fita gotejadora AZUD Sprint), AAM3 (Fita gotejadora Rivulis) e AAM4 (Fita gotejadora Tiquira) ao longo das 480 horas de funcionamento da unidade gotejadora utilizando água de abastecimento urbano na irrigação.

	Parâmetro Hidráulico	Média	DP	Variância	CV	Mín.	Máx.	Teste de Normalidade (Anderson-Darling)	
								P-valor	Normal
AAM1	Q (L h ⁻¹)	1,49	0,06	0,004	4,20	1,37	1,61	0,078	Sim
	CUD (%)	96,68	0,79	0,627	0,82	95,50	100,20	0,038	Sim
	CV _q (%)	2,80	0,45	0,200	1,57	1,47	3,60	0,005	Sim
	Ea (%)	87,01	0,71	0,507	0,82	85,95	90,18	0,038	Sim
	GE (%)	6,22	2,68	7,180	4,31	0,124	12,24	0,078	Sim
AAM2	Q (L h ⁻¹)	1,45	0,10	0,010	6,70	1,29	1,61	0,580	Sim

	CUD (%)	97,54	0,64	0,404	0,65	96,43	98,79	0,591	Sim
	CV _q (%)	2,20	0,31	0,098	14,24	1,54	3,02	0,591	Sim
	Ea (%)	87,79	0,57	0,328	0,65	86,78	88,91	0,580	Sim
	GE (%)	9,81	6,04	36,510	61,57	0,15	19,64	0,505	Sim
	Q (L h ⁻¹)	1,29	0,07	0,005	5,60	1,55	1,43	0,519	Sim
AAM3	CUD (%)	95,07	2,26	5,113	2,38	91,90	98,51	0,361	Sim
	CV _q (%)	3,76	1,30	1,846	36,15	1,55	5,67	0,556	Sim
	Ea (%)	85,56	2,05	4,142	2,38	82,71	88,66	0,361	Sim
	GE (%)	8,26	4,97	24,654	60,14	0,01	17,50	0,518	Sim
	Q (L h ⁻¹)	1,38	0,09	0,008	6,68	1,21	1,54	0,901	Sim
AAM4	CUD (%)	97,10	1,01	1,014	1,04	94,74	98,57	0,346	Sim
	CV _q (%)	2,50	0,66	0,441	26,60	1,43	3,59	<0,005	Não
	Ea (%)	87,32	0,91	0,822	1,04	85,27	88,71	0,346	Sim
	GE (%)	9,15	5,94	35,260	64,88	0	20,03	0,973	Sim

DP – Desvio padrão; CV – Coeficiente de variação; Mín. – Valor mínimo; Máx. – Valor máximo; Q – Vazão; CUD – Coeficiente de uniformidade de distribuição; CV_q – Coeficiente de variação de vazão; Ea – Eficiência de aplicação; GE – Grau de entupimento.

Com base nos parâmetros de desempenho hidráulico das unidades gotejadores ao serem irrigadas com água de abastecimento urbano, dispostos na Tabela 10, observa-se que, ao final das 480h de funcionamento para o parâmetro Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) todos os tratamentos foram classificados como “Excelentes”, de acordo com Mantovani (2001). Com relação ao Coeficiente de Variação de Vazão (CV_q), os tratamentos AAM1, AAM2 e AAM4 também foram “Excelentes” por apresentarem valores abaixo de 3% e o tratamento AAM3 como “Médio” segundo Solomon (1984). Referente ao parâmetro Eficiência de Aplicação (Ea), todos os tratamentos foram “Bons”, conforme a classificação proposta por Bernardo *et al.* (2006). E para o parâmetro Grau de Entupimento (GE), de acordo com a classificação proposta por Morata *et al.* (2014), todos os tratamentos de “Entupimento Baixo”.

4.1.2 Estatística descritiva e Teste de Normalidade das unidades gotejadoras operando com água de residuária de fecularia diluída

Na Tabela 11 nota-se a análise da estatística descritiva dos parâmetros hidráulicos avaliados, para cada uma das unidades gotejadoras, após serem submetidas às 480 horas de funcionamento utilizando água de residuária de fecularia diluída (AR). Por meio da análise dos valores é possível afirmar que, todas as unidades gotejadoras avaliadas apresentaram alterações significativas nos parâmetros hidráulicos estudados. As vazões médias sofreram variações de 40,37, 22,36, 47,14 e 25,33%, nos tratamentos

ARM1, ARM2, ARM3 e ARM4, respectivamente, em relação a vazão dos emissores novos. Dentre as unidades gotejadoras avaliadas, a correspondente ao tratamento ARM3 foi a que sofreu os maiores danos ao utilizar água residuária de fecularia na irrigação, e a unidade gotejadora ARM2 obteve os melhores parâmetros hidráulicos ao ser submetida as condições implementadas de estudo. Já com relação aos resultados da aplicação do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov com a modificação de Lilliefors (LILLIEFORS, 1967), todos os parâmetros hidráulicos para os modelos de fitas gotejadoras M1 e M3, e apenas os parâmetros coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), coeficiente de variação de vazão (CV_q) e eficiência de aplicação (E_a) para os modelos de fitas gotejadoras M2 e M4, não apresentaram distribuição normal.

Tabela 11. Estatística descritiva dos parâmetros analisados, incluindo o Teste de Normalidade de Anderson-Darling, para o tratamento AAM1 (Fita gotejadora AZUD Line), AAM2 (Fita gotejadora AZUD Sprint), AAM3 (Fita gotejadora Rivulis) e AAM4 (Fita gotejadora Tiquira) ao longo das 480 horas de funcionamento da unidade gotejadora utilizando água de residuária de fecularia diluída.

	Parâmetro Hidráulico	Média	DP	Variância	CV	Mín.	Máx.	Teste de Normalidade (Anderson-Darling)	
								P-valor	Normal
AAM1	Q ($L h^{-1}$)	0,96	0,44	0,193	45,63	0,40	1,61	<0,005	Não
	CUD (%)	34,47	39,99	1520,470	113,12	0,00	98,62	<0,005	Não
	CV_q (%)	70,70	51,50	2654,30	72,88	1,50	134,90	<0,005	Não
	E_a (%)	31,02	35,09	1231,58	113,12	0,00	88,76	<0,005	Não
	GE (%)	40,22	27,28	744,260	67,84	0,24	75,22	<0,005	Não
AAM2	Q ($L h^{-1}$)	1,25	0,13	1,018	10,62	1,04	1,61	0,759	Sim

	CUD (%)	76,48	22,24	494,690	29,08	44,41	98,15	<0,005	Não
	CV_q (%)	20,69	17,20	295,73	83,13	1,63	42,61	<0,005	Não
	Ea (%)	68,83	20,02	400,70	29,08	39,97	88,34	<0,005	Não
	GE (%)	22,38	8,25	67,99	36,84	0,15	35,30	0,759	Sim
AAM3	Q (L h⁻¹)	0,74	0,28	0,076	37,44	0,36	1,43	<0,005	Não
	CUD (%)	21,47	39,69	0,076	184,90	0,00	135,81	<0,005	Não
	CV_q (%)	70,60	31,66	1575,51	44,84	1,55	137,02	<0,005	Não
	Ea (%)	19,32	35,72	1276,17	184,90	0,00	122,23	<0,005	Não
	GE (%)	53,78	18,64	347,41	34,66	0,00	77,97	<0,005	Não
AAM4	Q (L h⁻¹)	1,12	0,21	0,044	18,78	0,80	1,54	0,138	Sim
	CUD (%)	49,67	41,81	1747,97	84,17	0,00	97,37	<0,005	Não
	CV_q (%)	35,33	25,50	650,02	72,17	2,04	67,66	<0,005	Não
	Ea (%)	44,71	37,63	1415,85	84,17	0,00	87,64	<0,005	Não
	GE (%)	30,29	13,69	187,37	45,19	0,00	50,64	0,140	Sim

DP – Desvio padrão; CV – Coeficiente de variação; Mín. – Valor mínimo; Máx. – Valor máximo; Q – Vazão; CUD – Coeficiente de uniformidade de distribuição; CV_t – Coeficiente de variação de vazão; Ea – Eficiência de aplicação; GE – Grau de entupimento.

Na Tabela 11 ainda é possível analisar os parâmetros de desempenho hidráulico para as unidades gotejadoras ao passarem por 480h de irrigação com água residuária de fecularia diluída. De modo que, a partir da classificação proposta por Mantovani (2001), para o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) apenas o tratamento ARM2 foi classificado como “Bom”. Já os tratamentos ARM1 e ARM3 como “Inaceitáveis” e o ARM4 “Ruim”, para o CUD. Para o parâmetro Coeficiente de Variação de Vazão (CV_q) todos os tratamentos foram “Inaceitáveis”, segundo Solomon (1984). Com relação à Eficiência de Aplicação de Água (Ea), de acordo com Bernardo *et al.* (2006), os tratamentos estudados foram classificados como “Pobres”. E quanto ao Grau de Entupimento (GE), os tratamentos ARM1 e ARM3 como “Entupimento Alto”, e ARM2 e ARM4 como “Entupimento Médio”, segundo a classificação proposta por Morata *et al.* (2014).

4.2 Controle estatístico de qualidade

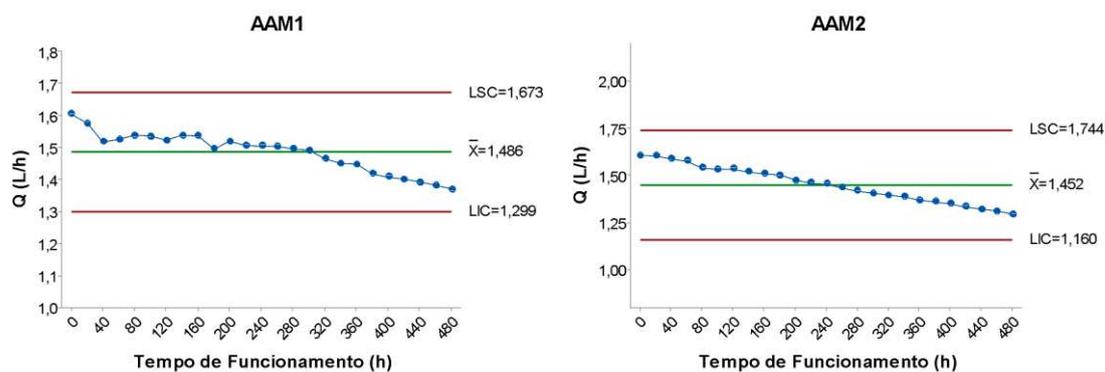
4.2.1 Aplicação do controle estatístico de qualidade nas diferentes unidades gotejadoras operando com água de abastecimento urbano

4.2.1.1 Vazão (Q)

Na Figura 5 são apresentadas as cartas de controle estatístico de Shewhart para as medidas individuais do parâmetro hidráulico vazão (Q) ao decorrer de 25 ensaios, realizados em 480h de funcionamento, nas diferentes unidades gotejadoras irrigadas com água de abastecimento urbano. Observa-se que, não há presença de pontos fora dos

limites superior e inferior de controle, entretanto, há sequências ou tendências de pelo menos, sete pontos consecutivos acima ou abaixo da linha média (\bar{X}) (MONTGOMERY, 2013), também denominados de deslocamentos de nível dos processos.

Na pesquisa, a presença de sequências ou tendências acima das linhas médias não são consideradas prejudiciais aos processos estudados, uma vez que, na prática o ideal para o desempenho hidráulico da unidade gotejadora, é que os valores das vazões ao longo dos ensaios, se mantenham o mais próximo possível do valor da vazão nominal fornecida pelos fabricantes nos catálogos das fitas gotejadoras. Já as sequências de pontos situados abaixo da linha média, podem ser consideradas como fatores indesejáveis na análise e indícios de falta de controle dos processos. O que pode ser constatado a partir das 320h nos tratamentos AAM1 (Unidade gotejadora M1 irrigada com água de abastecimento urbano) e AAM4 (Unidade gotejadora M4 irrigada com água de abastecimento urbano), a partir das 260h de funcionamento em AAM2 (Unidade gotejadora M2 irrigada com água de abastecimento urbano) e a partir das 340h de funcionamento em AAM3 (Unidade gotejadora M3 irrigada com água de abastecimento urbano).



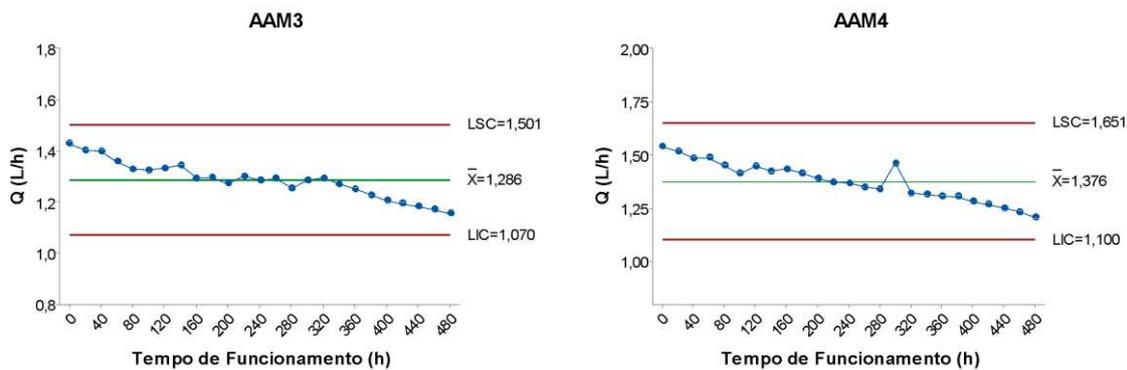


Figura 5. Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para a vazão das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.

Na Figura 6, o parâmetro hidráulico vazão (Q) das diferentes unidades gotejadoras ao serem irrigadas com água de abastecimento urbano, pode ser analisado por meio das cartas de controle estatístico de qualidade da média móvel exponencialmente ponderada (MMEP). Nas cartas de controle de MMEP constata-se, inicialmente, a presença de conjuntos sequenciais ou tendenciais situados acima da linha média, indicando um bom desempenho hidráulico das unidades gotejadoras para o parâmetro analisado. Durante o tempo de funcionamento, os conjuntos sequenciais declinam gradualmente, em direção ao limite inferior de controle, ultrapassando a linha média após o ensaio realizado às 340h (Ensaio 18) nos tratamentos AAM1 e AAM3, e às 300h (Ensaio 16) nos tratamentos AAM2 e AAM4. Extrapolando os limites de controle inferior nos ensaios realizados às 480h de funcionamento dessas unidades gotejadoras, indicando a falta de controle estatístico nos processos estudados, a partir desse momento. De acordo com Oliveira (2018), a ocorrência de conjuntos sequenciais ou tendenciais em um processo, pode estar relacionada a um desgaste ou à degradação gradual do componente crítico do processo.

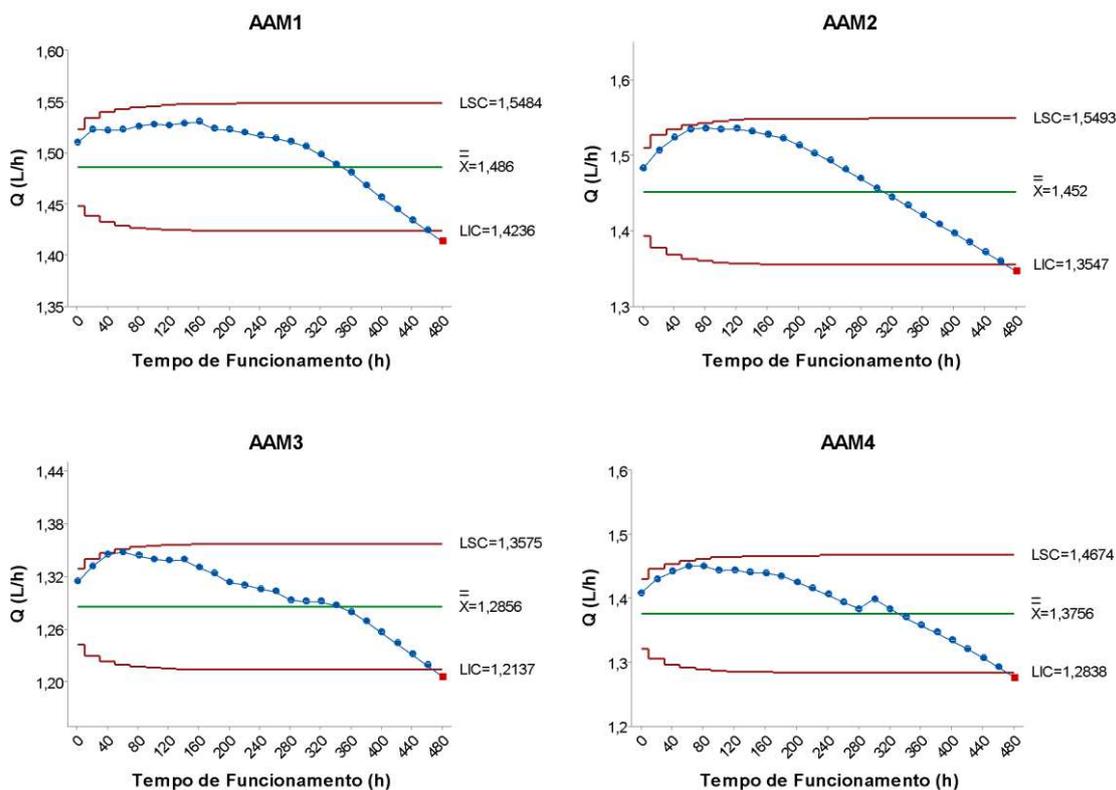


Figura 6. Cartas de Controle estatístico de qualidade de MMEP para a vazão das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.

Na Figura 7, o comportamento do parâmetro hidráulico vazão (Q) das diferentes unidades gotejadoras ao serem irrigadas com água de abastecimento urbano, pode ser averiguado com o auxílio das cartas de controle estatístico de qualidade de CUSUM. Nas cartas de controle de CUSUM em todos os tratamentos estudados valores de vazão média se situaram acima e distantes da linha média, chegando a ultrapassar o os limites de controle superior nos tratamentos AAM2, AAM3 e AAM4. Ressaltado o que foi dito anteriormente na análise dos outros dois tipos de cartas de controle estatístico, refletindo o bom funcionamento das unidades gotejadoras, que estão trabalhando dentro dos limites esperados.

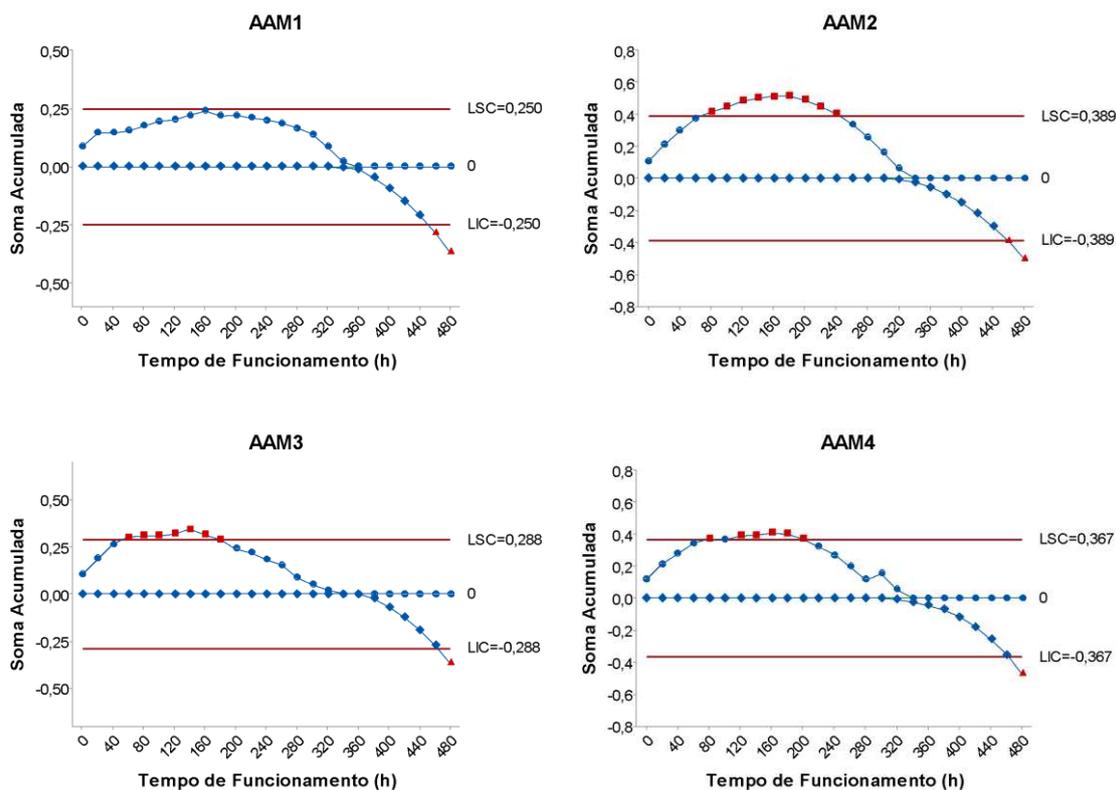


Figura 7. Cartas de Controle estatístico de qualidade de CUSUM para a vazão das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.

Além disso, ainda na Figura 7, observa-se que ao longo dos ensaios os valores seguem em sequências direcionadas aos limites de controle inferior, chegando a ultrapassar a linha média após o ensaio realizado às 360h (Ensaio 19) nos tratamentos AAM1 e AAM3, e às 320h (Ensaio 17) em AAM2 e AAM4. E passando a partir das 460h, os limites de controle inferior nos tratamentos AAM1 e AAM2, e às 480h nos tratamentos AAM3 e AAM4. Esses indícios indicam a falta de controle estatístico nos processos estudados. Sendo assim, a partir das cartas de controle de CUSUM também é possível observar o momento em que as unidades começam a mostrar possíveis desconroles no processo (MORO *et al.*, 2018).

4.2.1.2 Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)

Na Figura 8, são apresentadas as cartas de controle estatístico de Shewhart para os valores individuais do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) das quatro unidades gotejadoras estudadas, ao serem submetidas à irrigação com água de abastecimento urbano (Tratamentos AAM1, AAM2, AAM3 e AAM4). Com base nos dados expostos pode-se afirmar que, para o parâmetro hidráulico CUD em nenhuma das

cartas há pontos fora dos limites de controle superior e inferior estipulados, entretanto, no tratamento AAM3 há sequências ou tendências (MONTGOMERY, 2013) presentes na carta, de modo que apenas esse tratamento apresentou indícios de falta de controle estatístico no processo.

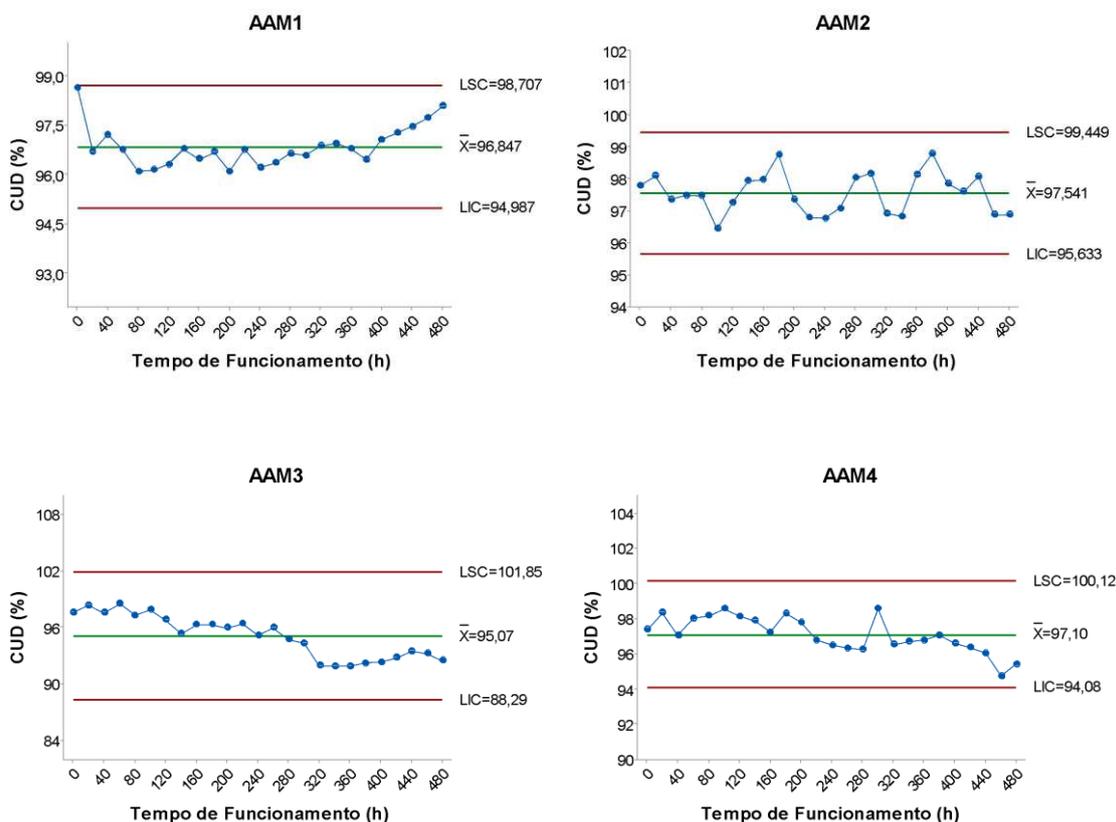


Figura 8. Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.

Ainda nas cartas de controle estatístico de Shewhart para o parâmetro hidráulico coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) (Figura 8) percebe-se que, no tratamento AAM1 (Unidade gotejadora M1 irrigada com água de abastecimento urbano) o valor médio do CUD estimado ao longo do período experimental foi de 96,85%, com limite superior de controle de 98,71% e limite inferior de controle de 94,99%. No tratamento AAM2 (Unidade gotejadora M2 irrigada com água de abastecimento urbano), o valor médio do CUD de 97,54%, com limite superior de controle de 99,45% e limite inferior de controle de 95,63%. Já no tratamento AAM3 (Unidade gotejadora M3 irrigada com água de abastecimento urbano) o CUD com valor médio de 95,07%, com limite superior de controle de 101,85% e limite inferior de

controle de 88,29%. E no tratamento codificado como AAM4 (Unidade gotejadora M4 irrigada com água de abastecimento urbano) o valor médio do CUD foi de 97,10% para o período estudado, com limite superior de controle de 100,12% e limite inferior de controle de 94,08%. Dessa forma, todas as unidades gotejadoras avaliadas tiveram valores médios de CUD superiores à 88,29%, podendo ser classificados com excelentes, segundo a classificação proposta por Mantovani (2001), que atribui essa classificação às unidades gotejadoras com valores de coeficiente de uniformidade de distribuição acima de 84% (CUD > 84%).

Na Figura 9, o parâmetro hidráulico coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) pode ser estudado a partir das cartas de controle estatístico de qualidade da média móvel exponencialmente ponderada (MMEP), para as diferentes unidades gotejadoras ao serem submetidas à irrigação com água de abastecimento urbano (Tratamentos AAM1, AAM2, AAM3 e AAM4). Nota-se que, não há pontos fora dos limites superior e inferior de controle, entretanto, os tratamentos AAM1, AAM3 e AAM4 tiveram sequências ou tendências no processo, o que de acordo com Montgomery (2013) seriam indícios de falta de controle nesses processos.

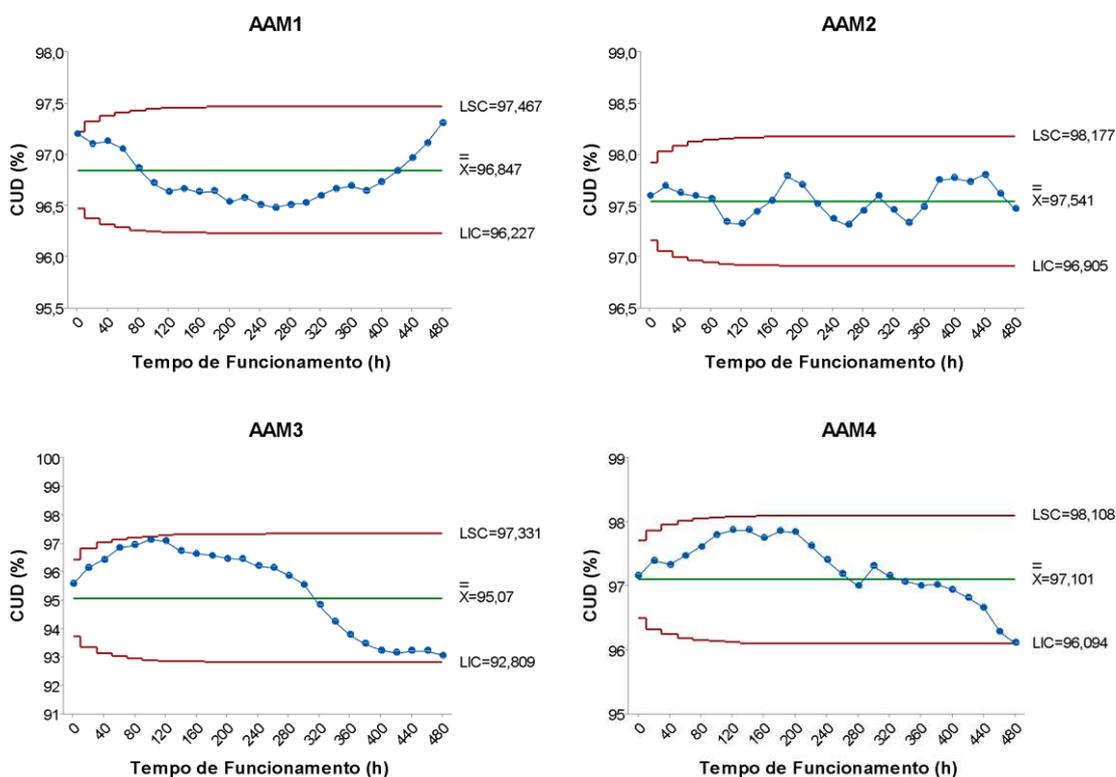
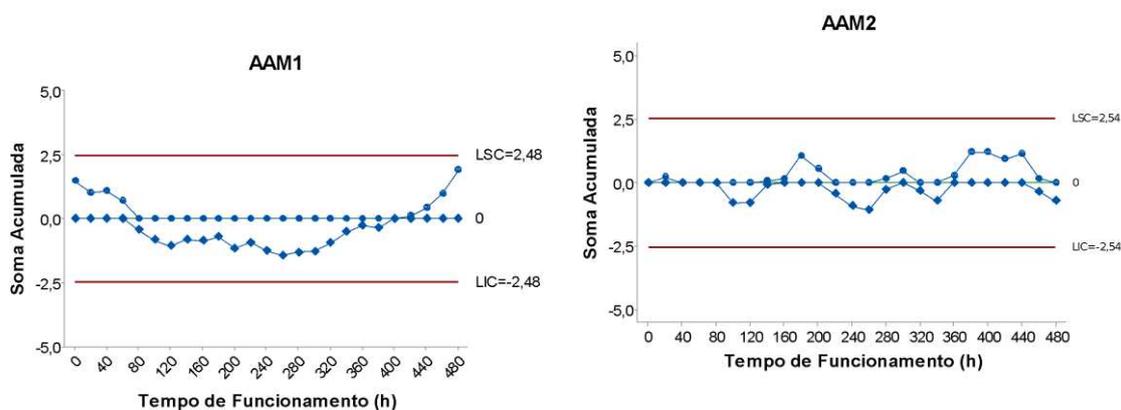


Figura 9. Cartas de Controle estatístico de qualidade de MMEP para o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento.

Todavia, diante no contexto analisado, com base nas cartas de controle de MMEP (Figura 8) e assim como já foi ressaltado nas cartas de controle de Shewhart, os valores para os coeficientes de uniformidade (CUD) das unidades gotejadoras ao longo do período de funcionamento com água de abastecimento urbano, não refletem nenhum comprometimento no desempenho hidráulico, pois os valores de CUD foram classificados como excelentes, conforme Mantovani (2001). Sendo assim, a presença das sequências nos processos ratifica a alta sensibilidade que as cartas de controle de MMEP possuem na detecção de pequenas falhas que ocorrem ao longo dos processos.

Na Figura 10 é possível realizar a análise do parâmetro hidráulico coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), a partir das cartas de controle estatístico de qualidade de CUSUM, nas diferentes unidades gotejadoras avaliadas ao serem irrigadas com água de abastecimento urbano. Observando as cartas, se identifica no tratamento AAM1 uma sequência de valores distantes e abaixo da linha média entre os ensaios realizados entre às 80h e às 380h de funcionamento da unidade gotejadora (do Ensaio 4 ao Ensaio 20). Já o tratamento AAM2 os valores estão situados próximos à linha média, não tendo pontos fora dos limites de controle superior e inferior e não possui valores sequenciais ou qualquer indício de tendência. No tratamento AAM3 há o distanciamento dos valores acima da linha média, chegando a extrapolar o limite superior de controle, além de uma mudança brusca no comportamento dos valores a partir das 320h (Ensaio 17), com extrapolação do limite inferior de controle a partir do ensaio realizado às 400h (Ensaio 21). E no tratamento AAM4 se tem o distanciamento dos valores acima da linha média e a alteração do comportamento dos valores, a partir do ensaio realizado às 420h de funcionamento (Ensaio 22).



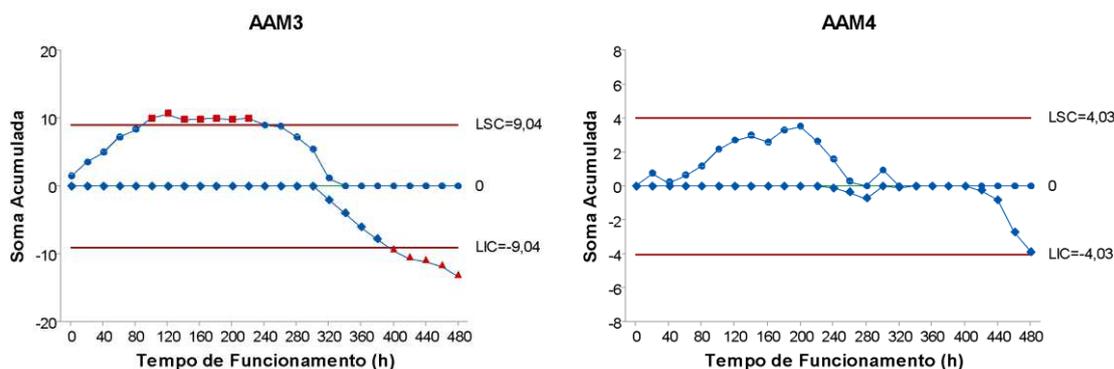
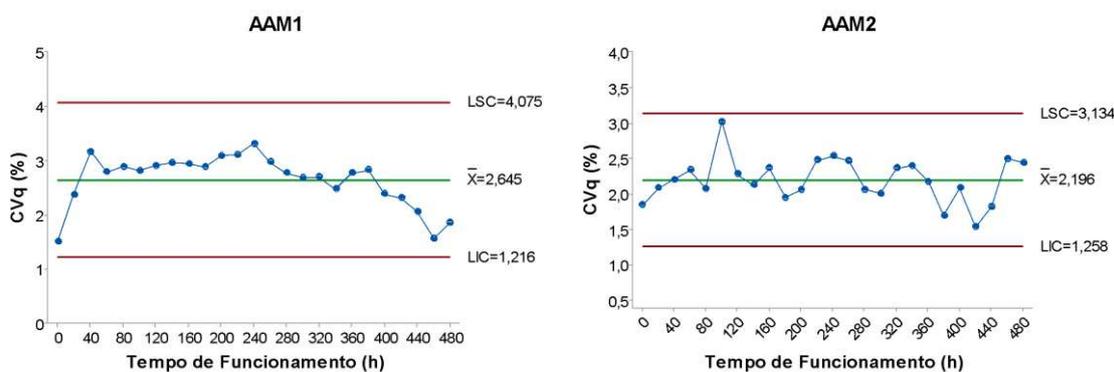


Figura 10. Cartas de Controle estatístico de qualidade de CUSUM para o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.

Segundo Bezerra (2017), as cartas de CUSUM acumulam informações do conjunto dos dados, dando valores equivalentes às amostras e propiciando que a carta possa detectar pequenas alterações que acontecem na média do processo.

4.2.1.3 Coeficiente de variação de vazão (CV_q)

Na Figura 11 estão distribuídas as cartas de controle estatístico de Shewhart para o parâmetro hidráulico coeficiente de variação de vazão (CV_q), para diferentes unidades gotejadoras ao longo de 480 horas de funcionamento com água de abastecimento urbano (Tratamentos AAM1, AAM2, AAM3 e AAM4). Para o parâmetro hidráulico CV_q nenhuma das cartas tiveram pontos situados fora dos limites superior e inferior de controle, todavia, há tendências indesejadas na análise de processos situados acima e abaixo da linha média nos tratamentos AAM1, AAM3 e AAM4, resultando em uma variabilidade no processo que pode ser considerada desfavorável no desempenho hidráulico das unidades gotejadoras.



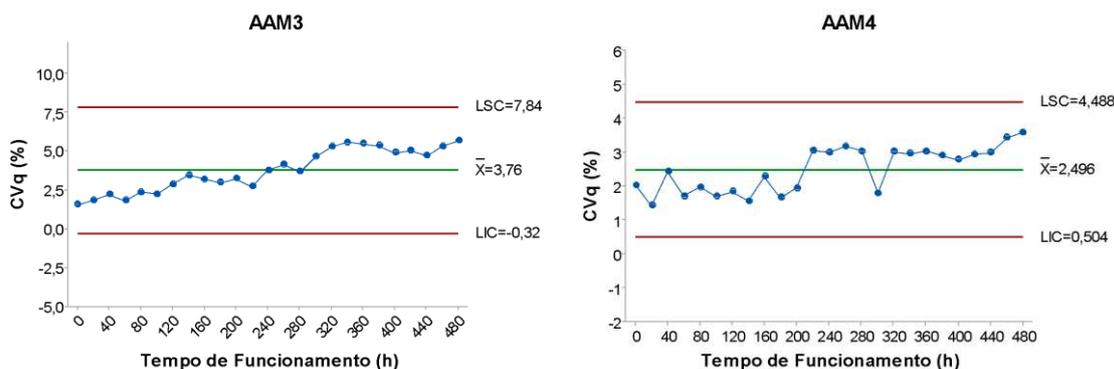


Figura 11. Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para o Coeficiente de Variação de vazão (CV_q) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.

O tratamento AAM1 apresentou valor médio de CV_q ao longo do período estudado de 2,65%, com limites de controle superior e inferior de 4,08 e 1,22%, respectivamente. O valor do CV_q médio no tratamento AAM2 foi de 2,20%, com limites de controle superior de 3,14% e inferior de 1,26%. O tratamento AAM3 teve o valor médio de CV_q de 3,76%, com limite de controle superior de 7,84% e inferior de 0,32%. Já o tratamento AAM4 com valor médio de CV_q de 2,50%, com limites de controle superior e inferior de 4,49 e 0,50%, respectivamente. Sendo assim, segundo a norma da NBR ISO 9261 (2006), para a classificação de unidades gotejadoras de acordo com o parâmetro hidráulico coeficiente de variação de vazão, os tratamentos estudados podem ser classificados como excelentes, uma vez que, se seus valores médios se encontram dentro do limite recomendado de até 7%.

Na Figura 12, o parâmetro hidráulico coeficiente de variação de vazão (CV_q) pode ser examinado por meio das cartas de controle estatístico de qualidade da média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) das unidades gotejadoras ao serem irrigadas com água de abastecimento urbano (Tratamentos AAM1, AAM2, AAM3 e AAM4). É perceptível nas cartas de controle MMEP que existe pontos fora dos limites de controle estipulados, exatamente como nas cartas de controle de Shewhart para todos os tratamentos analisados anteriormente. As de cartas de controle MMEP também alcançaram sequências de valores de CV_q acima da linha média, refletindo o aumento dos valores desse parâmetro hidráulico e dependendo da situação estudada, interferindo negativamente no desempenho hidráulico das unidades gotejadoras. Diferente das cartas de controle de Shewhart em que só foi possível visualizar esse fato nos tratamentos AAM1, AAM3 e AAM4. Ratificando assim, a alta sensibilidade que as cartas de

MMEP possuem em relação as pequenas variações que podem ocorrer ao longo do processo.

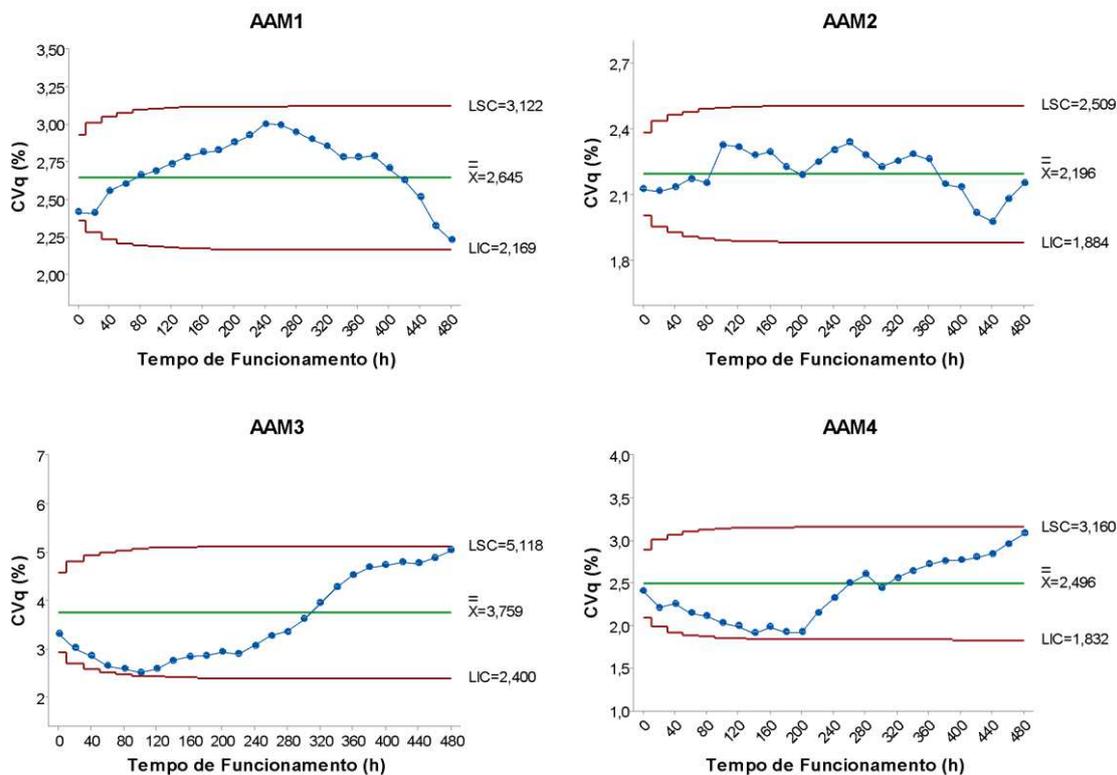
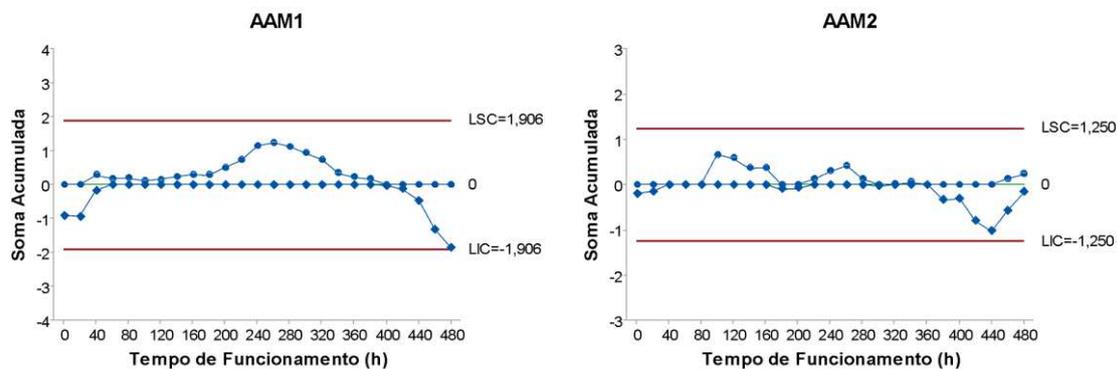


Figura 12. Cartas de Controle estatístico de qualidade de MMEP para o Coeficiente de Variação de vazão (CVq) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.

Com base na Figura 13 nota-se o parâmetro hidráulico coeficiente de variação de vazão (CV_q) das unidades gotejadoras ao serem irrigadas com água de abastecimento urbano (Tratamentos AAM1, AAM2, AAM3 e AAM4) por meio das cartas de controle estatístico de qualidade de CUSUM.



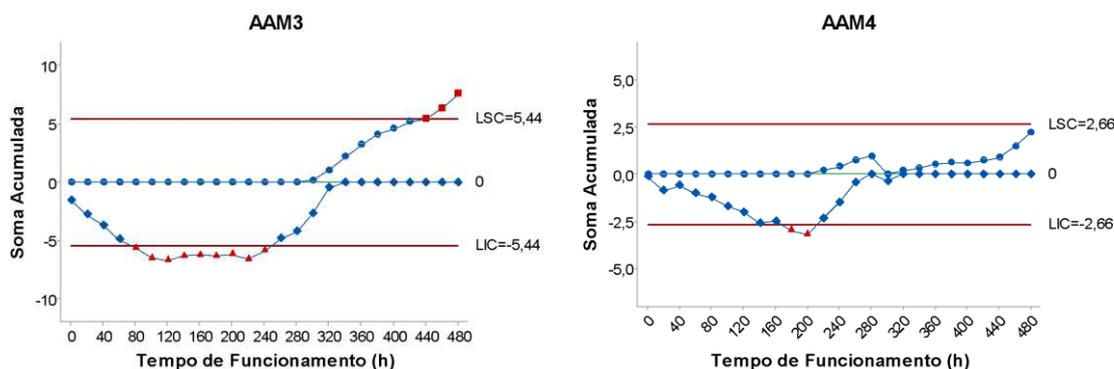


Figura 13. Cartas de Controle estatístico de qualidade de CUSUM para o Coeficiente de Variação de vazão (CV_q) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.

Observando as cartas de controle de CUSUM na figura acima, os valores de soma acumulada se distanciaram da linha média e há presença de sequências ou tendências de valores, fatos considerados danosos na visão da análise dos processos. Além disso, nos tratamentos AAM3 percebe-se a extrapolação dos pontos a partir das 440h de funcionamento (Ensaio 23). Daí, nota-se a importância do uso de ferramentas de controle na irrigação como, por exemplo, as cartas de CUSUM, que foram ressaltadas por Follador *et al.* (2012), por serem mecanismos simples que possibilitam a percepção rápida de eventos que indicam falta de controle em um processo.

4.2.1.4 Eficiência de aplicação (E_a)

Na Figura 14, são apresentadas as cartas de controle estatístico de Shewhart para o parâmetro hidráulico eficiência de aplicação (E_a), para as diferentes unidades gotejadoras avaliadas ao longo de 480 horas de irrigação com água de abastecimento urbano. Nenhum dos tratamentos mostraram pontos extrapolando os limites de controle estabelecidos. No que se refere a presença de sequências ou tendências de sete ensaios ou mais, acima ou abaixo da linha média e que de acordo Montgomery (2013) indica falta de controle estatístico do processo, que pode ser encontrado nos tratamentos AAM1, AAM3 e AAM4 (Unidades gotejadoras M1, M3 e M4 irrigadas com água de abastecimento). O tratamento AAM2 (unidade gotejadora M2 irrigada com água de abastecimento urbano) não teve nenhum ponto fora dos limites de controle estabelecidos e nem sequências ou tendências de valores ao decorrer de seu processo.

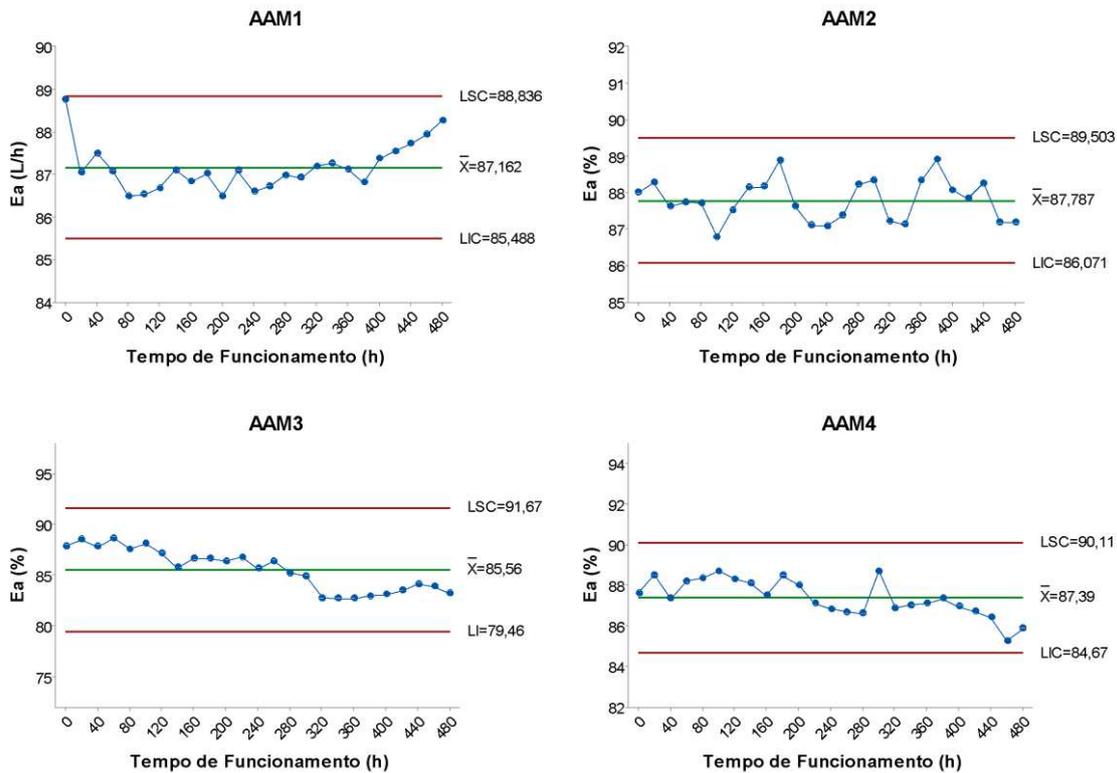


Figura 14. Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para a Eficiência de Aplicação (Ea) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.

Ainda por meio da análise das cartas de controle estatístico de Shewhart para o parâmetro hidráulico eficiência de aplicação (Ea), das unidades gotejadoras ao serem irrigadas com água de abastecimento urbano (Tratamentos AAM1, AAM2, AAM3 e AAM4) (Figura 14), pode-se afirmar que, para o tratamento AAM1 o valor médio de Ea foi de 87,16%, com limites de controle superior de 88,84% e inferior de 85,49%. O valor médio do parâmetro hidráulico Ea para o tratamento AAM2 foi de 87,79%, com limites de controle superior de 89,50% e inferior de 86,07%. O tratamento AAM3 com o valor médio de Ea de 85,56% ao longo do período analisado, com limite de controle superior de 91,67% e inferior de 79,46%. Já o tratamento AAM4, valor médio de Ea de 87,39%, com limites de controle superior e inferior de 90,11 e 84,67%, respectivamente. Dessa forma, os valores para o parâmetro hidráulico eficiência de aplicação (Ea) para as diferentes unidades gotejadoras ao longo de um determinado período de irrigação, com água de abastecimento urbano (Tratamentos AAM1, AAM2, AAM3 e AAM4) podem ser classificados como “Bons”, de acordo com a classificação proposta por Bernardo *et al.* (2006) para a Ea na irrigação por gotejamento, por estarem situados entre 80 e 95%.

Na Figura 15, o parâmetro hidráulico eficiência de aplicação (E_a) das diferentes unidades gotejadoras ao longo de 480 horas de irrigação com água de abastecimentos urbano (Tratamentos AAM1, AAM2, AAM3 e AAM4), pode ser investigado a partir das cartas de controle estatístico de qualidade da média móvel exponencialmente ponderada (MMEP). Em nenhum dos tratamentos estudados houve a presença de pontos que extrapolaram os limites de controle estabelecidos. Apenas o tratamento AAM2 não mostrou sequências de valores situados acima e/ou abaixo das linhas médias (MONTGOMERY, 2013). Entretanto, pela análise do parâmetro hidráulico eficiência de aplicação (E_a), a presença dessas sequências de valores, não implicam em danos no desempenho hidráulico das unidades gotejadoras. Tendo em vista que, todos os valores estão situados dentro dos limites estabelecidos na literatura utilizada para classificação das unidades gotejadoras.

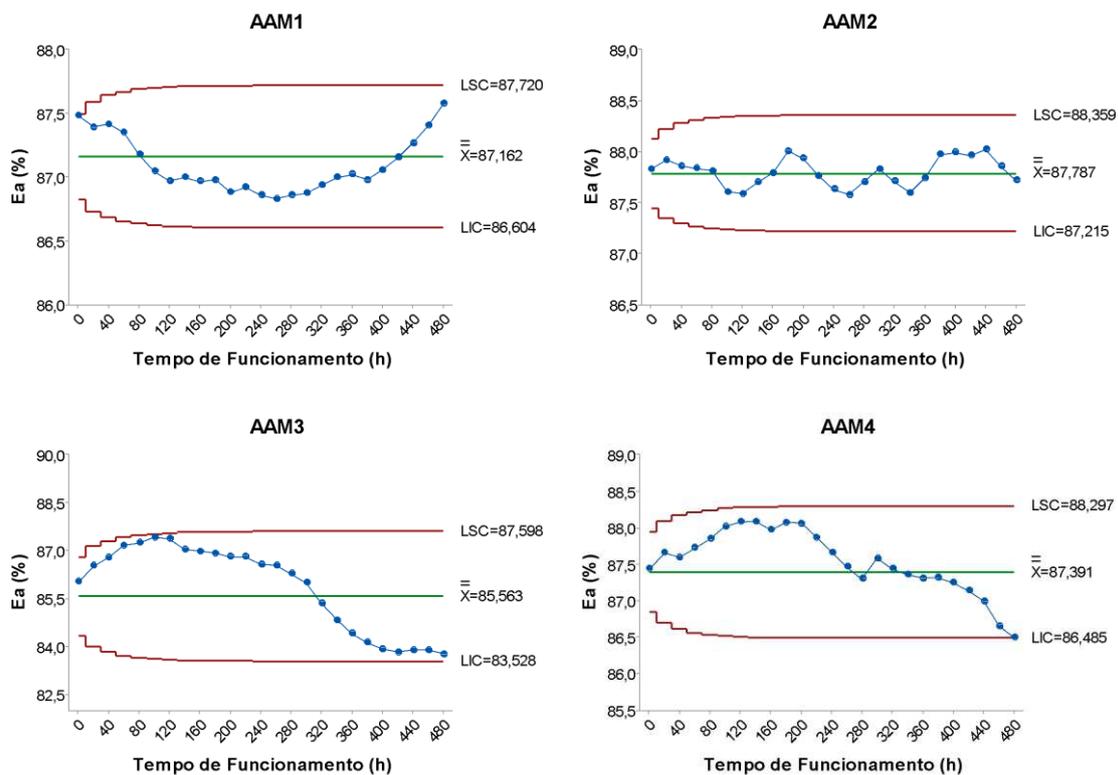


Figura 15. Cartas de Controle estatístico de qualidade de MMEP para a Eficiência de Aplicação (E_a) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.

Na Figura 16 é possível avaliar o parâmetro hidráulico eficiência de aplicação (E_a), por meio das cartas de controle estatístico de qualidade de CUSUM para as diferentes unidades gotejadoras estudadas (Tratamentos AAM1, AAM2, AAM3 e AAM4).

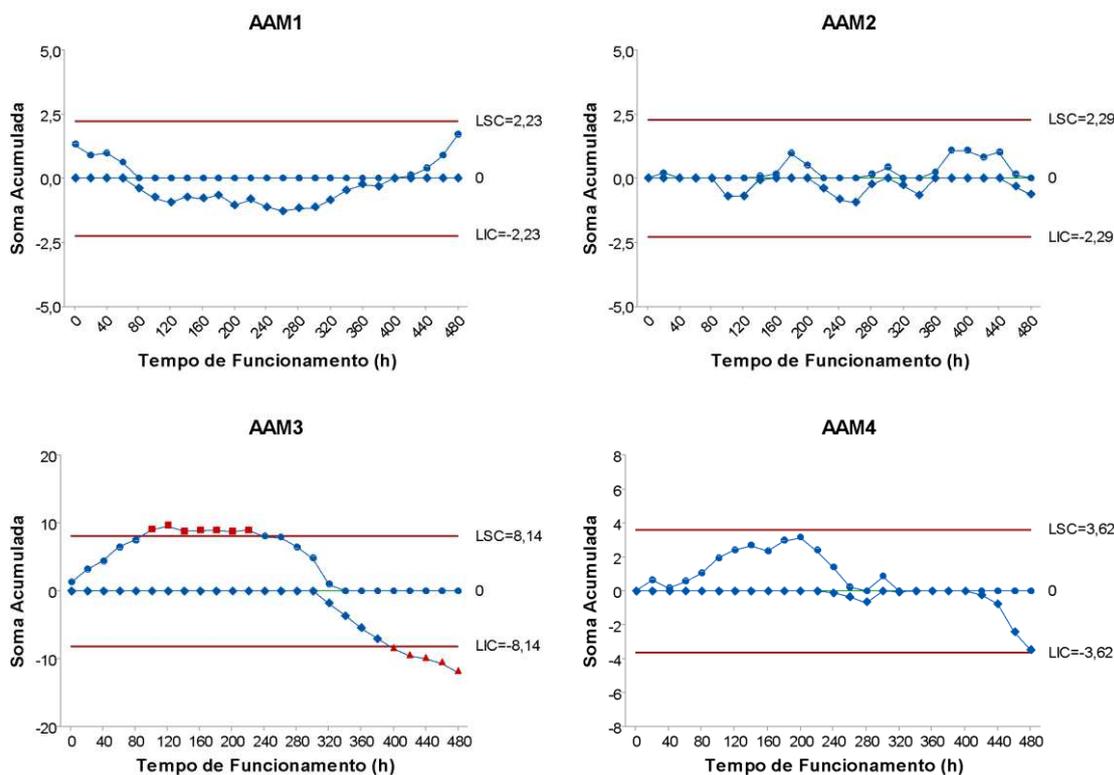


Figura 16. Cartas de Controle estatístico de qualidade de CUSUM para a Eficiência de Aplicação (Ea) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.

Nas cartas de controle de CUSUM (Figura 16) é possível observar que o tratamento AAM1 indicou entre às 80h (Ensaio 5) e às 380h (Ensaio 20) sequências de valores distantes e abaixo da linha média, e que não há pontos extrapolando os limites de controle estabelecidos. No tratamento AAM2, os pontos se encontram bem próximos da linha média, sem a presença de sequências ou tendências de valores e nem pontos extrapolando os limites de controle estabelecidos. Já no tratamento AAM3, nota-se a presença de uma sequência de valores situados acima da linha média chegando a extrapolar o limite superior de controle entre as 100h (Ensaio 6) e 220h (Ensaio 12), como já ressaltado nas cartas de controle estatístico analisadas e que não implica em danos à unidade gotejadora estudada. Entretanto, o que chama atenção sobre a carta de controle de CUSUM, é que a partir das 300h de funcionamento (Ensaio 16) da unidade gotejadora, percebe-se o momento em que se inicia uma sequência de valores que ocasionam uma variabilidade considerável no processo, resultando na extrapolação do limite de controle inferior a partir das 400 (Ensaio 21) horas de funcionamento. E no tratamento AAM4, a partir das 420h (Ensaio 22) de funcionamento da unidade gotejadora, os valores de soma acumulada ultrapassaram a linha média e quase

extrapolaram o limite de controle inferior às 480h (Ensaio 25) de funcionamento da unidade gotejadora.

4.2.1.5 Grau de entupimento (GE)

Na Figura 17 se tem as cartas de controle estatístico de Shewhart para o parâmetro hidráulico grau de entupimento (GE), para as diferentes unidades gotejadoras avaliadas ao longo das 480 horas de funcionamento com água de abastecimento urbano (Tratamentos AAM1, AAM2, AAM3 e AAM4). Observando as cartas de Shewhart para o parâmetro hidráulico GE nota-se que, o comportamento diferente das demais variáveis analisadas, uma vez que, havendo indícios de entupimento nos gotejadores o valor do GE tende a aumentar. Segundo Reis *et al.* (2021), o parâmetro grau de entupimento pode apresentar valores positivos, que são resultantes de problemas de entupimento que ocasionaram redução na vazão, ou valores negativos, oriundos do aumento da vazão em decorrência de problemas de obstrução. Analisando as cartas de controle abaixo, não há extrapolação de pontos nos limites de controle superior e inferior em nenhum dos tratamentos avaliados. Todavia, há sequências ou tendências de valores em todos os tratamentos estudados, que seriam, de acordo Montgomery (2013), indícios de falta de controle dos processos.

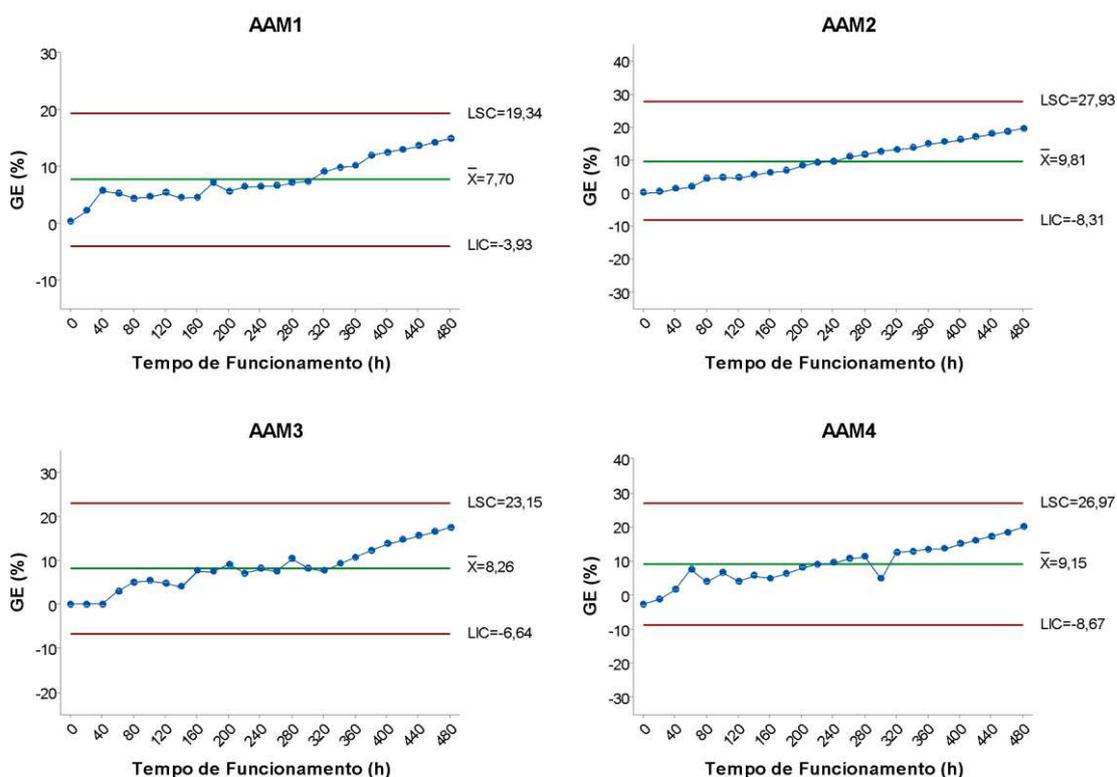


Figura 17. Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para o Grau de Entupimento (GE) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.

Ainda na Figura 17, as cartas de controle estatístico de Shewhart para o parâmetro hidráulico grau de entupimento (GE), o valor médio do grau de entupimento (GE) para o tratamento AAM1 ao longo do período de estudo foi de 7,70%, com limites de controle superior de 19,34% e inferior de -3,93%. No tratamento AAM2 (unidade gotejadora M2 irrigada com água de abastecimento urbano) o valor médio do GE foi de 9,81%, com limites de controle superior de 27,93% e inferior de -8,31%. Já no tratamento AAM3 (unidade gotejadora M3 irrigada com água de abastecimento urbano), o valor médio do GE foi de 8,26%, com limites de controle superior de 23,15% e inferior de -6,64%. E no tratamento AAM4 (unidade gotejadora M4 irrigada com água de abastecimento urbano), o valor médio do GE de 9,15%, com limites de controle superior de 26,97% e inferior de -8,67%. Nesse sentido, a análise da situação do desempenho hidráulico das unidades gotejadoras por meio do grau de entupimento (GE) médio ao decorrer de 480h de irrigação com água de abastecimento urbano, elas podem ser classificadas como “médias” (GE entre 10 e 40%), por apresentarem valores de GE entre -8,67 e 27,93%. De acordo com Cunha *et al.* (2016) existe uma tendência entre a vazão e o grau de entupimento dos gotejadoras, afirmando que o aumento e diminuição da vazão é inversamente proporcional ao aumento e diminuição do GE.

Na Figura 18, o parâmetro hidráulico grau de entupimento (GE) das diferentes unidades gotejadoras avaliadas utilizando água de abastecimento urbano na irrigação (Tratamentos AAM1, AAM2, AAM3 e AAM4) por meio das cartas de controle estatístico de qualidade da média móvel exponencialmente ponderada (MMEP). É possível identificar nas cartas de controle de MMEP sequências de valores que ultrapassam a linha média, em direção ao limite superior de controle a partir do ensaio realizado às 360h (Ensaio 19) nos tratamentos AAM1 e AAM3, e às 320h (Ensaio 17) nos tratamentos AAM2 e AAM4. Além disso, às 480h (Ensaio 25) de funcionamento com água de abastecimento urbano, todos os tratamentos estudados extrapolaram os limites de controle superior, de acordo com Montgomery (2013) sugerem a falta de controle desses processos.

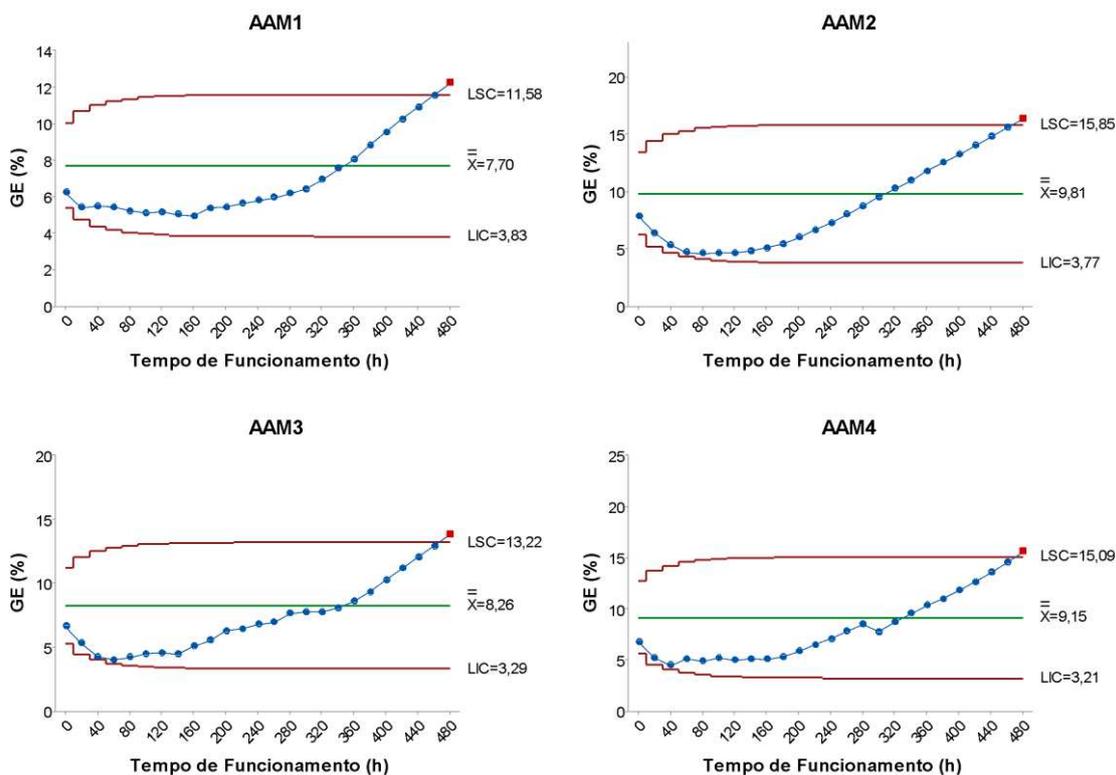
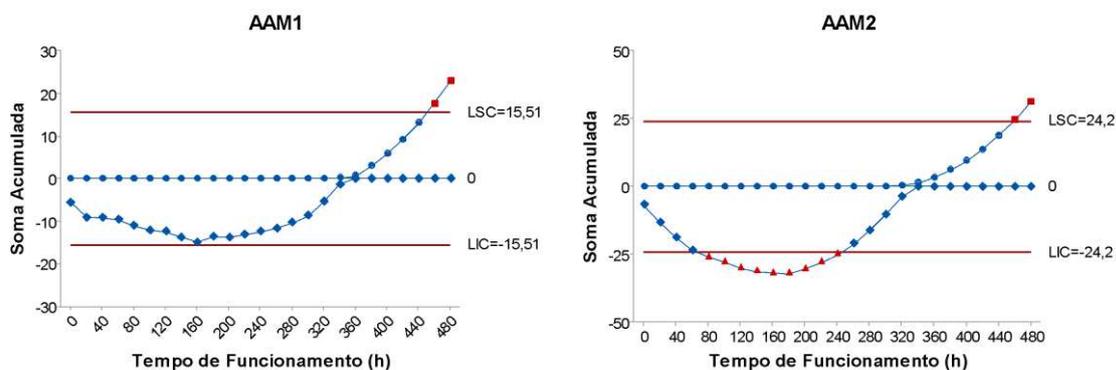


Figura 18. Cartas de Controle estatístico de qualidade de MMEP para o Grau de Entupimento (GE) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.

Na Figura 19 consta o parâmetro hidráulico grau de entupimento (GE) das unidades gotejadoras irrigadas com água de abastecimento urbano (Tratamentos AAM1, AAM2, AAM3 e AAM4), por meio das cartas de controle estatístico de qualidade de CUSUM. Ao analisar as cartas de CUSUM pode ser observado o momento em que os valores de soma acumulada se distanciam das linhas médias e se direcionam em seqüências para os limites de controle superior, o que é percebido a partir do ensaio realizado às 360h (Ensaio 19) nos tratamentos AAM1 e AAM3, às 340h (Ensaio 18) no tratamento AAM2 e às 320h (Ensaio 17) no tratamento AAM4.



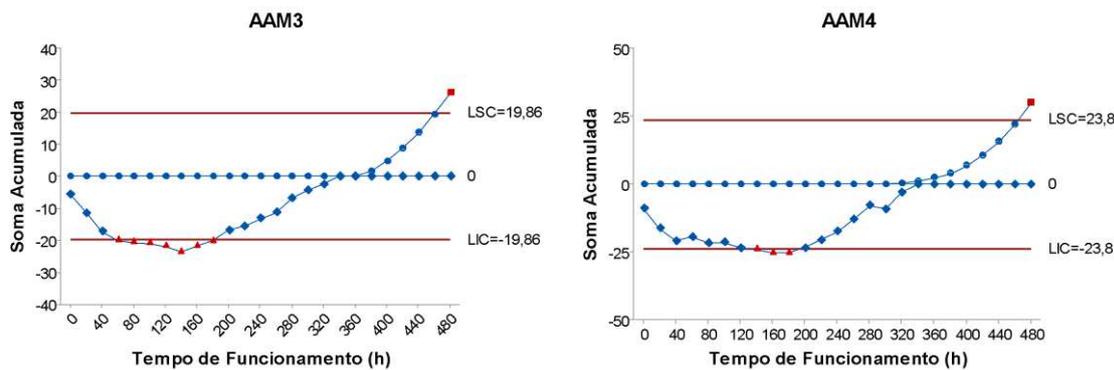


Figura 19. Cartas de Controle estatístico de qualidade de CUSUM para o Grau de Entupimento (GE) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água de abastecimento urbano.

Além disso, nas cartas de CUSUM da Figura 19, os valores de soma acumulada extrapolaram os limites de controle superior a partir das 460h de funcionamento (Ensaio 24) nos tratamentos AAM1 e AAM2, e a partir das 480 horas de funcionamento (Ensaio 25) nos tratamentos AAM3 e AAM4, implicando na falta de controle dos processos estudados.

4.2.2 Aplicação do controle estatístico de qualidade nas diferentes unidades gotejadoras operando com água de residuária de fecularia diluída

4.2.2.1 Vazão (Q)

Na Figura 20 as cartas de controle estatístico de Shewhart para medidas individuais do parâmetro vazão (Q) ao decorrer de 25 ensaios realizados, em 480h de funcionamento, de diferentes unidades gotejadoras irrigadas com água residuária de fecularia. De acordo com as cartas de controle estatístico de Shewhart para a vazão, nenhum dos tratamentos apresentaram pontos fora dos limites de controle estimados. Entretanto, nota-se que, as vazões seguem uma sequência ou tendência de valores decrescentes que ultrapassam as linhas médias em direção ao limite de controle inferior, a partir do ensaio realizado às 260h (Ensaio 14) de funcionamento no tratamento ARM1 (Unidade gotejadora M1 irrigada com água residuária de fecularia), das 320 horas (Ensaio 16) no tratamento ARM2 (Unidade gotejadora M2 irrigada com água residuária de fecularia), das 240 horas (Ensaio 13) no tratamento ARM3 (Unidade gotejadora M3 irrigada com água residuária de fecularia) e das 280 horas (Ensaio 15) no tratamento ARM4 (Unidade gotejadora M4 irrigada com água residuária de fecularia). Fatos que alteram os processos estudados de forma significativa e fazem com que os processos apresentem falta de controle estatístico, que de acordo Montgomery (2013) pode ser

ocasionado por mudanças ambientais, rotatividade regular de operadores, flutuações de pressão, entre outros.

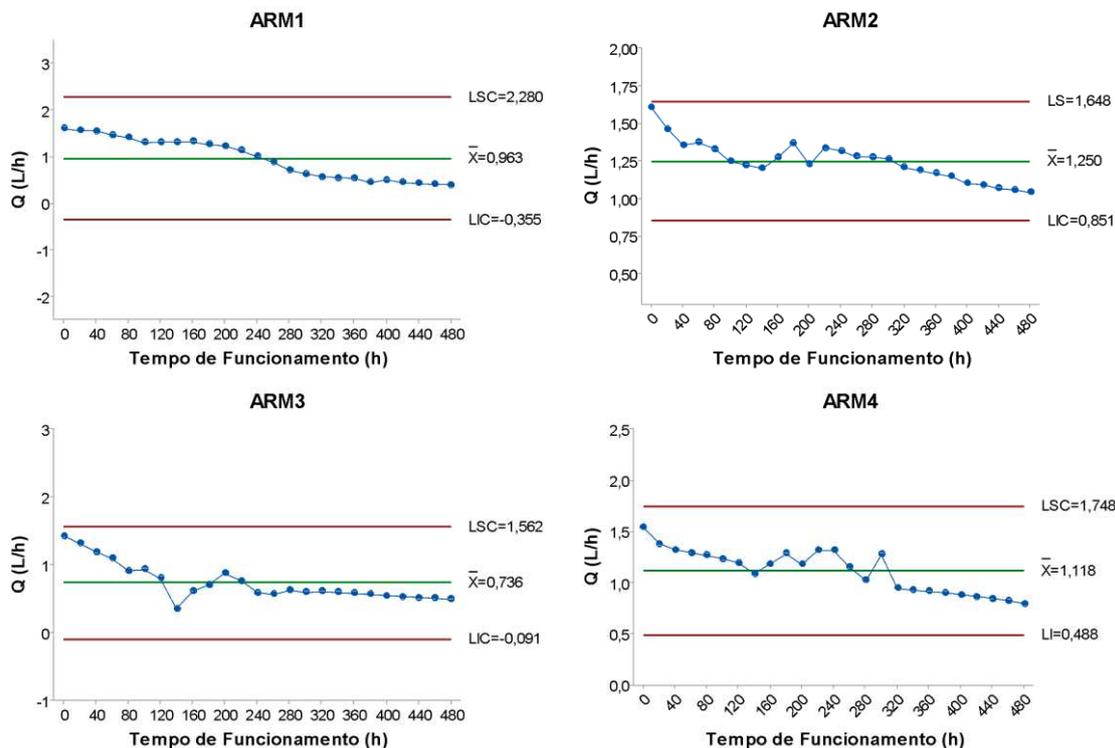


Figura 20. Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para a vazão das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia.

Ainda analisando a Figura 20, o tratamento ARM1, ARM2, ARM3 e ARM4 apresentaram vazões médias de vazão média de 0,96; 1,25; 1,65 e 1,18 L h⁻¹, respectivamente. A vazão média, ao final das 480 h de funcionamento, teve uma redução de 40,37 % para ARM1 e de 22,36 para ARM2 quando comparadas com a vazão nominal disponibilizada pelo fabricante que é de 1,61 L h⁻¹. Já para os tratamentos ARM3 e ARM4, que segundo o fabricante tem vazões nominais de 1,41 e 1,51 L h⁻¹, as reduções das vazões médias foram de 47,5 e 21,85%, respectivamente. Dessa maneira, todos os tratamentos estudados, utilizando água residuária de fecularia, demonstraram variações em suas vazões médias muito superiores ao limite recomendando pela norma NBR ISO 9261 (2006) que deve ser de $\pm 7\%$.

Na Figura 21, o parâmetro hidráulico vazão (Q) pode ser avaliado por meio das cartas de controle estatístico de qualidade de MMEP, para as diferentes unidades gotejadoras após serem irrigadas com água residuária de fecularia. Todos os tratamentos estudados exibiram falta de controle estatístico dos processos, tendo em vista que, há

presença de sequências ou tendências de valores que se iniciam acima da linha média e vão decrescendo até extrapolarem os limites de controle inferior a partir dos ensaios realizados às 480h de funcionamento. Refletindo consideravelmente, os danos ocasionados pelo uso da água residuária de fecularia diluída na irrigação, dado que em todos os tratamentos os valores de variação da vazão foram bem superiores ao limite de $\pm 7\%$, estabelecido pela norma NBR ISO 9261 (2006).

Ao serem comparadas com as cartas de controle de Shewhart, percebe-se que com o auxílio das cartas de controle de MMEP, é possível detectar com mais antecedência os indícios de falta de controle dos processos, uma vez que é visível que as sequências de valores começaram a decair a partir das 220h (Ensaio 12) no tratamento ARM1, das 100h (Ensaio 6) no tratamento ARM2 e das 140h (Ensaio 8) nos tratamentos ARM3 e ARM4. Confirmando assim, a alta sensibilidade das cartas de controle de MMEP na detecção de pequenas variações nos processos.

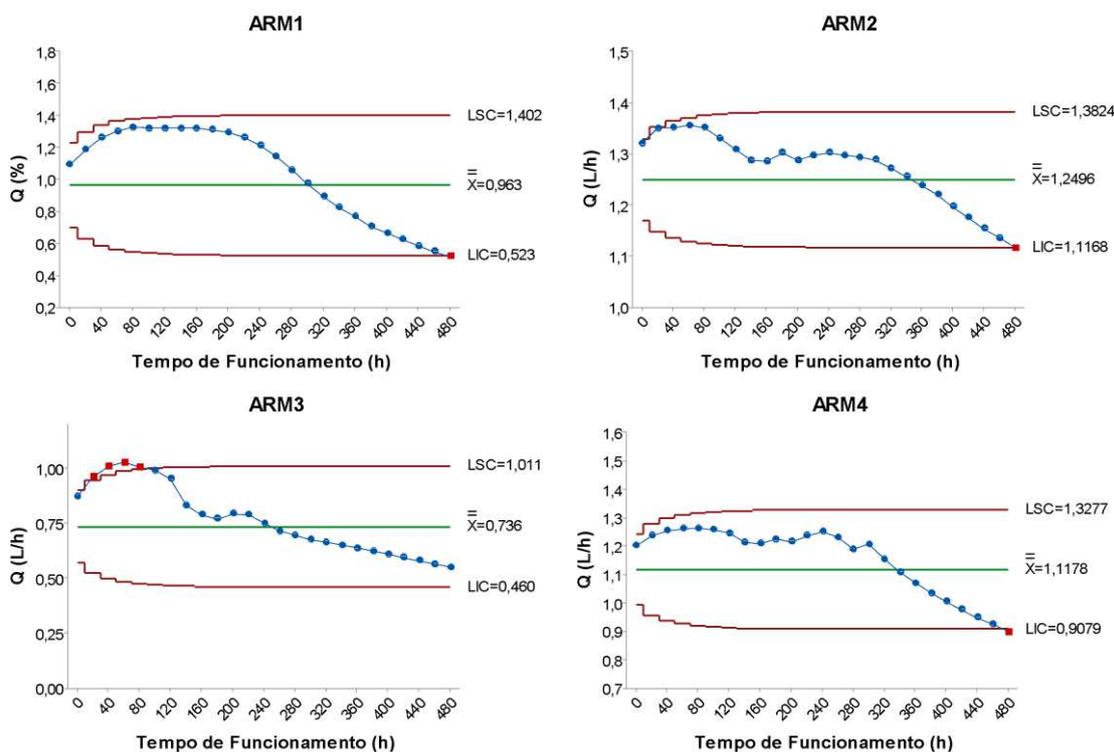


Figura 21. Cartas de Controle estatístico de qualidade de MMEP para a vazão das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia.

O comportamento do parâmetro hidráulico vazão (Q) também pode ser examinado por meio das cartas de controle estatístico de qualidade de CUSUM, para as diferentes unidades gotejadoras ao decorrer de 480h de irrigação com água residuária de

fecularia, na Figura 22, em que se percebe os efeitos do uso de água residuária de fecularia diluída nos valores de vazão média das unidades gotejadoras, pela falta de controle de seus processos. Em todos os tratamentos os valores de soma acumulada se encontram distantes e acima das linhas médias, e nos tratamentos ARM1, ARM2 e ARM3 extrapolaram os limites inferior de controle às 440h (Ensaio 23) de funcionamento no tratamento ARM1, às 480h (Ensaio 25) de funcionamento no tratamento ARM2 e às 460h (Ensaio 24) de funcionamento no tratamento ARM4.

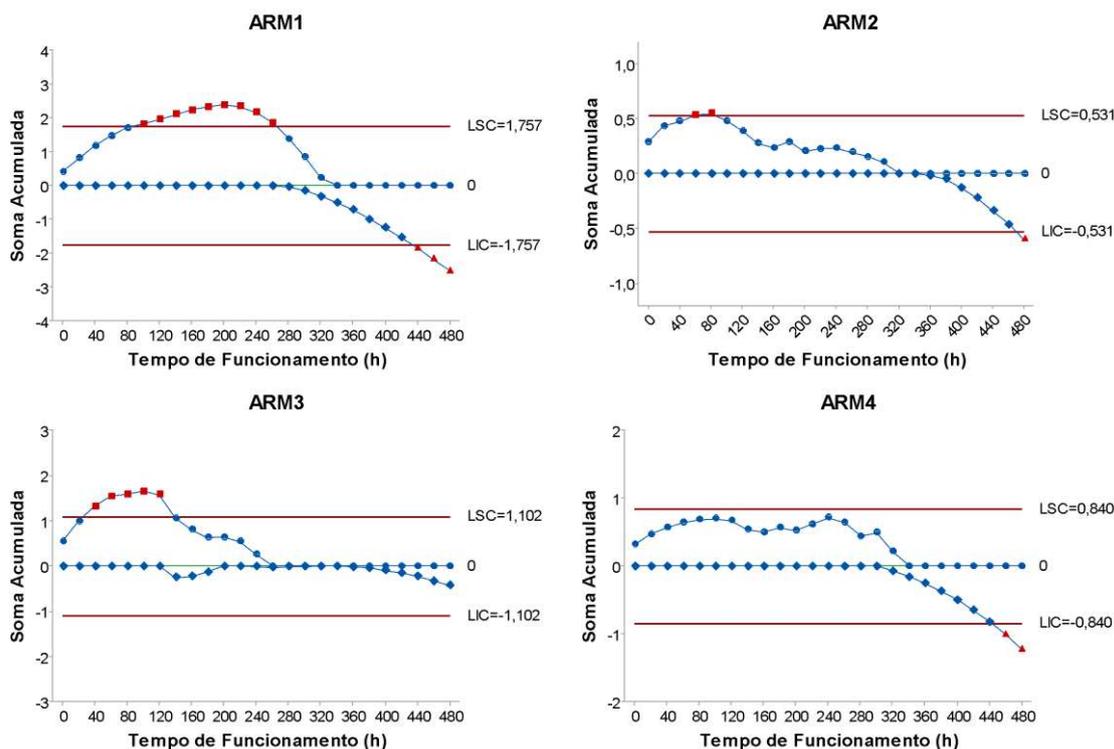


Figura 22. Cartas de Controle estatístico de qualidade de CUSUM para a vazão das unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia.

Ademais, nas cartas de controle de CUSUM (Figura 22), é possível notar nas unidades gotejadoras o momento em que tem início o período de maior severidade ocasionado pelo uso de água residuária na irrigação, fato que é percebido quando os valores de soma acumulada se distanciam das linhas médias em seqüências decrescentes, em direção ao limite inferior de controle. Dados a partir do ensaio realizado às 280h no tratamento ARM1 (Ensaio 15), às 340h (Ensaio 18) nos tratamentos ARM2 e ARM4, e às 360h (Ensaio 19) no tratamento ARM3.

4.2.2.2 Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)

As cartas de controle estatístico de qualidade de Shewhart para os valores individuais do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) para os tratamentos

estudados utilizando água residuária de fecularia na irrigação (Tratamentos ARM1, ARM2, ARM3 e ARM4) estão presentes na Figura 23. Observa-se que, não há presença de dados acima ou abaixo dos limites de controle estipulados. Além da presença de sequências ou tendências de valores acima de sete de valores acima da linha média (MONTGOMERY, 2013) nos tratamentos ARM1, ARM2 e ARM4, o que para a situação estudada não representa dano aos processos, pois quanto maiores são os coeficientes de uniformidade de distribuição, melhor é o desempenho hidráulico das unidades gotejadoras. Entretanto, as sequências de valores de CUD situados abaixo das linhas médias estão presentes em todos os tratamentos e indicam problemas nesses processos, implicando na falta de controle estatístico dos processos.

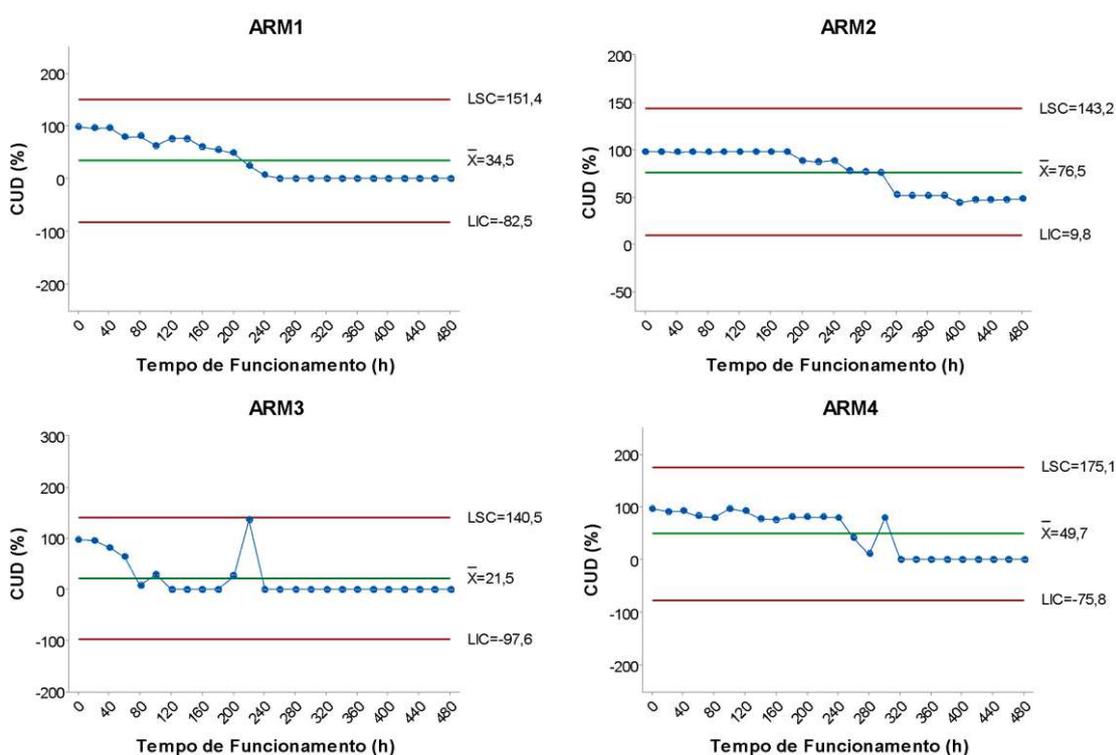
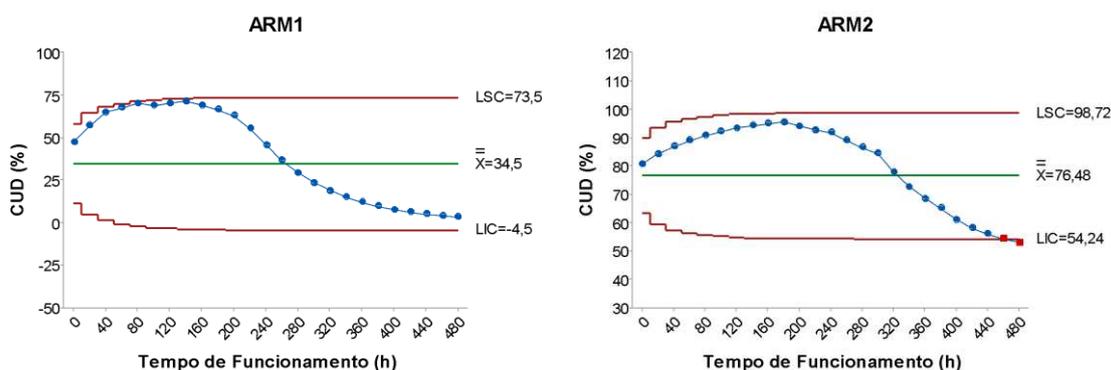


Figura 23. Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia diluída.

Nota-se também que, para o tratamento ARM1 o valor médio do CUD estimado ao longo do período experimental foi de 34,50%, com limite de controle superior de 151,40% e limite inferior de controle de -82,50%. O tratamento ARM2 com valor médio do CUD estimado ao longo do período experimental de 76,50%, limite de controle superior de 143,20% e limite inferior de controle de -9,80%. Para o tratamento ARM3, o valor médio de CUD foi de 21,50%, com limite de controle superior de 140,50% e limite inferior de controle de -97,60%. E o tratamento ARM4, o valor médio

de CUD de 49,70%, limite de controle superior e inferior de 175,10 e -75,80%, respectivamente. Vale dizer que, ao final dos ensaios todos os tratamentos tiveram valores médios de CUD bem próximos de 0%, por causa dos danos ocasionados às fitas gotejadoras ao serem irrigadas com água residuária de fecularia. Daí, em função do parâmetro hidráulico coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD), de acordo com a classificação proposta por Mantovani (2001), os tratamentos ARM1 e ARM3% podem ser classificados como “Inaceitáveis” por terem valor médio de CUD abaixo de 36%. Já o tratamento ARM2 é classificado como “Bom” por possuir valor médio entre 68-84%. E o tratamento ARM4 é classificado como “Ruim” por apresentar valor médio entre 36-52%. Desse modo, é possível atribuir os baixos índices de CUD ao entupimento dos emissores, ocasionado pela ação dos agentes físico-químicos e biológicos presentes na água residuária de fecularia, corroborando com os resultados das pesquisas de Gomes *et al.* (2020) com água residuária doméstica tratada na irrigação, Marque *et al.* (2018) com água residuária de laticínios, Fernandes *et al.* (2017) com diluições de água residuária doméstica tratada e Mesquita *et al.* (2015) com percolado de aterro sanitário diluído em água de abastecimento público.

Na Figura 24 é possível analisar o comportamento do parâmetro hidráulico uniformidade de distribuição (CUD) dos tratamentos avaliados, ao serem irrigados com água residuária de fecularia, por meio das cartas de controle estatístico de qualidade da média móvel exponencialmente ponderada (MMEP). Nota-se a falta de controle estatístico em todos os tratamentos estudados, pela presença de sequências ou tendências de valores que se iniciam acima da linha média, sem ocasionar nenhum prejuízo aos tratamentos, seguindo decrescendo em direção aos limites de controle inferior (indicando nesse contexto a presença de danos nos processos), chegando a extrapolar os limites de controle inferior no tratamento ARM2 a partir do ensaio realizado às 460h (Ensaio 24) de funcionamento.



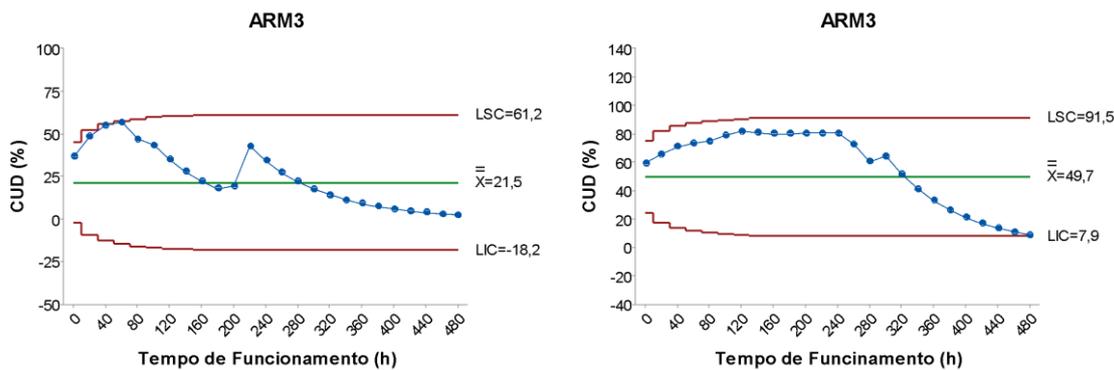


Figura 24. Cartas de Controle estatístico de qualidade de MMEP para o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia.

Ainda analisando a Figura 24, ao comparar as cartas de controle de MMEP com as cartas de controle de Shewhart para o parâmetro hidráulico coeficiente de uniformidade estatística (CUD), ao serem irrigados com água residuária de fecularia, as cartas de MMEP propiciam um diagnóstico precoce da situação hidráulica das unidades gotejadoras avaliadas, por sua alta sensibilidade às pequenas variações que possam ocorrer nos processos. De modo que, a partir do ensaio realizado às 260h (Ensaio 14) se inicia no tratamento ARM1 os efeitos mais danosos ocasionados pelo uso de água residuária de fecularia na irrigação. Nos tratamentos ARM2 e ARM4 o início se dá no ensaio realizado às 320h de funcionamento (Ensaio 17). E no tratamento ARM3 a partir do ensaio realizado às 300h de funcionamento (Ensaio 16).

Na Figura 25 é possível analisar o parâmetro coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), a partir das cartas de controle estatístico de qualidade de CUSUM para os tratamentos estudados (Tratamentos ARM1, ARM2, ARM3 e ARM4). Todos os tratamentos mostraram sequências ou tendências de valores de soma acumulada distantes e acima das linha médias, extrapolando os limites de controle superior, fatos não são considerados prejudiciais aos processos avaliados. Todavia, ressalta-se que com base nas cartas de controle de CUSUM é possível detectar o momento exato em que as unidades gotejadoras iniciam um processo de maior severidade, pelo uso de água residuária de fecularia na irrigação.

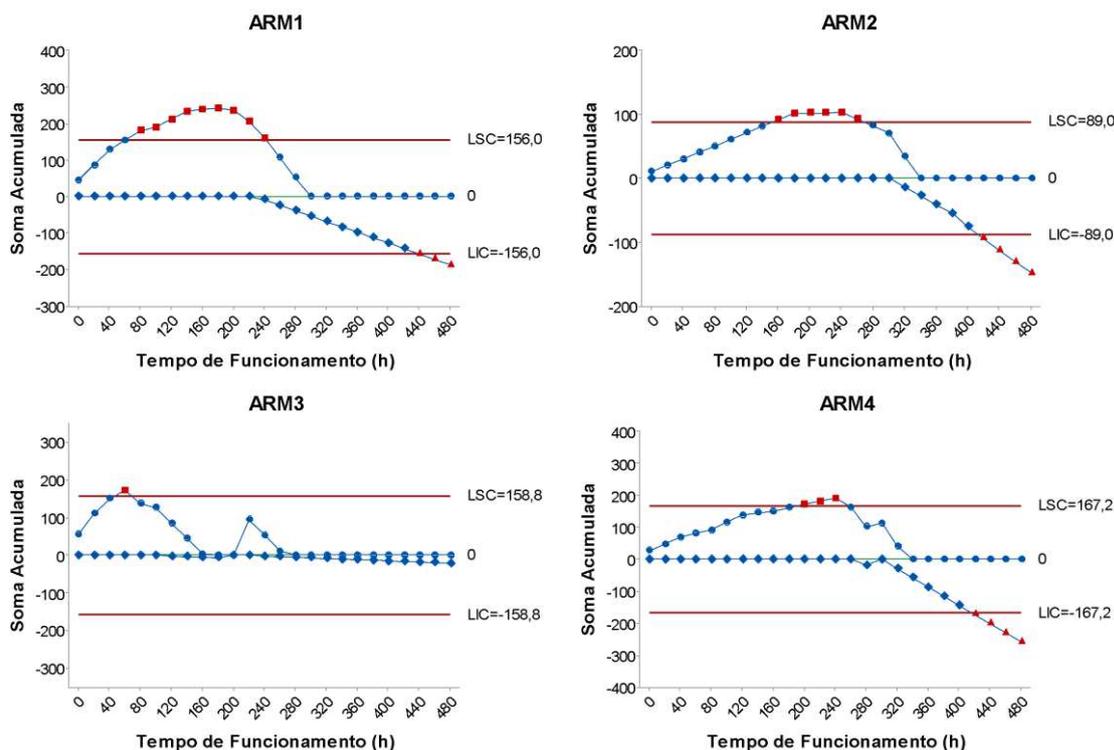


Figura 25. Cartas de Controle estatístico de qualidade de CUSUM para o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia.

Ainda analisando a Figura 25, observa-se que os eventos mais severos para os processos são detectados a partir do ensaio realizado às 220h (Ensaio 12) no tratamento ARM1, às 300h (Ensaio 16) no tratamento ARM2 e às 260h (Ensaio 14) no tratamento ARM4. Além disso, as sequências de valores de soma acumulada obtidos ao longo dos ensaios extrapolam os limites de controle inferior a partir do ensaio realizado às 440h (Ensaio 23) no tratamento ARM1 e às 420h de funcionamento nos tratamentos ARM2 e ARM4, de modo que o conjunto de todos esses fatos, associados a classificação proposta por Mantovani (2001), implicam na falta de controle estatístico nos processos analisados.

4.2.2.3 Coeficiente de variação de vazão (CV_q)

Na Figura 26 são apresentadas as cartas de controle estatístico de Shewhart para os valores individuais do parâmetro hidráulico coeficiente de variação de vazão (CV_q), das unidades gotejadoras estudadas ao longo de 480h de irrigação com água residuária de fecularia. Todas as cartas de Shewhart para o parâmetro coeficiente de variação de vazão (CV_q) apresentaram exibiram sequências ou tendências de valores acima das linhas médias e extrapolação dos valores acima dos limites de controle

superior nos tratamentos ARM1 e ARM3, indicando prejuízo no desempenho hidráulico das unidades gotejadoras.

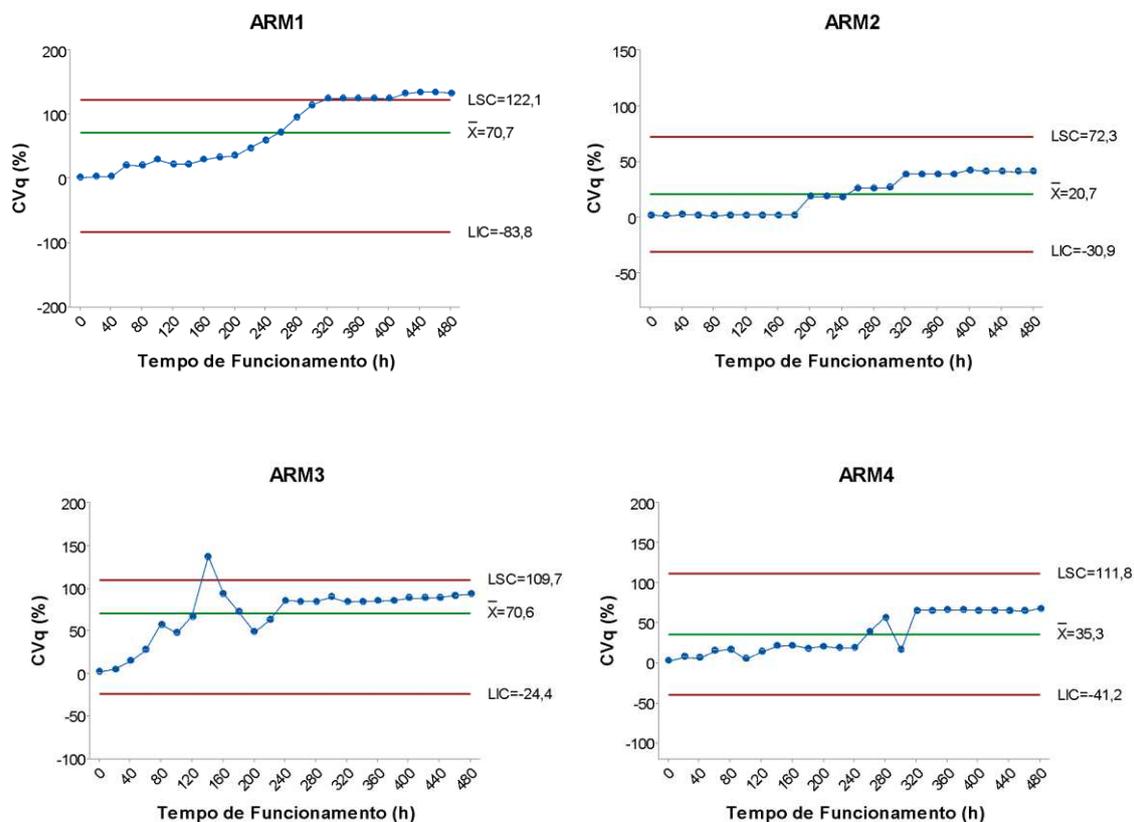


Figura 26. Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para o Coeficiente de Variação de vazão (CV_q) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia.

Ainda sobre a Figura 26, no tratamento ARM1 o valor médio do CV_q estimado ao longo do período experimental foi de 70,60%, com limite de controle superior de 122,10% e limite de controle inferior de -83,80%. Para o tratamento ARM2, o valor médio do CV_q estimado foi de 20,70%, com limite de controle superior de 72,30% e limite de controle inferior de -30,90%. O CV_q médio para o tratamento ARM3 correspondeu a 35,30%, com limite de controle superior de 109,70% e limite de controle inferior de -30,90%. E para o tratamento ARM4, o valor médio do CV_q estimado ao longo do período experimental de 70,60%, com limite de controle superior de 111,80% e limite de controle inferior de -41,20%. Dessa forma, de acordo a classificação proposta por Solomon (1984), para o parâmetro hidráulico todas as unidades gotejadoras estudadas ao serem submetidas à 480h de irrigação com água

residuíria de fecularia são classificadas como “Inaceitáveis”, por causa dos valores médios de CV_q muito superiores à 14%.

Na Figura 27, o parâmetro hidráulico coeficiente de variação de vazão (CV_q) para as unidades gotejadoras ao serem submetidas à irrigação com água residuíria de fecularia, pode ser analisado por meio das cartas de controle estatístico de qualidade da média móvel exponencialmente ponderada (MMEP). É possível observar nas cartas de controle de MMEP, inicialmente, a presença de sequências ou tendências de valores situados abaixo da linha média até o ensaio realizado às 300h (Ensaio 16), momento em que os valores ultrapassam a linha média e chegam a extrapolar o limite de controle no ensaio realizado às 480h (Ensaio 25) no tratamento ARM1. No tratamento ARM2, os valores seguem em sequência abaixo da linha média até o ensaio realizado às 320h (Ensaio 17), ultrapassando-a e seguindo em direção ao limite de controle superior. No tratamento ARM3, os valores já seguem em sequência acima da linha média após o ensaio realizado às 240h (Ensaio 13). E no tratamento ARM4, em sequência abaixo da linha média até o ensaio realizado às 340h (Ensaio 18), ultrapassando-a em direção ao limite de controle superior.

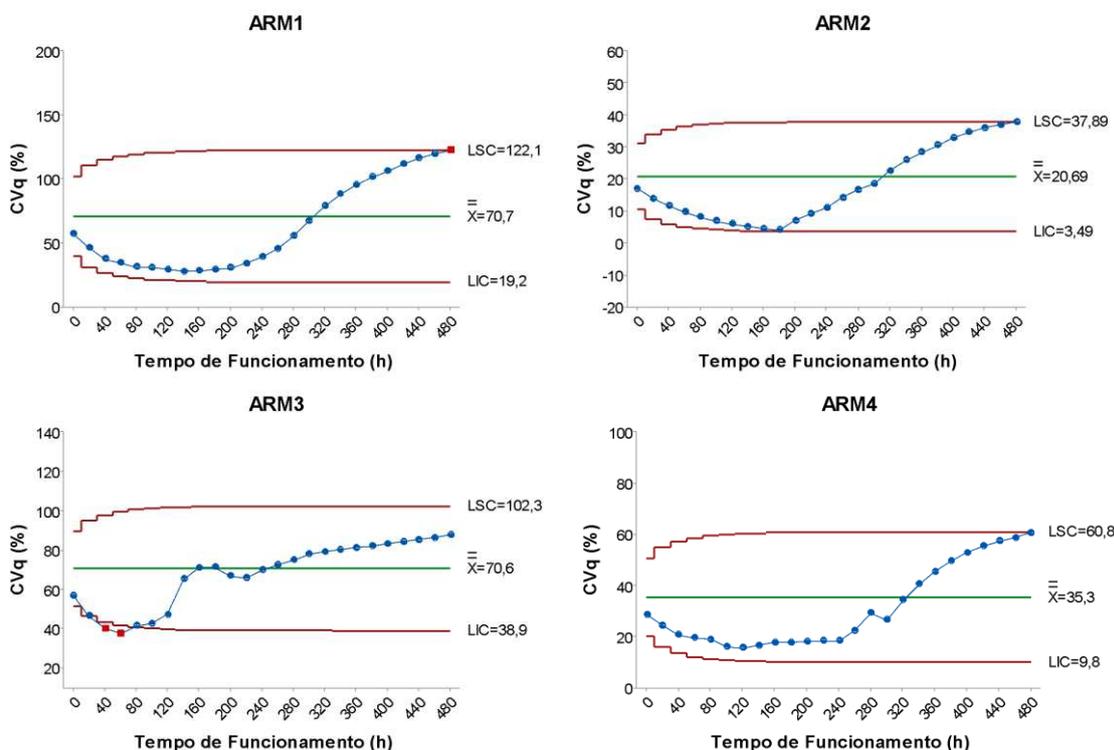


Figura 27. Cartas de Controle estatístico de qualidade de MMEP para o Coeficiente de Variação de vazão (CV_q) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuíria de fecularia.

Já na Figura 28, o comportamento do parâmetro hidráulico coeficiente de variação de vazão (CV_q) pode ser avaliado por meio das cartas de controle estatístico de qualidade de CUSUM, para as diferentes unidades gotejadoras, ao serem irrigadas com água residuária de fecularia. Nota-se a presença de sequências de valores de soma acumulada distantes e abaixo das linha médias, extrapolando os limites de controle inferior no tratamento ARM1 entre às 120h e 260h de funcionamento da unidade gotejadora (Ensaio 7 a 14), no tratamento ARM2 entre às 120h e 240h de funcionamento da unidade gotejadora (Ensaio 7 a 13), no tratamento ARM3 entre às 40h e 120h de funcionamento da unidade gotejadora (Ensaio 3 a 7) e no tratamento ARM4 entre às 200h e 240h de funcionamento da unidade gotejadora (Ensaio 11 a 13).

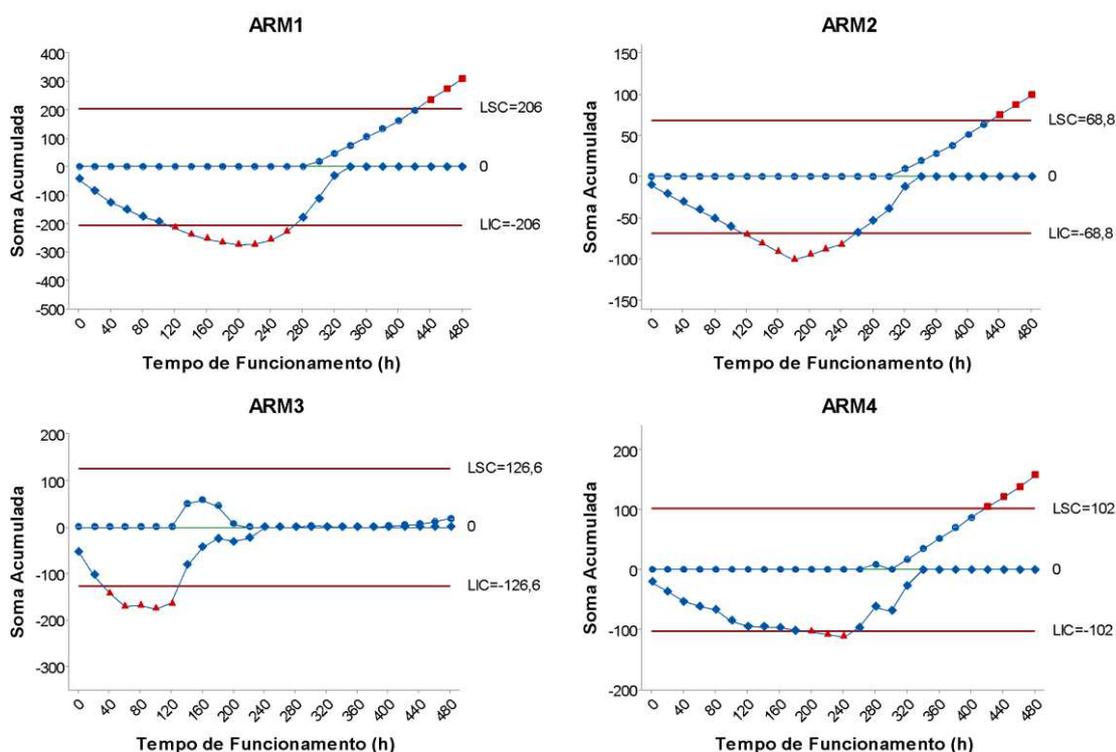


Figura 28. Cartas de Controle estatístico de qualidade de CUSUM para o Coeficiente de Variação de vazão (CV_q) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia diluída em água de abastecimento urbano.

Nas cartas de controle de CUSUM para o parâmetro hidráulico CV_q , presentes na Figura 28 acima, observa-se o momento em que os valores de soma acumulada se distanciam acima da linha média em direção ao limite de controle superior, extrapolando esse limite a partir das 440h nos tratamentos ARM1 e ARM2 e das 400h no tratamento ARM4, de modo que é perceptível o momento em que os tratamentos

estudados começam a refletir danos ocasionados nos desempenhos hidráulicos das unidades gotejadoras pelo uso de água residuária de fecularia na irrigação.

4.2.2.4 Eficiência de aplicação (Ea)

Na Figura 29 se tem as cartas de controle estatístico de qualidade de Shewhart, para os valores individuais do parâmetro hidráulico eficiência de aplicação (Ea) ao serem submetidas à irrigação com água residuária de fecularia (Tratamentos ARM1, ARM2, ARM3 e ARM4). Percebe-se que, não há presença de valores fora dos limites de controle estipulados, entretanto, há sequências ou tendências de valores situados abaixo da linha média, que implicam em danos pelo uso de água residuária de fecularia na irrigação das unidades gotejadoras.

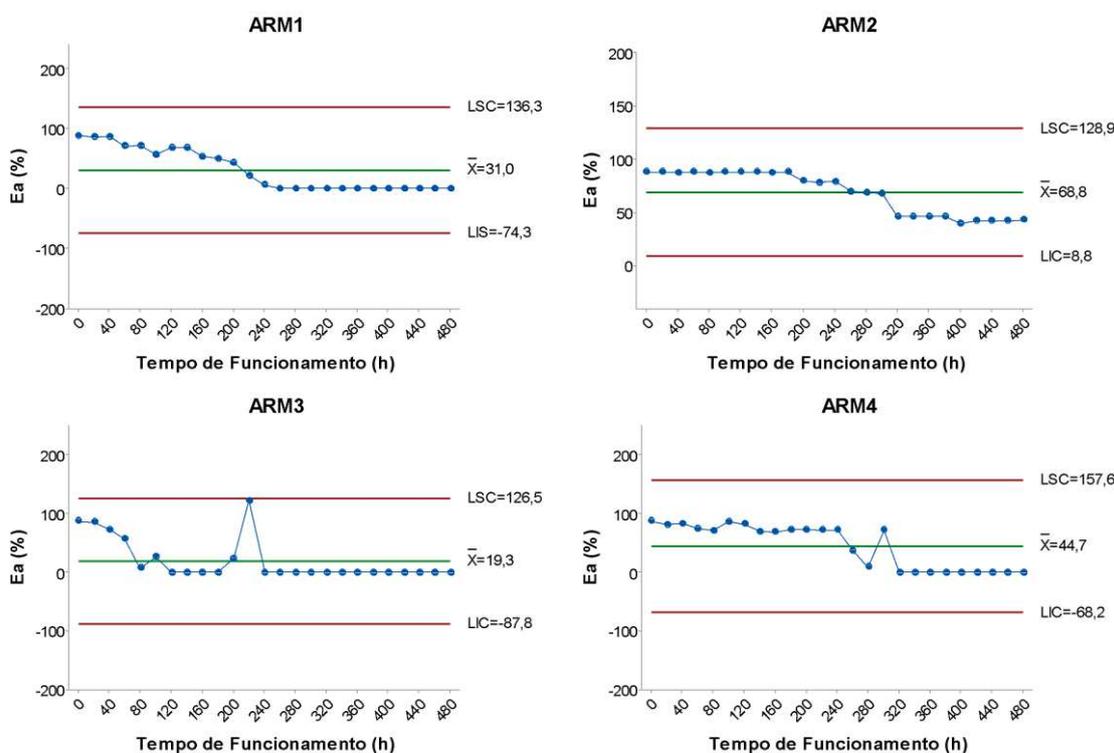


Figura 29. Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para a Eficiência de Aplicação (Ea) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia diluída em água de abastecimento urbano.

Ainda por meio da Figura 29, a unidade gotejadora que compõe o tratamento ARM1 apresentou valor médio de Ea estimado ao longo do período experimental de 31,10%, com limite superior de controle de 136,30% e limite inferior de controle de -74,30%. O tratamento ARM2 com valor médio de Ea estimado ao longo do período experimental de 68,80%, com limite superior de controle de 128,90% e limite inferior de controle de 8,80%. O tratamento ARM3 com valor médio de Ea de 19,30%, limite

superior de controle de 126,50% e limite inferior de controle de -87,80%. E o tratamento ARM4 alcançou valor médio de E_a de 44,70%, com limite superior de controle de 157,60% e limite inferior de controle de -68,20%. De acordo com a classificação proposta por Bernardo *et al.* (2006), para o parâmetro hidráulico Eficiência de Aplicação (E_a) todas as unidades gotejadoras ao serem irrigadas com água residuária de fecularia são classificadas como “Ruins”, dado que valores médios de E_a estão entre 19,30 e 68,80%. Segundo Batista *et al.* (2017 apud Ravina *et al.*, 1997; Batista *et al.*, 2013, p. 2), o desempenho hidráulico das unidades gotejadoras é afetado pelo entupimento parcial e total dos gotejadores, resultando na alteração da vazão (aumento ou redução), e conseqüentemente, afetando a eficiência de aplicação, colocando em risco a produtividade dos cultivos agrícolas e gerando a degradação ambiental. Mesquita *et al.* (2020) complementam que, o entupimento das unidades gotejadoras também afeta as características de operação e exige manutenções com maior frequência.

Na Figura 30 se apresenta a situação do parâmetro hidráulico eficiência de aplicação (E_a), por meio das cartas de controle estatístico de qualidade da média móvel exponencialmente ponderada (MMEP), dos tratamentos estudados (Tratamento ARM1, ARM2, ARM3 e ARM4) ao serem submetidos à 480h de funcionamento com água residuária de fecularia. Nas cartas de controle nota-se que, todas possuem sequências ou tendências de valores. Além disso, no tratamento ARM2 a partir do ensaio realizado às 460h os valores extrapolaram o limite de controle inferior. É notório também que, os valores ultrapassaram as linhas médias em sequências decrescentes e em direção ao limite de controle inferior a partir do ensaio realizado às 260h (Ensaio 14) no tratamento ARM1, no tratamento ARM2 a partir do ensaio realizado às 300h de funcionamento (Ensaio 16), no tratamento ARM3 do ensaio realizado às 280h (Ensaio 15) e no tratamento ARM4 do ensaio realizado às 320h (Ensaio 17). Sendo constatado a presença de indícios de falta de controles nesses processos na irrigação com água residuária de fecularia.

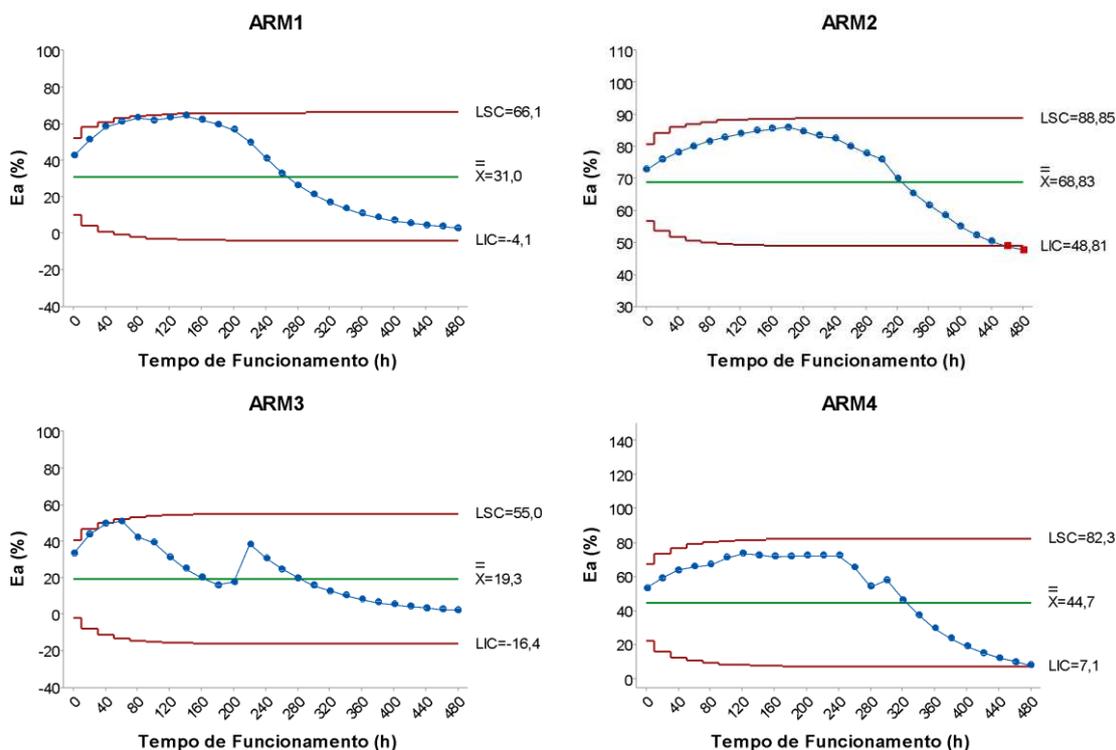
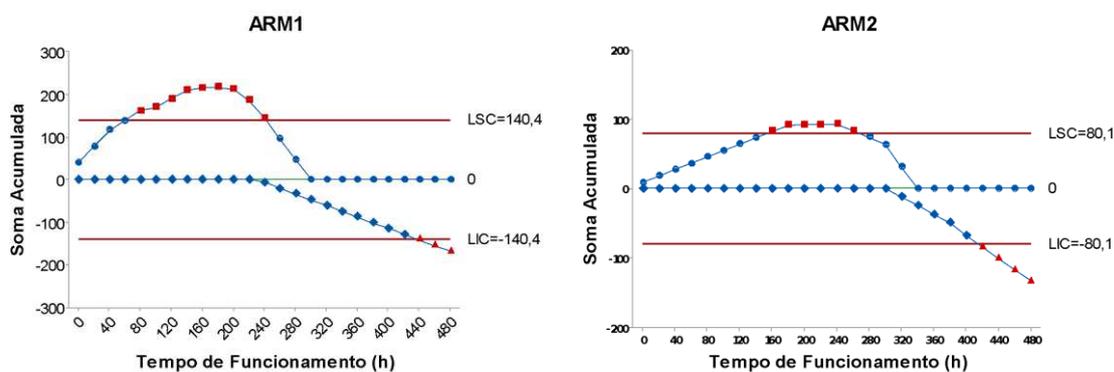


Figura 30. Cartas de Controle estatístico de qualidade de MMEP para a Eficiência de Aplicação (Ea) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia diluída em água de abastecimento urbano.

Na Figura 31, o parâmetro hidráulico eficiência de aplicação (Ea) para os diferentes tratamentos estudados utilizando água residuária de fecularia na irrigação, pode ser estudado por meio das cartas de controle estatístico de qualidade de CUSUM. E assim como nas demais cartas de controle estatístico, se tem a falta de controle estatístico em todas as cartas obtidas para cada um dos tratamentos estudados, comprovado pela presença de sequências ou tendências de valores de soma acumulada abaixo da linha média e também pela ocorrência de valores de soma acumulada, que extrapolaram os limites de controle superior.



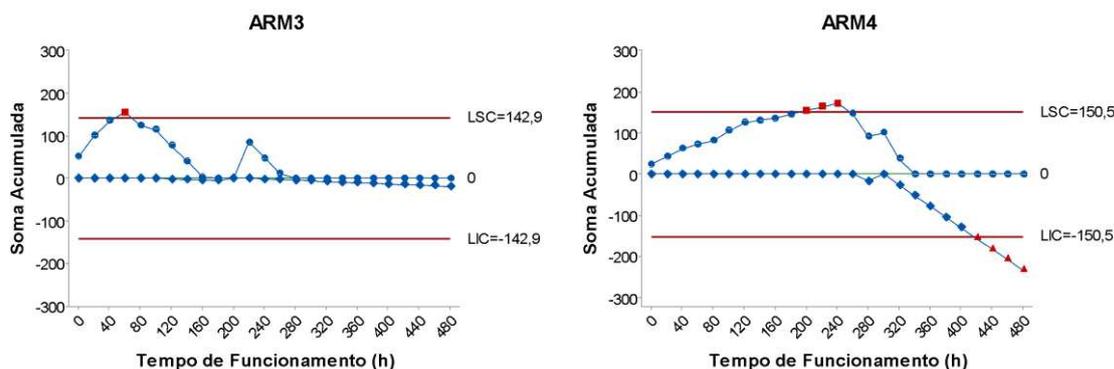


Figura 31. Cartas de Controle estatístico de qualidade de CUSUM para a Eficiência de Aplicação (Ea) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia.

Nas cartas de controle de CUSUM para o parâmetro eficiência de aplicação (Ea), é possível identificar o momento em que as unidades gotejadoras dão indícios de maior severidade devido ao uso de água residuária de fecularia na irrigação, o qual se inicia no tratamento ARM1 às 260h de funcionamento (Ensaio 14) e nos tratamentos ARM2 e ARM4 às 300h (Ensaio 16).

4.2.2.5 Grau de entupimento (GE)

As cartas de controle estatístico de qualidade de Shewhart para os valores individuais do parâmetro grau de entupimento (GE) estão dispostas na Figura 32, para as unidades gotejadoras submetidas à irrigação com água residuária de fecularia diluída. Em nenhum dos tratamentos se verifica a extrapolação de valores acima ou abaixo dos limites de controle estipulados, há evidências de falta de controle estatístico nos processos pela presença de sequências ou tendências de valores acima das linhas médias (MONTGOMERY, 2013) a partir do ensaio realizado às 260h (Ensaio 14) no tratamento ARM1, às 300h (Ensaio 16) no tratamento ARM2 e ARM4 e às 220h (Ensaio 12) no tratamento ARM3. Tendo em vista que, os valores situados acima das linhas médias devem ser ressaltados por indicarem altas alterações nos graus de entupimento de todos os tratamentos avaliados.

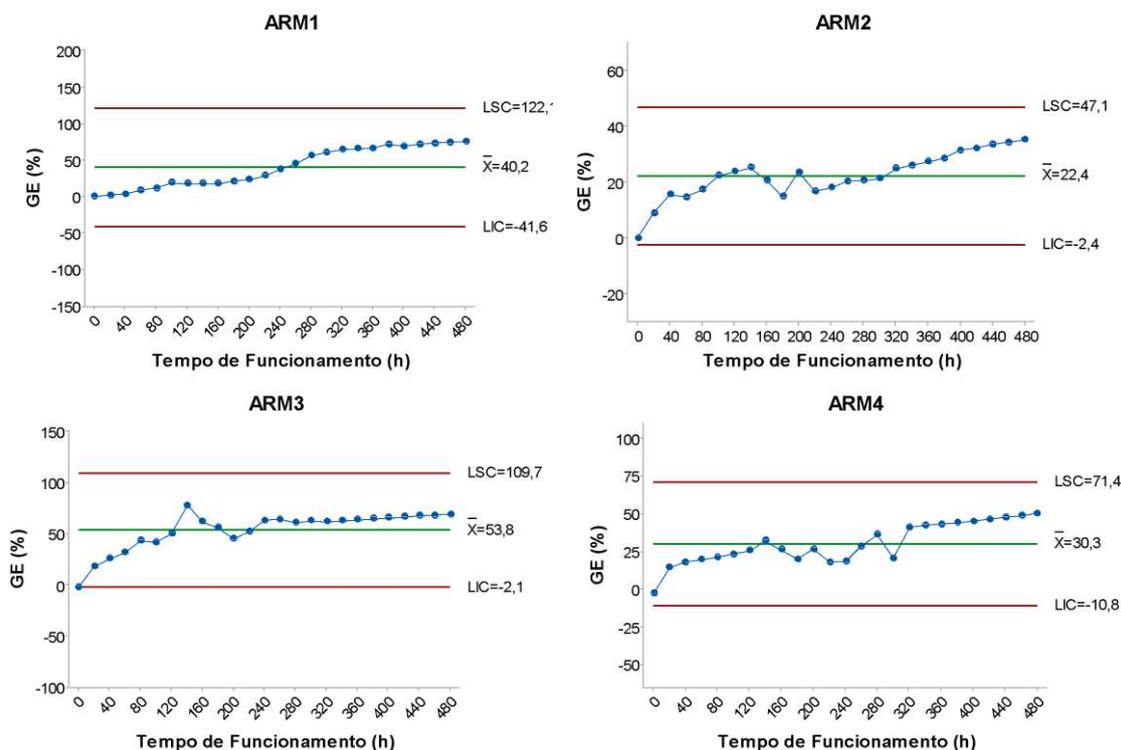


Figura 32. Cartas de Controle estatístico de qualidade de Shewhart para o Grau de Entupimento (GE) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia diluída.

Ainda analisando a Figura 32, a unidade gotejadora que compõe o tratamento ARM1 apresentou valor médio de GE estimado ao longo do período experimental de 40,20%, com limite de controle superior de 122,1% e limite de controle inferior de -41,60%. No tratamento ARM2, o valor médio do GE estimado ao longo do período experimental foi de 22,40%, com limite de controle superior de 47,1% e limite de controle inferior de -2,4%. No tratamento ARM3, o valor médio de GE foi de 53,8%, com limite de controle superior de 109,70% e limite de controle inferior de -2,1%. E no tratamento ARM4, o valor médio de GE foi de 30,30%, com limite superior de controle de 71,40% e limite de controle inferior de -10,80%. Por meio da classificação proposta por Morata *et al.* (2014), em função do parâmetro hidráulico Grau de Entupimento (GE), as unidades gotejadoras que compõem os tratamentos ARM1 e ARM3 são classificadas como “Entupimento Alto”, e já nos tratamentos ARM2 e ARM4 como “Entupimento Médio”.

Na Figura 33, o grau de entupimento (GE) para os tratamentos estudados (Tratamentos ARM1, ARM2, ARM3 e ARM4), ao serem submetidos à 480h de funcionamento com água residuária de fecularia diluída, pode ser avaliado a partir das

cartas de controle estatístico de qualidade da média móvel exponencialmente ponderada (MMEP). Há presença de sequências ou tendências de dados, fator que segundo Montgomery (2013), reflete problema nos processos analisados. Na pesquisa, o fato dos dados se situarem acima da linha média é visto como prejudicial aos processos e nas cartas de controle de MMEP o momento em que os valores de GE tendem a ultrapassar a linha média tem início a partir do ensaio realizado às 300h (Ensaio 16) no tratamento ARM1 e ARM4 e às 260h (Ensaio 14) no tratamento ARM3.

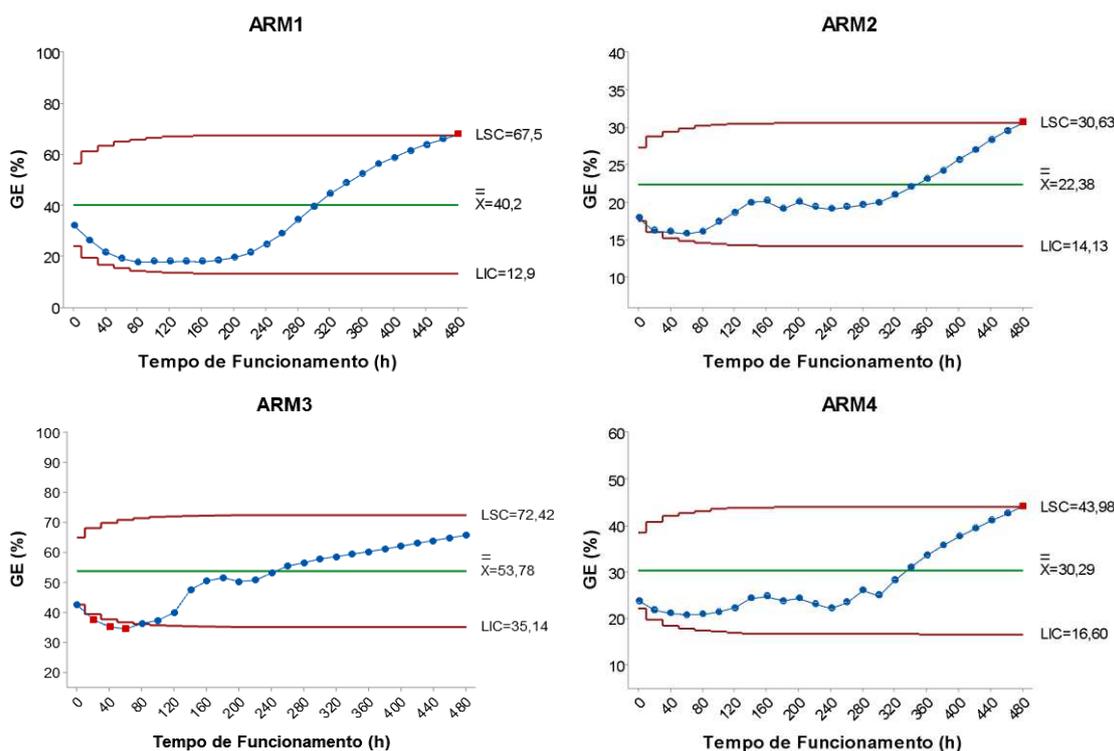


Figura 33. Cartas de Controle estatístico de qualidade de MMEP para o Grau de Entupimento (GE) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia.

Na Figura 34, o parâmetro hidráulico grau de entupimento (GE) por meio das cartas de controle estatístico de qualidade de CUSUM para os tratamentos estudados (Tratamento ARM1, ARM2, ARM3 e ARM4) ao serem submetidos à irrigação com água residuária de fecularia. Analisando a figura, constata-se a falta de controle estatístico pelo distanciamento dos valores de soma acumulada em todas as cartas para cada um dos tratamentos estudados, com a presença de sequências de valores abaixo das linhas médias, extrapolando os limites de controle inferior no tratamento ARM1 entre os ensaios realizados às 100h (Ensaio 6) e às 260h (Ensaio 14), no tratamento ARM2 entre os ensaios realizados às 60h (Ensaio 4) e às 80h (Ensaio 5) e no tratamento ARM3 entre os ensaios realizados às 40h (Ensaio 3) e às 120h de funcionamento da unidade

gotejadora. Além disso, também há ocorrência de extrapolação dos limites de controle superior, a partir do ensaio realizado às 440h (Ensaio 23) no tratamento ARM1, às 480h (Ensaio 25) no tratamento ARM2 e às 460h no tratamento ARM4 (Ensaio 24), que na pesquisa reflete os danos ocasionados às unidades gotejadoras pelo uso de água residuária de fecularia na irrigação.

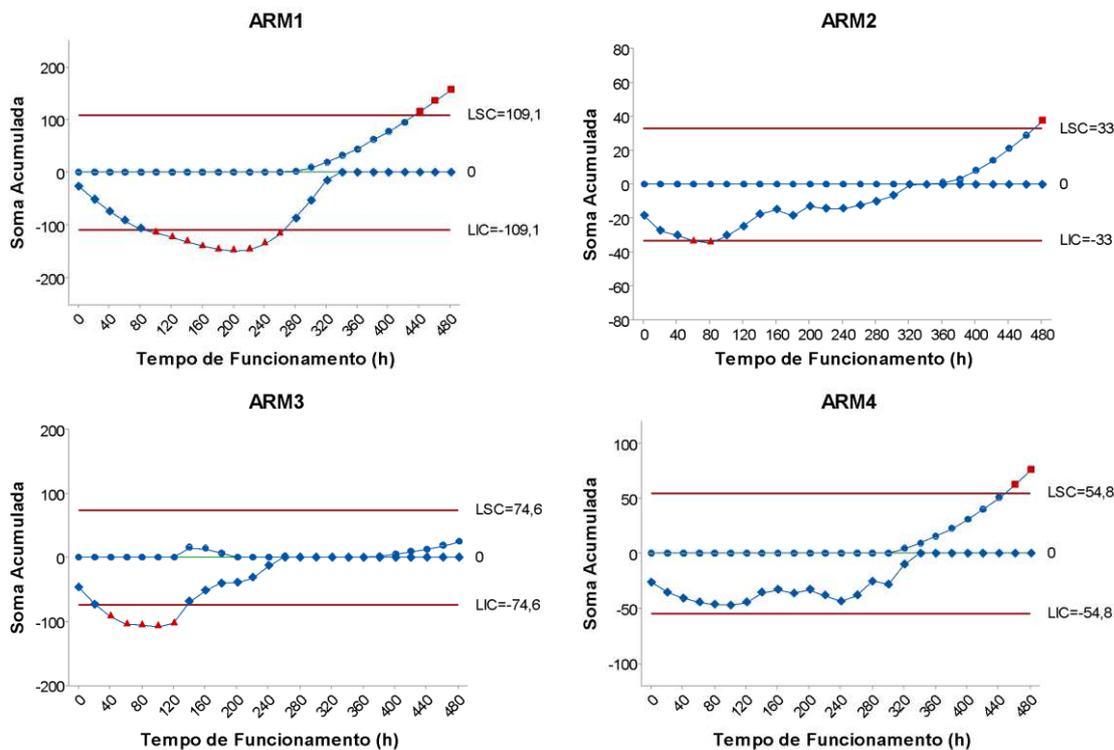


Figura 34. Cartas de Controle estatístico de qualidade de CUSUM para o Grau de Entupimento (GE) das diferentes unidades gotejadoras estudadas, ao longo de 480 horas operando com água residuária de fecularia.

Na Figura 35 é possível visualizar, nitidamente, a presença do biofilme formado no interior das paredes e nos labirintos dos emissores dos diferentes tipos de fitas gotejadoras avaliadas na pesquisa. Os resultados corroboram com os encontrados por Ferreira (2015), ao identificar em sua pesquisa que, a arquitetura do emissor é mais importante do que seu mecanismo de compensação, quando se utiliza água residuária na irrigação, tendo em vista que, o processo de entupimento é influenciado pela maneira com que a água passa no interior do labirinto. Lopes *et al.* (2015) enfatizam que, o entupimento biológico dos emissores no gotejamento, em sua grande parte, está relacionado à formação de mucilagens resultantes da ação de bactérias, fungos e protozoários.

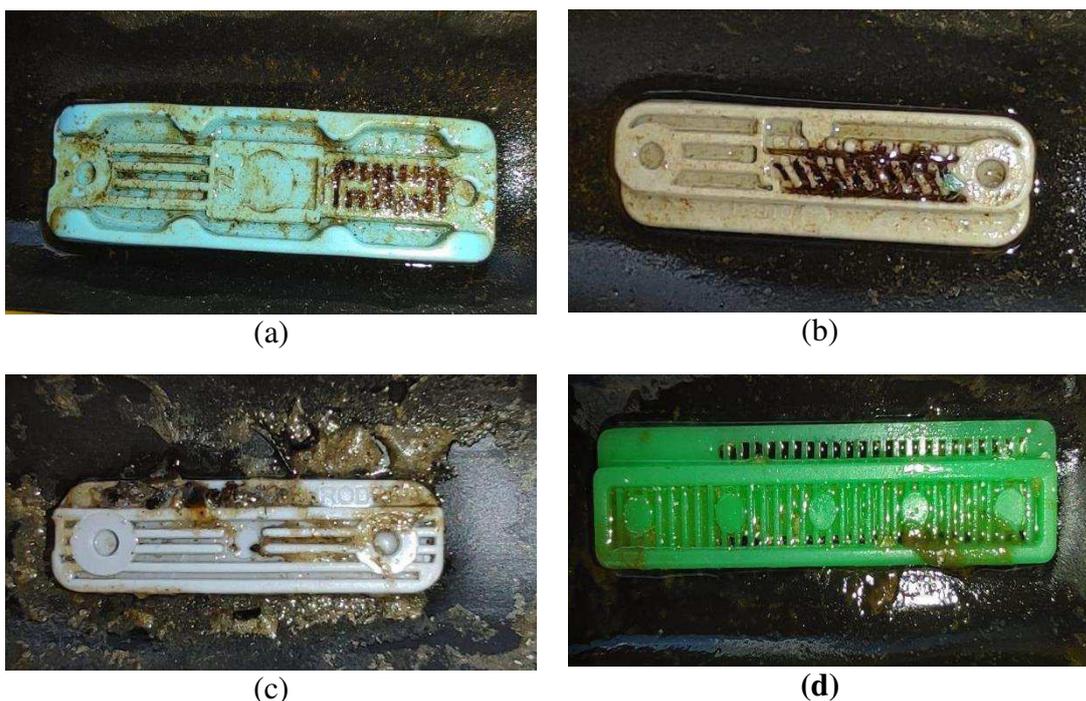


Figura 35. (a) Fita gotejadora AZUD Line (M1); (b) Fita gotejadora AZUD Sprint (M2); (c) Fita gotejadora Rivulis (M3); (d) Fita gotejadora Tiquira (M4); Todas após 480 horas de funcionamento com água residuária de fecularia diluída em água de abastecimento urbano

Os resultados obtidos na pesquisa corroboram com Vale *et al.* (2018), que analisando o efeito da irrigação de unidades gotejadoras com percolado de aterro sanitário na vazão, contataram que as alterações na vazão foram ocasionadas pelo acúmulo de biofilme no interior das paredes do labirinto dos gotejadores, que reduziu a área de passagem e aumentou a pressão do fluxo do efluente no labirinto. Os autores Ribeiro *et al.* (2018) com o auxílio da microscopia óptica e MEV puderam identificar a presença de algas, bactérias e componentes biológicos do biofilme no material obstruídos de unidades gotejadoras irrigadas com água residuária e com água com cálcio, nessa última em menor quantidade.

4.3 Qualidade da água residuária de fecularia diluída e o entupimento dos emissores

Analisando as características físico-químicas e microbiológicas presentes na água residuária de fecularia utilizada na pesquisa (Tabela 8), é possível caracterizá-la de acordo com a sua adequabilidade para uso na irrigação. De modo que, no que se refere a problemas relacionados à salinidade, a água residuária de fecularia se enquadra no grau de restrição severa de uso. Por apresentar um alto valor de Condutividade Elétrica - CE ($13,68 \text{ dS m}^{-1}$) acima de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$, de acordo com a classificação proposta por Ayers e

Westcost (1999). Quanto ao pH a água residuária de fecularia, mostrou um risco de entupimento baixo, com valor abaixo de 7, segundo a classificação proposta por Nakayama e Bucks (1991). Entretanto, de acordo com Fialho *et al.* (2017), as águas consideradas mais ácidas, ou seja, com valor de pH abaixo de 6,0, possuem o risco de provocar corrosões nas tubulações metálicas, fazendo com que haja precipitação na água de substâncias químicas presentes nos tubos, e com que a corrosão favoreça a contaminação por microrganismos.

Com relação aos altos valores de turbidez (449,0 uT) e cor (936,0 mg Pt-Co L⁻¹) os autores Alves *et al.* (2021), atribuem isso a presença de materiais sólidos em suspensão, que reduzem a transparência da água residuária. Fato que de acordo com Correia *et al.* (2018), pode ser confirmado pela concentração extremamente alta de sólidos suspensos totais. Além disso, pode ser provocada também pela oxidação da matéria orgânica presente e de outras substâncias como o zinco, ferro, manganês (BRASIL, 2005) e, em especial, no caso da água residuária de fecularia pela presença do líquido leitoso resultante do beneficiamento da mandioca. Com relação a coloração da água residuária de fecularia utilizada, o amarelo forte característico dessa água está associado à presença de sólidos dissolvidos (CORREIA *et al.*, 2018), parâmetro que teve alta concentração na análise da água em estudo.

Sobre os valores referentes à dureza da água residuária de fecularia, Nakayama e Bucks (1986) afirmam que, o risco de entupimento em função da qualidade da água utilizada na irrigação por gotejamento é reduzido quando o resultado desse parâmetro é menor que 150 mg L⁻¹, dessa forma, pelos valores de dureza de cálcio, dureza de magnésio e dureza total trazem alto risco de entupimento das unidades gotejadoras (MENDES, 2012). Referente à toxicidade de íons específicos, a concentração de sódio apresentou restrição para o uso na irrigação por ter concentração superior a 69 mg L⁻¹. Além dessa, a concentração de cloreto com grau de restrição severa (acima de 355 mg L⁻¹), de acordo com Ayers e Westcost (1999). Farias *et al.* (2016) destacam que, concentrações elevadas de cloreto e sódio podem ocasionar problemas às culturas, afetando na produção.

Sobre os valores de ferro total, de acordo com a classificação proposta por Nakayama e Bucks (1986) esse parâmetro apresenta um nível de risco de entupimento moderado por estar situado entre 0,2 – 1,5 mg L⁻¹. A presença de nitrogênio na água

residuária de fecularia utilizada na pesquisa, pode ser evidenciada pelo valor de amônia encontrado na análise, sendo considerada uma fonte de nitrogênio de baixo custo, comprovando a indicação dessa água residuária na fertirrigação, de modo que o produtor possa reduzir os gastos com fertilizantes químicos. Todavia, os altos teores de nitrogênio, conjuntamente com os demais parâmetros para o entupimento dos emissores, refletem o risco de contaminação dos corpos hídricos com o lançamento indevido dessas águas no meio ambiente. Uma vez que, de acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) em sua Resolução 430/2011, o limite máximo de amônia no efluente para lançamento deve ser 20 mg L^{-1} , desse modo, o valor desse parâmetro na pesquisa foi bem superior ao estabelecido pela norma. Segundo Fleck (2018), o lançamento de efluentes com elevados teores de nitrogênio ocasiona o processo de eutrofização, que consiste na proliferação de algas na superfície da água, criando uma camada espessa que impossibilita a entrada da luz solar nas regiões mais profundas, prejudicando o sistema ecológico. Com relação a presença de potássio, para Ferreira (2015), esse parâmetro também pode influenciar no processo de entupimento dos emissores, pois assim como a amônia este nutriente contribui para a proliferação de bactérias, fazendo com que sejam formados mucilagem e biofilme ao longo das linhas laterais.

Com relação à população bacteriana, no que se refere ao entupimento biológico dos emissores a água residuária de fecularia estudada apresentou baixo risco de entupimento, já que os resultados foram negativos para Coliformes totais e *Escherichia Coli*. Segundo Araújo *et al.* (2017), as bactérias do grupo Coliformes são utilizadas como indicadores de condições higiênico-sanitárias de água e alimentos. Os autores Mataruco *et al.* (2019) destacam que, essas bactérias, normalmente, não são encontradas em águas residuárias oriundas do processamento vegetal, uma vez que, estão associadas as fezes de animais de sangue quente.

5. CONCLUSÕES

Os parâmetros de desempenho hidráulico (Q , CUD , CV_q , Ea e GE) das unidades gotejadoras ao serem submetidas à 480h de irrigação com água de abastecimento urbano conservaram seus valores variando entre excelente e bom. Já para as unidades gotejadoras, que utilizaram água residuária de fecularia diluída na irrigação os parâmetros de hidráulicos variaram entre regular e ruim. Sendo o Grau de entupimento (GE), o indicador que melhor refletiu a ocorrência de problemas de entupimentos nos emissores.

Analisando as cartas de controle estatístico de qualidade obtidas, as cartas de Shewhart se mostraram adequadas no diagnóstico dos processos, havendo apenas indícios de falta de controle dos processos, e ausência de dados fora dos limites. Diferente das cartas de média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) e de CUSUM, que foram mais sensíveis a variações de menor porte, fazendo com que a maioria dos processos fossem classificados como fora de controle.

A utilização das técnicas de controle estatístico de processos se fez viável no monitoramento das unidades gotejadoras, possibilitando a determinação das variações ocorridas ao longo do período em estudo. Sendo considerada uma ferramenta útil, que visa otimizar a irrigação, permitindo que, as possíveis falhas sejam detectadas e corrigidas previamente.

Dentre os modelos de fitas gotejadoras analisados na pesquisa, o modelo M2 teve desempenho hidráulico, diante das condições que foi submetida, e o modelo M3 mais suscetível ao entupimento, em especial, ao ser irrigada com água residuária de fecularia, o que pode ser atribuído a arquitetura interna do labirinto de seus emissores.

As características físico-químicas da água residuária de fecularia utilizada na pesquisa atenuaram o entupimento dos emissores, afetando negativamente no bom desempenho hidráulico das unidades gotejadoras estudadas.

6. RECOMENDAÇÕES

Com base no comportamento dos parâmetros hidráulicos (Q , CUD , CV_q , Ea e GE) analisados, recomenda-se atentar para a importância da realização do monitoramento periódico do desempenho das unidades gotejadoras, principalmente, ao utilizar água residuária de fecularia na irrigação.

Ao detectar problemas no desempenho hidráulico das unidades gotejadoras devido ao uso de água residuária de fecularia na irrigação, medidas de controle contra entupimentos de origem biológica devem ser adotadas.

Considerando que, a água residuária de fecularia é uma fonte natural de nutrientes essenciais para o desenvolvimento das culturas, recomenda-se a diluição dessa água. Uma vez que, as características físico-químicas presentes podem atenuar problemas de entupimento nos gotejadores.

REFERÊNCIAS

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.

ALMEIDA, R.L.S.; CHAVES, L. H. G.; ALMEIDA FILHO, R. L. Avaliação hidráulica em sistemas de irrigação por gotejamento com duas linhas laterais. **Revista Scientia Plena**, v. 11, n. 3, 2015.

ALVES, M. C.; BATISTA, G. A.; GUEDES, B. L.; SOUZA, S. M. C. de. Caracterização da água residuária do café oriunda do processamento úmido dos grãos. In book: *Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 2021. v. 3, p.79-88.

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

ALVES JÚNIOR, J.; BARBOSA, L. H. A.; ROSA, F. de O.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. W. P.; VELLAME, L. M. African mahogany submitted to drip irrigation and fertilization. **Revista Árvore**, v. 41, n. 1, 2017.

ALVINO, F. C. G; ALEMAN, C. C.; MANTOVANI, E. C.; LOURENÇO, R. D.; MARTINS, R. G. Avaliação do coeficiente de uniformidade e vazão em fitas porosas. IV Inovagri International Meeting e III Simpósio Brasileiro de Salinidade, Fortaleza – BR, 2017.

AMORIM, M. C. C.; MOTTA SOBRINHO, M. A.; SILVA, A. F.; BARBOSA, P. da S.; SILVA, P. T. de S. Caracterização e potencial de degradabilidade natural da manipueira, **Revista GEAMA, Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology**, v. 7, n. 2, p. 04-12, 2021.

ANDRADE, E. M. G.; SILVA, S. S. da; LIMA, G. S. de; SOARES, L. A. dos A.; SILVA, A. A. R. da; 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.

ANDRADE, M. G. de. Processo da irrigação localizada utilizando o Controle Estatístico de Qualidade. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

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. 2018. Monografia - Curso de Engenharia Agrícola, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha e Universidade Federal do Pampa.

ARAÚJO, N. C. de; LIMA, V. L. A.; RAMOS, J. G.; ANDRADE, E. M. G.; LIMA, G. S. de; OLIVEIRA, S. J. C. Contents of macronutrients and growth of ‘BRS Marataoã’

cowpea fertigated with yellow water and cassava wastewater. **Rev. Ambient. Água**, v. 14, n. 3, 2019.

ARAÚJO, N. C. De; LIMA, V. L. A. de; SENA, L. F.; LIMA, G. S. de; ANDRADE, E. M. G.; CARDOSO, J. A. F.; OLIVEIRA, S. J. C. Produção de milho 'Potiguar' fertirrigado com água amarela e manipueira. **Revista de Ciências Agrárias**, v.42, n. 1, p. 166-174, 2019.

ARAUJO, S. R. F. de; CARMO, E. do S. D. do; SILVA, J. B. da; BARROS, T. L. de; SILVA, L. C. P. da; SOUZA, P. O. M. Perfil microbiológico da farinha de tapioca produzida na zona rural do Município de Santa Izabel do Pará. Multidisciplinaridade nas Ciências Ambientais: biotecnologia de alimentos e plantas e impactos ambientais das atividades agropecuárias / Altem Nascimento Pontes. – Belém: EDUEPA, 2017.

ARAÚJO, N. C.; LIMA, V. L. A. de; ANDRADE, E. M. G.; OLIVEIRA, S. J. C.; CARDOSO, J. A. F.; SENA, L. F. Crescimento inicial de feijão Vigna fertirrigado com urina humana e manipueira. **Revista Espacios**, Caracas, v.38, n. 13, p.21-31, 2017.

ARAUJO NETO, R. A.; SARMENTO, P. L.; FERREIRA JÚNIOR, R. A.; SILVA, M. B. P.; ROCHA, A. E. Q.; TEODODRO, I. Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento em cana-de-açúcar. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 13, n. 1, p. 15-18, 2015.

ARAÚJO, N. C.; GUIMARÃES, P. L. F.; OLIVEIRA, S. J. C.; LIMA, V. L. A.; BANDEIRA, F. A.; ARAÚJO, F. A. C. Quantificação da geração de resíduos em uma casa de farinha no Estado da Paraíba. **Revista Monografias Ambientais - REMOA**, v. 13, n. 5, p. 3793-3799, 2014.

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

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 153p., 1999.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 218 p., 1991.

BALDASSO, G.; PIMENTA, R. C. de S.; FERREIRA, E. B. Controle estatístico de processo na produção de requeijão: Estudo de caso em um laticínio no sul de Minas Gerais. **Rev. Inst. Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 75, n. 3, p. 156-167, jul/set, 2020.

BATISTA, R. O.; FERREIRA, D. de J. L.; SANTOS, D. B. dos; LEMOS FILHO, L. C. de; ROCHA, T. A. L. C. G.; MEDEIROS, I. S. Vazão de gotejadores ao longo de linhas laterais operando com água residuária da suinocultura sob pressões de serviço. **Revista Espacios**, v. 38, n. 37, p. 7, 2017.

BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, D. B. dos; OLIVEIRA, A. de F. M.; AZEVEDO, C. A. V. de; MEDEIROS, S. de S. Obstrução e uniformidade de aplicação em sistemas de irrigação por gotejamento aplicando-se efluente da suinocultura.

Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental, v.17, n.7, Campina Grande, July 2013.

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

BEZERRA, M. G. da S.; SILVA, G. G. C. da; DIFANTE, G. dos S.; EMERENCIANO NETO, J. V.; OLIVEIRA, E. M. M.; MORAIS, E. G. Chemical attributes of soil under cassava wastewater application in Marandugrass cultivation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** - Campina Grande - PB, v.23, n.8, p.579-585, 2019.

BEZERRA, A. K. G. Gráficos de controle multivariados de somas acumuladas (MCUSUM) e de média móvel exponencialmente ponderada (MEWMA). 2017. Monografia (Bacharelado em Estatística) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

BORSSOI, A. L. et al. Water application uniformity and fertigation in a dripping irrigation set. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 718-726, 2012.

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.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Resolução nº 357, 17/03/05 (2005). Dispõe sobre a classificação dos corpos de águas e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

BUCKS, D. A.; NAKAYAMA, F. S.; GILBERT, R. G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural Water Management**, v. 2, n. 2, p. 149-162, 1979.

CAETANO, G. S. F.; ZANGUETIN, J. A.; QUERINO FILHO, L. C. Q. Sistema de irrigação por gotejamento no tomateiro. **Revista e-F@tec**, Garça, v. 10, n. 1, out. 2020.

CAMARGO, A. P.; MOLLE, B.; TOMAS, S.; FRIZZONE, J. A. An assessment of clogging effects on lateral hydraulics: proposing a monitoring and detection protocol. **Irrigation Science**, New York, v. 33, p. 181-191, 2013.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water Quality and Distribution Uniformity in Drip/Trickle Irrigation Systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 70, n. 4, p. 355-365, 1998.

CASSIA, M. T. Cartas de controle para gerenciamento de operações agrícolas mecanizadas. 2016. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CARMO, F. F. do; DUTRA, I.; BATISTA, A. A.; BATISTA, R. O.; SILVA, M. G. da. Dimensionamento hidráulico e avaliação de um sistema de irrigação localizada de baixo custo. **Engenharia na agricultura**, v.24, n.4, 2016.

CHAUDHRY, A. M. Improving on-farm water use efficiency: Role of collective action in irrigation management. **Water Resources and Economics**, jun. 2017.

CARVALHO, A. C. C. de; NOBRE, R. de S.; ARAÚJO, V. de S.; SANTOS, C. de M.; MONTE, L. I. da S.; MOURA, G. A. de; MOURA, W. N. da S.; REZENDE, J. S.; AZAR, G. S. Quantitative responses of forage grasses to manipueira application as natural fertilizer. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 19, n. 3, p. 183-192, 2021.

CONCEIÇÃO, M. A. F. Irrigação: sistemas e manejo. Embrapa Uva e Vinho. Serviço de Produção de Informação, 8. Versão Eletrônica. 2005.

CASTAGLIOLA, P.; TRAN, K. P.; CELANO, G.; RAKITZIS, A. C.; MARAVELAKIS, P. E. An EWMA-type sign chart with exact run length properties. **Journal of Quality Technology**, v. 51, n. 1, p. 51-63, 2019.

COSMO, B. M. N.; ANDRADE, M. G.; GALERIANI, T. M.; HERMES, E.; VILAS BOAS, M. A. V.; GAVA, G. J. C. Controle estatístico de qualidade e condutividade elétrica na avaliação da viabilidade do gotejamento com diferentes soluções de fertirrigação. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial – Sul, v. 1, n. 2, p. 264-280, 2021.

COSTA, A. G.; SOUZA, L. da S.; COVA, A. M. W.; CORREIA, M. R. S. Produção de coentro em resposta a diferentes doses de água residuária da mandioca. *Revista Agroecossistemas*, v. 13, n. 1, p. 145 – 162, 2021.

CORREIA, I. A. dos; SILVA, N. C. B.; SOUZA, A. T. de; SCANDELAI, A. P. J. Caracterização da manipueira e possibilidades de tratamento. **Colloquium Exactarum**, v. 10, n. Especial, p. 180- 185, 2018.

CUNHA, F. N.; SILVA, N. F. da; TEIXEIRA, M. B.; MOURA, L. M. de F.; CABRAL FILHO, F. R.; GOMES, F. H. F. Grau de entupimento de um sistema de gotejamento subsuperficial na cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 3, p. 695 – 704, 2016.

CUNHA, F. N.; SILVA, N. F. da; TEIXEIRA, M. B.; CARVALHO, J. de C.; MOURA, L. M. de F.; SANTOS, C. C. dos. Coeficientes de uniformidade em sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.8, n.6, p.444 - 454, 2014.

CUNHA, F. N.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, N. F.; MOURA, L. M. F.; TEIXEIRA, M. B.; GOMES FILHO, R. R. Variabilidade temporal da uniformidade de distribuição em sistema de gotejamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 7, n. 4, p. 248-257, 2013.

DALRI, A. B.; GARCIA, C. J. B.; PALARETTI, L. F.; ZANINI, J. R.; FARIA, R. T. de. Caracterização hidráulica e técnica de tubos emissores não regulados. **Rev. Caatinga** v.28, n.4, 2015.

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.

DUARTE, A. S.; ROLIM, M.M.; SILVA, E.F.F.; PEDROSA, E.M.R. ALBUQUERQUE, F.S.; MAGALHÃES, A.G. Alterações dos atributos físicos e químicos de um Neossolo após aplicação de doses de maniqueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 9, p. 938-946, 2013.

ELIAS, N. C.; MENDONÇA, V. C. M.; ALVES, R. J. F.; GUTERRES, G. R.; BERNARDES, R. H.; BIANCHI, V. L. D. Uso da maniqueira na produção sustentável de tomateiros. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.7, p. 75657-75676 jul. 2021.

FARIAS, D. S. C. R.; FARIAS, S. A. R.; DANTAS NETO, J. Avaliação de água de poços tubulares para consumo humano no Município de Boa Vista, Paraíba. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.11, n. 5, p. 08-14, 2016.

FLECK, L. Otimização das condições operacionais do sistema de tratamento biológico da água residuária proveniente da produção de fécula de mandioca. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

FERNANDES, F. G. B. C.; BATISTA, R. O.; FERREIRA, D. de J. L.; SILVA, S. de L. PEREIRA, J. O.; CUNHA, J. L. de O. Desempenho de sistema de irrigação por gotejamento operando com diluições de água residuária doméstica tratada. **Revista Espacios**, v. 38, nº 43, p. 10, 2017.

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

FIALHO, J. M.; LEITE, M. A.; PIÃO, A.C. S.; DORNFELD, C. B.; PRADO, H. F. A. Avaliação microbiológica da água consumida por uma população rural de Ilha Solteira – São Paulo. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 11, nº 3, p. 273-286, 2017.

FOLLADOR, F. A. C.; VILAS BOAS, M. A.; MALMANN, L.; SCHOENHALS, M.; VILLWOCK, R. Controle de Qualidade da Água medido Através de Cartas de Controle de Shewhart, CUSUM e MMEP. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 9, n.3, p. 183 – 197, jul/set 2012.

FOLLADOR, F. A. C.; VILAS BOAS, M. A.; SCHOENHALS, M.; HERMES, E.; RECH, C. Tabular cusum control charts of chemical variables applied to the control of surface water quality. **Engenharia Agrícola**, v.32, n.5, p.951-960, 2012.

FRIGO, J. P. Controle do Processo da irrigação no sistema de aspersão convencional em Palotina – PR. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Oeste do Paraná – UNIOESTE.

FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. Microirrigação, irrigação, gotejamento, microaspersão, fertirrigação e dimensionamento hidráulico. Maringá: Editora EDUEM, 356 p, 2012.

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.

GOUVEIA, M. A. da C. Controle estatístico da qualidade / Marco Aurélio da Cruz Gouveia. – Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018.

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

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. Efeito da carga hidráulica e qualidade de água na uniformidade de sistema de irrigação por gotejamento. 2010. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. Sprinkle and trickle irrigation. New York: Avibook, 649p., 1990.

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

LILLIEFORS, H. W. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. **Journal of the American Statistical Association**, v. 62, p. 399-402, 1967.

LIMA, L. P. F. Física da Irrigação. Universidade Federal do Ceará (UFC), 2016.

LOPES, G. G. et al. Monitoramento dos pontos críticos de controle aplicado no processamento do leite longa vida em indústria de laticínios de Ji-Paraná. **Revista Veterinária Notícias**, v. 24, n. 2, p. 1-14, 2018.

LOPES, M. C. S.; SILVA, K. B. da; SILVA, K. M. P.; BATISTA, R. O. Formação de biofilme em gotejadores que operam com águas residuárias. **TERRA –Saúde Ambiental e Soberania Alimentar**. Ituiutaba: Barlavento, Vol. II. 1481p., 2015.

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

MACAN, R. D. da S.; BISPO, R. de C.; VENTURA, K. M.; SOUZA, M. H. C. de; SALES, M. A. de L. Avaliação de kit de irrigação por gotejamento utilizando água residuária. *Irriga*, Botucatu, Edição Especial, **IRRIGA & INOVAGRI**, p. 110-117, 2017.

MATARUCO, S. M. C.; ROYER, M. R.; BITTENCOURT, P. R. S.; PERES, W. V. CONTROLE DE COLIFORMES EM EFLUENTES COM A UTILIZAÇÃO DE ÓLEO DE *Eucalyptus citriodorus* OU EXTRATO DE SEMENTE DA Moringa oleífera. **Revista Conhecimento Online**, Novo Hamburgo, v. 11, n. 1, 2019.

MANTOVANI, E. C.; ZAMBOLIM, L.; SOUZA, D. O.; SEDIYAMA, G. C.; PALARETTI, L. F. Produtividade e qualidade de tubérculos de batata sob diferentes regimes de irrigação por aspersão convencional. **Horticultura Brasileira**, v. 31, p. 528-533, 2013.

MANTOVANI, E. C. Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada. Viçosa, MG: UFV, 2001.

MARQUES, M. da S.; SILVA, A. A. F. da; GABRIEL FILHO, L. R. A.; PUTTI, F. F.; GÓES, B. C. Análise bibliométrica sobre o uso de água residuária na agricultura. **Reserch, Society and Development**, v. 11, n. 3, 2022.

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

MELO, M. C.; GUIMARÃES, L. M.; SILVA, P. L.; CAMARGO, D. D.; DRUMOND, L. C. D. Crescimento e produtividade de brachiaria adubada e irrigada por gotejamento subsuperficial. **Irriga**, Botucatu, v. 25, n. 1, p. 112-130, 2020.

MELO, V. G. M. L. de; MELO, L. L. de; CAMARGO, A. P. de; MARQUES, P. A. A. PERDA DE CARGA EM FITAS GOTEJADORAS COM EMISSORES MOLDADOS. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial Inovagri – notas técnicas, v. 1, n. 1, p. 86-93, 2019.

MÉLO, R. F. Dinâmica e controle do entupimento de gotejadores em função de precipitados químicos e fitoplancton. 2007. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

MENDES, A. L. M. Cultivo de couve-flor em função da utilização de água residuária, sistemas de gotejamento e coberturas do solo. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Goiás.

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

MESQUITA, F. O.; BATISTA, R. O.; CAVALCANTE, L. F.; SOUTO, A. G. L.; MEDEIROS, S. S.; ARAÚJO, A. B. A.; COSTA, F. X. Desempenho de gotejadores operando com lixiviado de aterro sanitário. **Revista Ibero - Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.6, 2020.

MESQUITA, F. O.; SILVA, K. B.; DI SOUZA, L.; DANTAS, T. B.; BATISTA, R. O. Uniformidade de aplicação de percolado de aterro sanitário diluído em unidades de irrigação por gotejamento. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos, v. 11, n. 1, p. 145-156, 2015.

MORO, M. F.; REIS, C. C. C. do; FLORES, S. de A.; PIZZOLATO, M.; WEISE, A. D. Monitoramento estatístico do processo de acondicionamento de embutidos por meio de gráficos de controle. **Revista Exacta – EP**, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 43-66, 2018.

MONTGOMERY, D. C. Introdução ao controle estatístico da qualidade. 4ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

MONTGOMERY, D. C. Introdução ao controle estatístico da qualidade. Tradução: Farias, A. M. L.; Flores, V. R. L. F.; Laurencel, L. C., 4. ed. – [Reimpr.] – Rio de Janeiro: Editora LTC, 2009.

MONTGOMERY, D. C. Introdução ao controle estatístico da qualidade. Tradução: Farias, A. M. L.; Flores, V. R. L. F.; Laurencel, L. C., Rio de Janeiro: Editora LTC, 2004.

MORAIS, J. Uniformidade de irrigação por gotejamento usando efluente tratado de abatedouro de aves. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

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.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Water quality in drip/trickle irrigation: A review. **Irrigation Science**, v. 12, p. 187-192, 1991.

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, V. F.; FEITOSA, E. O.; SOARES, J. I. Uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por aspersão via pivô central. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, n. 4, p. 65-69, 2017.

NASCIMENTO, R. C.; MEDEIROS, P. R. F. de; SANTOS, G. S.; TELES, E. C. P. V. de A.; GONÇALVES, D. R.; MARTINS, A. P. F. Dinâmica da obstrução de emissores usados na cultura da uva utilizando água salina de poço subterrâneo. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 3, p. 491-502, 2016.

OLIVEIRA, H. P. de; ANUNCIACÃO, W. R. da; LOPES, M. de F. dos. Proposta de modelo simplificado para implementação do controle estatístico de processo (CEP) na indústria química / petroquímica de processo contínuo. **Revista de Trabalhos Acadêmicos – UNIVERSO SALVADOR**, n. 5, 2018.

OLIVEIRA, C. C. de; GRANATO, D.; CARUSO, M. S. F.; SAKUMA, A. M. Manual para elaboração de cartas de controle para monitoramento de processos de medição quantitativos em laboratórios de ensaio. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2013.

PEREIRA, D. F.; ISHIDA D. Y. P.; OMORI, J. K. I.; SOUZA, A. T. de. Análise da eficiência do tratamento anaeróbico da manípueira. **Colloquium Exactarum**, v. 12, n. 4, p.30–37, 2020.

PEREIRA, V. G. M. de F.; LOPES, A. da S.; BELCHIOR, I. B.; FANAYA JÚNIOR, E. D.; PACHECO, A.; BRITO, M. K. M. Irrigação e fertirrigação no desenvolvimento de eucalipto. **Revista Ciência Florestal**, v. 29, Ed. 3, 2019.

POLONI, C. M. M.; VIEIRA, G. H. S.; SILVA, B. E. C.; PETERLEI, G.; JOLOMBA, M. R.; LUIZ, P. H. D. Caracterização hidráulica de emissores microspray em diferentes pressões de serviço. **The Journal of Engineering and Exact Sciences – JCEC**, v. 4, n. 3, 2018.

PINTO, M. F.; ALVES, D. G.; SARETTA, E.; BOTREL, T. A. Modelagem da redução de vazão em parcelas de irrigação devido ao incremento da perda de carga do sistema de filtragem. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 3, p. 425-437, 2016.

PRADO, G.; NUNES, L. H.; TINO, A. C. Avaliação técnica de dois tipos de emissores empregados na irrigação localizada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 8, n. 1, p. 12-25, 2014.

RAMOS, J. G.; LIMA, V. L. A. de; NUNES, K. G.; PEREIRA, M. de O.; LIMA, G. S. de; ANJOS, P. M. dos. Produção de milho híbrido AG 1051 fertilizado com solução de urina humana e manípueira. **Ciências Rurais em Foco**, v. 6, Belo Horizonte - MG: Poisson, 2022.

RAMOS, J. G.; LIMA, V. L. A. de; PEREIRA, M. de O.; NASCIMENTO, M. T. C. C. Do; ARAÚJO, N. C. De; PEREIRA, M. C. De A. Cultivo de milho híbrido com macronutrientes, urina humana e manípueira aplicados via fundação e fertirrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 25, n. 2, p. 420-431, 2020.

RAVINA, I. *et al.* Control of clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 33, n. 2-3, p. 127-137, 1997.

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.

REIS, E. F. et al. Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 13, n. 2, p. 74-81, 2005.

RESENDE, R. S.; COELHO, R. D.; PIEDADE, S. M. de S. Eficiência da cloração da água de irrigação no tratamento de gotejadores com entupimento de causa biológica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p.382-389, 2000.

RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: United States Salinity Laboratory, **Agriculture Handbook**, 160p., 1954.

RIBEIRO, M. D.; AZEVEDO, C. A. de; SANTOS, D. B. dos; SZEKUT, F. D.; KLEIN, M. R.; REIS, C. F. Optical microscopy and sem for identifying clogging material in a drip irrigation system. **Rev. Caatinga**, v. 31, n. 4, p. 997 – 1007, 2018.

RIBEIRO, P. A. de A.; COELHO, R. D.; TEIXEIRA, M. B. Entupimento de tubos gotejadores convencionais com aplicação de cloreto de potássio (branco e vermelho) via duas qualidades de água. **Rev. Eng. Agríc.** v.30, n.2, 2010.

RIBEIRO, P. A. de A.; TEIXEIRA, M. B.; COELHO, R. D.; FRANCO, E. M.; SILVA, N. F. da; CARVALHO, L. C. C. de; ALVES, M. E. B. Gotejadores submetidos a condições críticas de qualidade da água. **Irriga**, Edição Especial, p. 368 - 379, 2012.

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

SALGUEIRO, J.; PAULO, A. Eficácia de diferentes produtos no desentupimento dos gotejadores num sistema de rega gota-a-gota. **Revista da UIIPS**, v. 6, n. 1, p. 3-13, 2018.

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. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering** v. 13, n. 4, p. 301-311, 2019.

SAMOHYL, R. W. Controle estatístico de qualidade. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

SANTOS, B. K. S. dos; VENTURA, R. F. de S.; GASPARIN, E. Uso da manipueira como água de irrigação em horticultura. **Rev. Ext. Integrac. Amaz.**, v. 2, n. 1, 2021.

SANTOS, P. S.; CLARK, F. C. B.; PAES, R. A.; REIS, L. S.; DUARTE, A. G.; MEDEIROS, L. S.; ASSIS, S. C. M.; ASSIS, W. O. Desenvolvimento da alface submetida a diferentes doses de urina de vaca. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 4, p. 9002, 2020.

SANTOS, M. A. L. dos; SANTOS, D. P. dos; SILVA, D. S.; SILVA, M. dos S.; CAVALCANTE, P. H. S. Avaliação da uniformidade de distribuição de um sistema de

irrigação por gotejamento em inhame (*Dioscorea cayennensis lam.*). **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 13, n. 1, p. 7-13, 2015.

SZEKUT, F. D.; AZEVEDO, C. A. V. de; BOAS, M. A. V.; ZUCOLOTTO, T. Hydraulic performance of drippers with different waters and lateral line slopes. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.22, n.12, p.813-818, 2018.

SHIMIDT, A. P. R. A. EFEITO DA ESPESSURA DA PAREDE NO DESEMPENHO HIDRÁULICO DE MANGUEIRAS GOTEJADORAS. 2014. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas.

SILVA, G. de O.; ROSA, L. C. da. Aplicação de Cartas de Controle MMEP Em Resíduos de um Modelo de Previsão de Pico de Demanda de Energia Elétrica. **Rev. FSA**, Teresina PI, v. 15, n. 5, art. 7, p. 130-146, 2018.

SILVA, J. R. M. Aplicação de efluente de estação de tratamento de esgoto em solo cultivado com Grama esmeralda (*zoysia japonica*). 2017. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras.

SILVA, P. F. da; MATOS, R. M. de; LIMA, S. C. de; DANTAS NETO, J.; LIMA, V. L. A. de. Controle estatístico e índice de capacidade de processo em emissores autocompensante utilizando água salina. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.4, n.1, p.139-150, 2015.

SILVA, L. R.; CUNHA, A. H. N.; SILVA, S. M. da C. e; SOUZA, J. M. F. Avaliação de parâmetros físico-químicos da água de irrigação utilizada em um pivô central em Goiânia – GO. **Revista Gl. Sci Technol**, Rio Verde, v. 7, n. 3, p. 96 – 102, 2014.

SILVA, I. N.; FONTES, L. de O.; TAVELLA, L. B.; OLIVEIRA, J. B. de; OLIVEIRA, A. C. de. Qualidade de água na irrigação. **ACSA - Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 7, n. 3, 2011.

SILVA, C. A. da; SILVA, C. J. da. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**. Ano IV, n. 08, 2005.

SOARES, S. R. A.; SANTOS, A. S. P. Priorização da água de reuso em bacias hidrográficas com base no planejamento de recursos hídricos: Proposta metodológica e exemplos das bacias do Rio Grande e do Piancó - Piranhas - Açu. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 9, n. 2, p. 111-125, 2021.

SOLOMON, K. H. Yield related interpretations of irrigation uniformity and efficiency measures. **Irrigation Science**, New York, v. 5, p.161-172, 1984.

SOUZA, F. G. G. de; CARVALHO, R. da S. C. de; MELO, M. R. M. de; GRASI FILHO, H. Absorção de macronutrientes e sódio pelo tomateiro submetido a irrigação com e sem déficit hídrico, utilizando diferentes concentrações de água residuária. **Irriga**, Botucatu, v. 26, n. 1, p. 65-76, 2021.

SOUZA, E. P. de; SILVA, J. E. V. C. da; MALAQUIAS, M. F. Bioinsumos no crescimento e produção de plantas de milho. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 9, p.82-92, 2021.

SOUZA, W. de J.; BOTREL, T. A.; COELHO, R. D.; NOVA, N. A. V. Irrigação localizada subsuperficial: Gotejador convencional e novo protótipo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.8, p.811–819, 2012.

SOUZA, L. O. C. de; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A.; RAMOS, M. M.; FREITAS, P. S. L. Avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento, utilizados na cafeicultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.541–548, 2006.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E.; ROSTON, D. M.; PAULA JR., D. R.; PATERNIANI, J. E. S.; RIBEIRO, T. A. P. Análise do potencial de entupimento em gotejadores através da avaliação da qualidade de água de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 06, n. 1, p. 29-35, 2001.

VALE, H. S. M.; BATISTA, R. O.; COSTA, D. de O.; LEMOS FILHO, SANTOS, D. B. dos; SILVA, P. C. M. da. Detecção do entupimento em gotejadores aplicando percolado de aterro sanitário diluído. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 11, n. 3, p. 975-993, 2018.

WANG, J.; ZHU, D.; ZHANG, L.; AMES, D. P. Economic analysis approach for identifying optimal microirrigation uniformity. **Journal of irrigation and drainage engineering**, New York, v. 141, n. 8, p. 04015002-1-042015002, 2015.

WERKEMA, M. C. C. Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni Escola de Engenharia da UFMG, v.2, p.197 -284, 1995.

WERNER, L.; ARGENTA, A. da S.; SOARES, F. Análise do desempenho dos gráficos de controle CUSUM e EWMA: estudo comparativo com uso de simulação. **Cadernos do IME – Série Estatística**, 2020.

WOSIACKI, G.; CEREDA, M.P. Valorização de resíduos do processamento de mandioca. Publicado UEPG. Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharia, Ponta Grossa, v.8, n.1, p.27-43, 2002.

YAVUZ, M. Y., DEMIREL, K., ERKEN, O., BAHAR, E., DEVECILER, M. Emitter clogging and effects on drip irrigation systems performances. **African Journal of Agricultural Research** 5(7):532-538, 2010.

ZOCOLER, J.L.; RIBEIRO, P.H.P.; SILVA, N. F.; CUNHA, F.N.; TEIXEIRA, M.B.; SOARES, F.A.L. Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento com aplicação de água salina. Irriga, Edição Especial, 20 anos **Irriga + 50 anos FCA**, p. 234-247, 2015.

ZWETSLOOT, I. M.; WOODALL, W. H. A head-to-head comparative study of the conditional performance of control charts based on estimated parameters. **Quality Engineering**, v.29, n.2, p. 244- 253, 2017.