



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



**CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE EM UNIDADES
GOTEJADORAS UTILIZANDO DIFERENTES TIPOS DE ÁGUA**

ABEL HENRIQUE SANTOS GOMES

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

Setembro – 2017

ABEL HENRIQUE SANTOS GOMES

**CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE EM UNIDADES
GOTEJADORAS UTILIZANDO DIFERENTES TIPOS DE ÁGUA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Campina Grande como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:

ENGENHARIA DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

ORIENTADOR (a):

Dr. Juarez Paz Pedroza – UFCG/CTRN/UAEA

Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima – UFCG/CTRN/UAEA

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA

Setembro – 2017



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
CAMPINA GRANDE – PARAÍBA**



**PARECER FINAL DO JULGAMENTO DO PROJETO DE QUALIFICAÇÃO
DE DOUTORADO**

**CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE EM UNIDADES
GOTEJADORAS UTILIZANDO DIFERENTES TIPOS DE ÁGUA**

ABEL HENRIQUE SANTOS GOMES

BANCA EXAMINADORA:

PARECER

Dr. Juarez Paz Pedrosa – UAEEA/ CTRN/ UFPA
Orientador

—

Dr^a. Vera Lúcia Antunes de Lima – UAEEA/ CTRN/ UFPA
Orientadora

—

Dr. Luciano Marcelo Fallé Saboya – UAEEA/ CTRN/ UFPA
Examinador

—

Dr. Rafael Oliveira Batista – UFERSA
Examinador

—

Dr. José Dantas Neto – UAEEA/ CTRN/ UFPA
Examinador

—

Dr^a. Denise de Jesus Lemos Ferreira – ETER/PB
Examinadora

—

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA

Setembro

DEDICATÓRIA

A minha mãe, Genilda Bernardino dos Santos. Grande responsável pela formação do meu caráter, por ser um exemplo de perseverança e de alegria. A pessoa a qual me inspiro na busca por cumprir a minha missão nesta vida de uma maneira eficiente.

A minha tia, Cláudia Gomes de Araújo, por depositar sempre sua confiança em mim e ser fonte de inspiração nos momentos de dúvida. Sua bondade e serenidade são um conforto a todos. Serei sempre grato por me incentivar para a educação como agente de transformação, ao qual pretendo dar continuidade as gerações futuras.

Aos meus avôs: Severino Aguiar dos Santos – “Pai véi” (*in memorian*), pelo exemplo de moralidade; Severina Bernadino dos Santos – “Iaiá” (*in memorian*), pelos cuidados e proteção a mim prestados; José Gomes de Araújo – “Zé coringa” (*in memorian*), o maior exemplo de alegria o qual conheci, pessoa cativante de uma história de vida de sucesso, o qual me orgulho muito em ser seu neto. A minha querida Maria Gomes de Araújo – “Vozinha”, um exemplo de que na vida nunca é tarde para se viver.

A minha querida esposa Pakisa Vasconcelos de Lima Gomes, a qual está comigo nos melhores e piores momentos, que não me deixa desanimar e que tenho como um porto seguro.

Aos meus familiares: tios, primos, irmãos e sobrinhos; pelo apoio prestado, pela confiança e admiração. Que esta etapa de minha vida sirva de motivação a todos na busca pelo sucesso em suas vidas.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida, pelo amparo nos momentos de angústia, por traçar meus caminhos embasados na humildade, honestidade e coerência.

A Universidade Federal de Campina Grande pelo acolhimento durante 13 anos de minha vida, fundamental ao meu desenvolvimento.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudo a qual foi primordial na viabilidade da pesquisa.

Aos meus orientadores: Professores Dr. Juarez Paes Pedrosa e Dra. Vera Lúcia Antunes, pela sensibilidade e compressão num dos momentos mais delicados de minha vida. De maneira similar e evitando esquecimentos, deixo meus agradecimentos a todos os membros do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, são 14 anos de história junto ao curso de engenharia agrícola que me orgulham muito e das quais sentirei saudades.

Ao professor Dr. Rafael Oliveira Batista, pelo apoio, amizade e pela grande contribuição que propiciou o melhor desenvolvimento do experimento.

Aos professores Dr. Luciano Fallé Saboya e Dr. José Dantas Neto, pela amizade, apoio na montagem e pelas contribuições para o bom andamento das atividades experimentais.

A Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba – CAGEPA, pela liberação de material para realização da pesquisa. Pela cordialidade do Diretor Eng. Ronaldo Meneses, assim como pela simpatia, disposição e carisma dos funcionários “Jeóva” e “Beto”.

A toda equipe de estagiários a qual esteve presente durante a condução do experimento: Mayra, Gleyka, Diego, Joan, Rafael e Gabrielly. Pessoas que na medida do possível, disponibilizaram parte do seu tempo no apoio a realização da pesquisa. Assim como a todos os demais colegas que sempre se faziam presentes no dia a dia das atividades, nos trazendo alegria e companheirismo.

Por fim um agradecimento mais que especial a grande responsável pela totalização deste trabalho; a pessoa que me mostrou que num mundo de concorrência, em que amigos se tornam adversários e na maioria das vezes valores são suprimidos; ainda é possível encontrar pessoas que buscam a melhora coletiva. À minha amiga-irmã Professora Dra. Denise de Jesus Lemos Ferreira, o meu agradecimento pelo sucesso na vida.

“Quanto mais claro é o conhecimento do homem – quanto mais inteligente ele é – mais sofrimento ele tem; o homem que é dotado de genialidade sofre mais do que todos.”

Arthur Schopenhauer

RÉUSO DE ÁGUA EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA SOB CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE

RESUMO

A disponibilidade hídrica não acontece de maneira uniforme, o estado da Paraíba possui disponibilidade hídrica anual abaixo dos 1.500 m³/habitante diminuindo ainda mais com a atual escassez hídrica, os sistemas de irrigação por gotejamento propiciam a minimização no consumo hídrico. O uso de águas residuárias proveniente de atividades urbanas tem potencial de uso para agricultura irrigada, desde que observados os cuidados quanto qualidade de água e os seus potenciais danos ao sistema. Com este trabalho objetivou-se viabilizar o reuso de água na irrigação localizada por sistema de gotejamento, empregando a ferramenta de controle de qualidade. O experimento foi conduzido em ambiente controlado (casa de vegetação) pertencente ao Laboratório de Irrigação e Drenagem, da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande. Foram avaliados dois tipos de linhas laterais constituídas de gotejadores específicos, submetidos a duas fontes de água distintas. Os índices de desempenho obtiveram comportamento não aleatório, com valores que ultrapassaram os limites de controle, principalmente nos ensaios finais do estudo. O sistema abastecido por água oriunda de cisterna obteve desempenho considerável até aproximadamente as 648 horas de funcionamento, enquanto que para os sistemas abastecidos com a água residuária, o desempenho se deu em torno das 576 horas.

PALAVRAS-CHAVE: Água residuária, qualidade de água, uniformidade.

ABSTRACT

The availability of water does not occur uniformly in the state of Paraíba, has annual water availability below 1,500 m³ / inhabitant decreasing even more. With the current water shortage, drip irrigation systems allow the minimization of water consumption. The use of wastewater from urban activities has potential for use in irrigated of agriculture, provided that the water quality and its potential damages to the system are observed. This work aimed to make possible the reuse of water in the irrigation located by drip system, using the quality control tool. The experiment was carried out in a controlled environment (greenhouse) belonging to the Irrigation and Drainage Laboratory of the Academic Unit of Agricultural Engineering, Federal University of Campina Grande. Two types of lateral lines consisting of two specific dripper models, submitted to two different water sources, were evaluated. Performance indices obtained non-random behavior, with values that exceeded control limits, especially in the final study trials. The cistern-fueled system achieved considerable performance until approximately 648 hours of operation, while for systems supplied with wastewater, The performance was around 576 hours.

KEYWORDS: Reuse water, water quality, uniformity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Casa de vegetação, local do experimento, Campina Grande – PB (2016)...	25
Figura 2 – Estação de tratamento de esgotos (ETE), bairro do Glória, Campina Grande – PB, 2016.	27
Figura 3 - Layout dos sistemas de irrigação, Campina Grande – PB, 2016.....	28
Figura 4 - Bancadas experimentais: vista longitudinal (a), detalhe das prateleiras removíveis. Campina Grande – PB, 2016.	29
Figura 5 – Estrutura de transporte de efluente da ETE do Bairro da Glória (a) e reservatório do experimento abastecido com efluente, Campina Grande – PB, 2016. ...	30
Figura 6 - Esquema de posicionamento de gotejadores para a pesquisa, Campina Grande – PB, 2016.	31
Figura 7 - Planejamento experimental do controle estatístico em sistema de irrigação por Gotejamento, Campina Grande – PB, 2016.	34
Figura 8 – Gráfico de controle vazão média x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo Netafim Streamline e água oriunda de Cisterna (A1G1).....	36
Figura 9 – Gráfico de controle coeficiente de uniformidade x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo Netafim Streamline e água oriunda de Cisterna (A1G1).	38
Figura 10 – Gráfico de controle coeficiente de variação x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo Netafim Streamline e água oriunda de Cisterna (A1G1).	39
Figura 11 - Gráfico de controle grau de entupimento x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo Netafim Streamline e água oriunda de Cisterna (A1G1).	40
Figura 12 – Gráfico de controle vazão média x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo NaanDanJain TalDrip e água oriunda de Cisterna (A1G2).....	41
Figura 13 – Gráfico de controle coeficiente de uniformidade x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo NaanDanJain TalDrip e água oriunda de Cisterna (A1G2).....	42

Figura 14 – Gráfico de controle coeficiente de variação x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo NaanDanJain TalDrip e água oriunda de Cisterna (A1G2).	43
Figura 15 – Gráfico de controle grau de entupimento x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo NaanDanJain TalDrip e água oriunda de Cisterna (A1G2).	44
Figura 16 – Gráfico de controle vazão média x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo Netafim Streamline e água oriunda de estação de tratamento de esgoto do Glória (A2G1).	46
Figura 17 – Gráfico de coeficiente de uniformidade x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo Netafim Streamline e água oriunda de estação de tratamento de esgoto do Glória (A2G1).	47
Figura 18 – Gráfico de controle coeficiente de variação x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo Netafim Streamline e água oriunda de estação de tratamento de esgoto do Glória (A2G1).	49
Figura 19 – Gráfico de controle grau de entupimento x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo Netafim Streamline e água oriunda de estação de tratamento de esgoto do Glória (A2G1).	50
Figura 20 – Gráfico de controle vazão média x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo NaanDanJain TalDrip e água oriunda de estação de tratamento de esgoto do Glória (A2G2).	51
Figura 21 – Gráfico de controle coeficiente de uniformidade x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo NaanDanJain TalDrip e água oriunda de estação de tratamento de esgoto do Glória (A2G2).	53
Figura 22 – Gráfico de controle coeficiente de variação x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo NaanDanJain TalDrip e água oriunda de estação de tratamento de esgoto do Glória (A2G2).	54
Figura 23 – Gráfico de controle grau de entupimento x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo NaanDanJain TalDrip e água oriunda de estação de tratamento de esgoto do Glória (A2G2).	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Critérios para avaliação do potencial de entupimento de gotejadores por fontes de água que abastecem sistemas de irrigação localizada.....	19
Tabela 2. Especificações Técnicas dos gotejadores em estudo, Campina Grande – PB, 2016.	26
Tabela 3 –Tratamentos aplicados nos sistemas de irrigação por gotejamento, Campina Grande – PB, 2016.	27

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	16
1.1.1 Objetivo Geral	16
1.1.2 Objetivos Específicos.....	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 Disponibilidade hídrica, demanda e irrigação.....	17
2.2 Reúso de água	20
2.3 Controles de qualidade aplicada a irrigação	23
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Localização da área experimental	25
3.2 Caracterização do experimento	26
3.3 Qualidades do efluente dos sistemas de irrigação	29
3.4 Instalação e caracterização dos sistemas de irrigação por gotejamento	30
3.5 Avaliação do desempenho do sistema de irrigação por gotejamento	32
3.6 Controle estatístico dos sistemas de irrigação por gotejamento	34
3.6.1 Gráficos de Shewhart para mais de uma observação de vazão.....	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1 Aplicação do controle estatístico para o sistema de irrigação operando com água oriunda de cisterna e o gotejador modelo Netafim Streamline (A1G1).....	36
4.1.1 Vazão média.....	36
4.1.2 Coeficiente de uniformidade de distribuição	37
4.1.3 Coeficiente de variação	39
4.1.4 Grau de entupimento	39
4.2 Aplicação do controle estatístico para o sistema de irrigação operando com água oriunda de cisterna e o gotejador modelo NaanDanJain TalDrip (A1G2).....	41
4.2.1 Vazão média.....	41
4.2.2 Coeficiente de uniformidade de distribuição	42

4.2.3	Coeficiente de variação	43
4.2.4	Grau de entupimento	44
4.3	Aplicação do controle estatístico para o sistema de irrigação operando com água oriunda de Estação de tratamento de esgoto do Glória e o gotejador modelo Netafim Streamline (A2G1)	46
4.3.1	Vazão média	46
4.3.2	Coeficiente de uniformidade de distribuição	47
4.3.3	Coeficiente de variação	48
4.3.4	Grau de entupimento	49
4.4	Aplicação do controle estatístico para o sistema de irrigação operando com água oriunda de Estação de tratamento de esgoto do Glória e o gotejador modelo NaanDanJain TalDrip (A2G2)	51
4.4.1	Vazão média	51
4.4.2	Coeficiente de uniformidade de distribuição	52
4.4.3	Coeficiente de variação	53
4.4.4	Grau de entupimento	55
4.	CONCLUSÕES	57
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
6.	ANEXOS	Erro! Indicador não definido.

1. INTRODUÇÃO

A água é o recurso natural de fundamental importância para a manutenção da vida no planeta, presente nas mais diversas reações físicas, químicas e biológicas. De caráter cíclico, está se tornando indisponível diante o atual modelo econômico, com uma relação diretamente proporcional entre consumo dos recursos naturais e consequente poluição ambiental. Torna-se então necessária, a busca pela eficiência no consumo hídrico pela atividade agrícola, um dos setores de grande consumo da água disponível no mundo.

Dentre as atividades que envolvem a agricultura, a irrigação destaca-se por se tratar de um conjunto de técnicas que propiciam o uso eficiente da água, tanto em quantidade como em qualidade. Atua também para o aumento de produtividade e até mesmo na sustentabilidade das culturas em regiões improdutivas, expandindo os potenciais agroenergético; este fato é importante num cenário de aumento populacional frequente atrelado ao surgimento de novas potências econômicas e consequentes impactos ambientais. Diante destas modificações, estudos que viabilizem a qualidade dos sistemas de irrigação são motivados pela necessidade em se produzir, mesmo com a atual escassez de água disponível em grande parte do mundo.

Em termos de métodos de irrigação, podemos destacar que a aplicação localizada é a mais promissora, principalmente por suas características de atuação, já que como o próprio nome sugere, atua, por meio de gotas d'água emitidas, diretamente nas proximidades da zona radicular da planta, ocasionando o melhor aproveitamento da água aplicada. Ainda na questão da aplicação direta, pode-se afirmar que dentre os sistemas, o uso do sistema por gotejamento propicia as menores perdas e consequente economia de água.

O desempenho de um sistema de irrigação não é somente atribuído a suas características de fabricação, o manejo inadequado do mesmo pode afetar diretamente no seu funcionamento. Neste aspecto, a água é um fator essencial, pois problemas comuns como entupimento são geralmente oriundos de uma má condução da irrigação, associada a fontes hídricas de sucção com baixa qualidade. Torna-se cada vez maior a dependência por águas de qualidade inferior devido à irregularidade das precipitações (fato não mais exclusivo das regiões áridas), o que direciona o uso quase que exclusivo das águas de qualidade superior ao abastecimento humano.

Nos últimos anos o emprego de águas residuárias, provenientes de diversos processos urbanos ou rurais, tem sido ampliado com seu uso principalmente nas épocas

de seca, a fim de racionalizar o uso das nascentes. É uma medida ambientalmente adequada, desde que monitorada a segurança dos trabalhadores envolvidos e os impactos da aplicação ao ambiente. As águas residuárias possuem características diferenciadas das águas de abastecimento, o que lhes confere impactos diferentes sobre o sistema de irrigação quando empregadas. São águas ricas em micro-organismos e material sólido particulado, que podem ocasionar obstrução dos emissores. O acompanhamento dos impactos causados pelo uso deste tipo de água deve ser frequente, pois as reações de entupimento podem ocorrer de forma aleatória e por diversos motivos.

Os custos elevados de aquisição dos sistemas de irrigação favorecem ao desenvolvimento de técnicas que visem sua preservação. O surgimento de problemas de obstrução ao se tornarem cada vez mais comuns, assim como a busca por soluções que revertam esse problema. Atualmente são variadas as tecnologias utilizadas na desobstrução de emissores, variando de acordo com a origem da obstrução, sendo mais comuns o emprego de soluções ácidas, ar comprimido e raios ultravioletas. Busca-se aliar o uso de águas residuárias de maneira que o sistema seja preservado ao máximo possível.

Na busca pela caracterização do desempenho dos sistemas de irrigação para fins de preservação, a observação estatística é uma grande ferramenta. Através de uma análise estatística podemos traçar a melhor modelagem matemática que define o comportamento do sistema irrigado ao uso de determinada fonte. Dentre as ferramentas de controle voltadas ao sistema de irrigação podemos destacar o gráfico de controle e o índice de controle, que respectivamente propiciam o acompanhamento eficiente de qualidade do sistema adotado.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Investigar o reuso de água na irrigação localizada por sistema de gotejamento, empregando a ferramenta de controle de qualidade.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Propiciar o funcionamento consecutivo de sistemas de irrigação por gotejamento compostos de dois modelos de emissores (gotejadores), consumindo água de fonte convencional (reservatórios) e água residuária;
- Mensurar as principais características técnicas de funcionamento dos emissores dos sistemas de irrigação por gotejamento, quando abastecidas por fonte convencional e por água residuária;
- Aplicar os dados obtidos em relação às características técnicas dos sistemas na ferramenta de controle de qualidade, quando abastecidas por fonte convencional e por água residuária;
- Estimar o tempo de vida útil de sistemas de irrigação por gotejamento compostos de dois modelos de emissores (gotejadores), consumindo água de fonte convencional (reservatórios) e água residuária

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Disponibilidade hídrica, demanda e irrigação

Apesar da abundante presença em nosso planeta, já que $\frac{3}{4}$ dele são constituídos de água, a gestão hídrica deve ser encarada como questão primordial pois quando observamos a disponibilidade hídrica, ou seja, a presença de água disponível para o consumo humano, esta abundância diminui consideravelmente. Temos a água em nosso planeta em um ciclo praticamente constante ao longo de 500 milhões de anos, mantendo-se em um total médio de 1,38 bilhões de km³ de água em todo mundo (BRANCO; VON SPERLING, 2006). De toda esta água existente no mundo, apenas 2,5% são águas doces e destas apenas 0,3% são as águas encontradas em rios e lagos segundo informações do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2015). Estas mesmas águas de rios e lagos são as principais fontes de abastecimento as atividades humanas e conseqüentemente são as que mais sofrem com os impactos gerados pelas mesmas atividades.

A disponibilidade hídrica não acontece de maneira uniforme em toda a extensão territorial do planeta, enquanto existem algumas regiões com índices pluviométricos que favorecem a perenidade de rios e lagos locais, também ocorrem situações de calamidade por indisponibilidade de água para o consumo em regiões de características áridas. Por se tratar de um país de dimensões continentais, no Brasil observa-se um considerável aporte hídrico mas de distribuição irregular. Segundo levantamento realizado pela Agência Nacional de Águas (ANA), mais de 80% de toda a água disponível no território nacional está concentrada na região amazônica (ANA, 2015).

A região nordeste de acordo com a classificação proposta pela Organização da Nações Unidas (ONU), tem seus estados classificados em sua maioria, em situação de regular a crítica, destacando-se os estados do Pernambuco e da Paraíba, que possuem disponibilidade hídrica anual abaixo dos 1.500 m³/ habitante, sendo que o nível de utilização por parte dos paraibanos atinge os 12%, o dobro do índice representativo a uma situação de conforto (BRANCO, 2006). Então se faz indispensável o gerenciamento e vale ressaltar que estes índices variam de acordo a disponibilidade hídrica local, a qual depende diretamente dos fatores climáticos e da pluviosidade local

O estado da Paraíba está atualmente atravessando um período de escassez dos mais críticos, segundo informações emitidas pela Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba (AESAs) dos 124 reservatórios d'água da Paraíba monitorados, 53 reservatórios se encontram com volume abaixo dos 5% de sua capacidade total. Esta situação alarmante tende a piorar ainda mais diante das previsões de estiagem adicional

de mais um ano, o que intensifica pela a busca pela eficiência na utilização das águas, aliando o consumo racional destes reservatórios com a busca por alternativas que visem o reaproveitamento das águas residuárias.

Quando observadas as múltiplas atividades produtivas, a irrigação se destaca como sendo majoritariamente a atividade de maior consumo de água (AYRES & WESCOT, 1999), segundo relata a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura a agricultura é responsável por 70% do consumo de água disponível no mundo, enquanto que indústria e uso doméstico representam respectivamente 28% e 2% do consumo de água potável no mundo (FAO, 2015). Vale ressaltar que a irrigação é o principal componente de consumo de água pela agricultura, sendo ainda praticada de maneira ineficiente na maioria das vezes, as perdas chegam até 60% e estão diretamente ligadas a evaporação causado com o uso de sistemas como a inundação, os sulcos rasos, o pivô central e a aspersão (BERTONCINI, 2008). O reúso de água pode contribuir então para que haja uma diminuição do consumo de água potável pela agricultura, além de diminuir os impactos gerados pela emissão de esgotos sanitários vindos da atividade urbana.

A perda de água relacionada a irrigação pode ser mitigada através da adoção de métodos que propiciem a menor exposição da água ao ambiente, diminuindo as perdas por evaporação. A irrigação pontual ou localizada consiste em um método que resulta em aplicação de determinadas quantidades de água junto ao sistema radicular das plantas, mantendo nesta região umidades próximas da capacidade de campo (LIMA, 1999). O uso da irrigação localizada promove o uso eficiente das águas, mantendo os objetivos da irrigação como um todo na melhoria da produtividade, qualidade e redução de custos da produção (ALBUQUERQUE, 2010; ANDRADE; BORGES JUNIOR, 2008; BERNADO; SOARES; MANTOVANI, 2009; COSTA et al., 2010)

Dentre os sistemas de irrigação localizadas, o gotejamento que consiste na emissão consecutiva de gotas de água próximo a base da planta, destaca-se por diminuir custos principalmente na aquisição, podendo ser utilizado em praticamente todas as regiões e topografias (AIROLDI 2003; AZEVEDO, 1986). Em termos de desvantagens, o gotejamento incrementa o custo de instalação por necessitar de maior mão de obra, exige uma maior logística para o monitoramento dos eventos de irrigação e o grande problema do sistema por gotejamento que está relacionado a sua vida útil, uma vez que o mesmo é bastante sensível às variações de fabricação assim como ao entupimento dos emissores causados por águas de qualidade inferior (LAM & CAMP, 2007; LI et al.,

2011; AHMED et al., 2007; CAPRA; SCICOLONE, 2004). Se faz então necessário o aprofundamento em técnicas que propiciem incremento no tempo de vida útil do sistema, visando mitigar suas desvantagens (RIBEIRO et al., 2010). A aplicação de soluções ácidas na fertirrigação é uma das técnicas mais eficientes quando se objetiva a desobstrução de gotejadores (VIEIRA et al., 2004; PITTS et al., 1990).

Um fator indispensável que tem por finalidade obter um alto índice de uniformidade do sistema de irrigação está condicionado a qualidade de água. A avaliação da qualidade da água deve ser feita periodicamente com o intuito de prever o potencial risco ao entupimento dos emissores, de modo que as causas da obstrução podem ser separadas de acordo com a natureza, seja ela física, química ou biológica (AMORIM et al., 2010; AYERS; WESTCOT, 1994; NAKAYAMA; BUCKS, 1981). A Tabela 1, apresenta orientações de caráter quantitativo sugeridas por Bucks et al. (1979), Capra e Scicolone (1998) com relação a qualidade da água de irrigação relacionando-a com o risco ao entupimento para vazão nominal de até 12 L h⁻¹. Os dois autores classificaram o estudo quanto ao risco de entupimento em três diferentes classes: menor, moderado e severo.

Tabela 1 – Critérios para avaliação do potencial de entupimento de gotejadores por fontes de água que abastecem sistemas de irrigação localizada

Tipo de risco	Grau de entupimento					
	Menor		Moderado		Severo	
	A	B	A	B	A	B
Físico						
Sólidos Suspenso (mg L ⁻¹)	< 50	< 200	50 – 100	200 – 400	> 100	> 400
Químico						
pH	< 7,0	< n.c.	7,0 - 7,5	n.c.	> 7,5	n.c.
Sólidos dissolvidos (mg L ⁻¹)	< 500	< 625	500 – 2000	625 – 2900	> 2000	> 2900
Manganês total (mg L ⁻¹)	< 0,1	< 0,7	0,1 - 1,5	0,7	- 1,0	> 1,5
Ferro total (mg L ⁻¹)	< 0,2	< 0,5	0,2 - 1,5	0,5	- 1,2	> 1,5
Sulfeto de hidrogênio (mg L ⁻¹)	< 0,2	n.c.	0,2 - 2,0	n.c.	> 2,0	n.c.
Cálcio (mmolc L ⁻¹)	n.c.	< 12,5	n.c.	12,5	- 22,5	n.c.
Magnésio (mmolc L ⁻¹)	n.c.	< 2,0	n.c.	2,0	- 7,3	n.c.
Biológico						
População bacteriana (UFC mL ⁻¹)	< 10000	n.c.	50000	n.c.	> 50000	n.c.

Nota: (A) Classificação segundo Bucks et al. (1979) e (B) Classificação segundo Capra e Scicolone (1998); n.c. – não classificado; UFC – unidades formadoras de colônias)

Os principais parâmetros, que caracterizam o funcionamento adequado e faz previsões quanto a durabilidade dos sistemas de irrigação, são relacionados a avaliação da uniformidade de distribuição de água pelo sistema desde sua implantação, possibilitando reajustes ao longo do funcionamento (VIERA, 2004; SOCCOL; ULMANN; FRIZONE, 2002; LOUIE & SELKER 2000; ROCHA et al. 1999). Dentre os parâmetros utilizados para caracterizar a uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação, destacam-se: coeficiente de uniformidade (CUD), coeficiente de variação total (CVt) e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) (BRALTS & KESNER, 1983; KELLER & KARMELI, 1974; CHRISTIANSEN, 1942). Com base nos parâmetros pode-se classificar a uniformidade de irrigação e suas consequências sobre o solo e planta (GIL et al., 2008; BERNADO; SOARES e MANTOVANI, 2005).

Dentre as metodologias de coleta de informações que visem a estimar parâmetros e conseqüentemente caracterizem a uniformidade de distribuição de água para um sistema de gotejamento, as propostas por Keller e Karmelli (1974) e Deniculli (1980), tornando-se referência para trabalhos científicos sobre a avaliação de sistema de irrigação (FERREIRA, 2015; FERNANDES et al.; GRIS et al., 2013; HERNANDEZ, 2010). A coleta de informações para ambas metodologias consiste na eleição de quatro linhas laterais similares em cada linha secundária, a partir destas linhas laterais tomam-se a medição, em diferentes posições de gotejadores, dos volumes emitidos em determinados intervalos de tempo, a partir dos volumes coletados os parâmetros podem ser estimados.

2.2 Reúso de água

As mudanças econômicas atreladas ao exponencial aumento demográfico promovem impactos sobre a geração de resíduos, tornando cada vez mais necessária a discussão sobre o correto gerenciamento destes. A eutrofização de rios e reservatórios causada pelo lançamento inadequado de águas residuárias assim como a contaminação por patógenos tornam obrigatórias medidas de tratamento adequado pelas águas residuárias, tanto para fins de potabilidade como também para minimizar os impactos causados pela mesma.

A Resolução nº 54 de 28 de novembro de 2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, define como sendo água residuária a todo esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuárias, tratados ou não. Para a mesma resolução, o reuso de água define-se pela

utilização da água residuária, seja de modo direto ou não. O reuso de água de maneira direta pode ser atribuído a diversas finalidades: urbano, agrícola, ambientais, florestais, industriais além do uso para a aquicultura (AESAs, 2015).

As águas residuárias, apesar de ter variações socioeconômicas e culturais para as diversas populações, mantem certa uniformidade quanto a características dos esgotos gerados conforme observados por Von Sperling (1996) e posteriormente por Braga et al. (2012). Principalmente pela riqueza em nutrientes, o reuso de água voltadas a atividades do setor rural como agricultura, reflorestamento e aquicultura é potencializada, proporcionando a economia no uso de aditivos comerciais e a preservação ambiental (VAN DER HOEK et al., 2002).

Diante destas vantagens, muitos países, principalmente os que apresentam dificuldades na disposição de água potável, já adotam o reuso de água na produção agrícola e florestal. Um grande exemplo é Israel, país que atualmente utiliza mais de 60% de seu esgoto sanitário para a produção agrícola através da irrigação (BOSCO, 2007), medidas como esta propiciam economia de até 50% nos custos produtivos, além do incremento no rendimento das culturas pela fertirrigação ocasionada com o reuso (LÉON & CAVALINI, 1999). Ainda pela promoção da fertirrigação natural, há também uma forte tendência da associação das águas residuárias a sistemas de irrigação em zonas urbanas, visando a atender a necessidade de projetos paisagísticos (CAPRA e SCIOLONE, 2004).

O reuso de águas na produção agrícola pode incrementar em outros aspectos de natureza econômica e social. Uma vez que possibilita um maior rendimento agrícola, pode ser um agente indireto na melhoria da qualidade de vida das pessoas, principalmente para os de baixa renda a qual podem ser favorecidas com os acréscimos na produtividade agrícola e com a amenização dos impactos ambientais gerados com a deposição inadequada das águas residuárias (HESPANHOL, 2011; BRANDÃO; MOTA & MAIA, 2002). No ponto de vista do produtor agrícola, o reuso de água para a irrigação pode acarretar em uma ótima combinação de custos rebaixados e produtividade ampliada, o que implica no aumento de renda dos envolvidos.

Com as vantagens estabelecidas quando adotado, o reuso de água é então incluso dentro do mercado de águas mundial (SANTOS, 2012). A resolução nº 54 de 28 de novembro de 2005 já apresenta as definições para produtor, distribuidor e usuário de água de reuso, mas não há ainda uma legislação específica aos aspectos mercadológicos como os já existentes a água potável, exemplo o Programa Produtor de Água da Agência

Nacional de Águas (ANA, 2015).

Entretanto, o reuso de águas para a agricultura, especificamente para a irrigação de culturas, deve ser acompanhado de um controle rigoroso e seu emprego deve ser adotado após avaliação dos possíveis impactos ambientais, econômicos e sociais (DUARTE, 2006). Assim como há a abundância de nutrientes, na constituição das águas residuárias há também a presença de elementos fitotóxicos, além de patógenos (GUIDOLIN, 2000).

Apesar do solo atuar como agente de redução, através de uma irrigação má conduzida, pode acontecer a contaminação das águas subterrâneas devido as características físico, química e biológicas das águas residuárias utilizadas além da própria degradação do solo (LÉON & CAVALLINI, 1999). É importante então a observação das limitações do solo a ser submetido a irrigação com reuso de água através de suas características físicas e químicas (MARCIANO et al., 2001). Dentre os principais fatores de contaminação destacam-se a matéria orgânica, poluentes orgânicos, poluentes inorgânicos, microrganismos patogênicos e salinidade das águas (MANCUSO & SANTOS, 2003; HARUVY, 1998).

Por se tratar de algo de contato direto com o ser humano e tendo em vista a tendência a sua utilização cada vez mais frequente, o risco a saúde humana pela promoção do reuso de água é pertinente, principalmente aos trabalhadores envolvidos diretamente com produções irrigadas (CAPRA & SCICOLONE, 2004). Para amenizar possíveis impactos na década de 90 através da Organização Mundial da Saúde surgem as primeiras diretrizes para o uso de efluentes urbanos na irrigação (WHO, 1989). O tratamento básico do esgoto bruto gerados pelas atividades antrópicas potencializa o uso das águas residuárias em sistemas de irrigação e a legislação brasileira já orienta através de resoluções como a RES. 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. A resolução 357/2005 foi posteriormente alterada pelas Resoluções nº 370, de 2006, nº 397, de 2008, nº 410, de 2009, e nº 430, de 2011; assim como foi complementada pela Resolução nº 393, de 2009.

Apesar do avanço quanto ao gerenciamento dos efluentes, ainda são poucos os avanços em termos de legislação que enfoquem o uso posterior destas águas, baseada basicamente apenas nas definições dos fatores envolvidos como a RES 54/2005 CNRH. Outro avanço foi o surgimento da Instrução Normativa Nº 31 da Companhia de

Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), que define procedimentos internos e critérios mínimos para disciplinar o reuso de água proveniente de Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário. Faz então necessário o desenvolvimento de aparatos que orientem quanto aos aspectos técnicos e operacionais, sendo que o principal insumo para a constituição destes instrumentos está na realização de pesquisas de caráter científico envolvendo o reuso de água nas múltiplas atividades, como por exemplo no setor agrícola.

2.3 Controles de qualidade aplicada a irrigação

Conforme relatado anteriormente, os principais parâmetros que caracterizam a um bom funcionamento do sistema de irrigação estão vinculados a uniformidade do sistema, ou seja, ao funcionamento do conjunto de emissores e a comparação entre si. Este funcionamento tem sua qualidade baseada no controle permanente do processo que o envolve (COSTA; EPPRESCHT; CARPINETTI, 2004), diretamente relacionada a variabilidade de fabricação dos emissores (VERAS, 2009). A partir do controle é possível a identificação de falhas, suas causas e formas de extinção a finalidade de melhoria na performance (MONTGOMERY, 2004).

Estudos apontam a viabilidade do uso do Controle Estatístico de Qualidade (CEQ) aos sistemas de produção agrícola (FERREIRA; SILVA, 2015; HERNANDEZ, 2010; SILVA et al., 2007). Trata-se de uma técnica de análise estatística que surge diante da necessidade de novos modelos gerenciais que enfoquem a qualidade dos processos produtivos, buscando a eliminação das causas de variação destes (MONTGOMERY, 2009). O grande diferencial do CEQ é que o mesmo foi desenvolvido para avaliar a variabilidade ao longo do tempo (ciclo) do processo por vários ensaios (MONTGOMERY, 2001).

A partir da assimilação do CEQ aos processos que envolvem a irrigação em determinado período de tempo, torna-se possível a geração de gráficos de controle, facilitando o monitoramento da irrigação. Nos gráficos de controle tem-se o registro temporal da média valores relacionados ao parâmetro analisado nos emissores, dentro de uma determinada amplitude de desvio padrão em relação ao grupo de emissores analisados. Quando a média de valores de um ou mais pontos analisados foge a essa amplitude, temos então um processo fora dos limites de controle estatístico (SOUZA et al., 2008; WERKEMA, 2006; MICHEL et al. 2002).

Os gráficos de controle facilitam a identificação de alterações que possam afetar

a qualidade da irrigação praticada, quanto mais parâmetros correlacionados forem submetidos a análise mais preciso se torna a determinação da qualidade da irrigação praticada (FARAZ et al., 2011). Os gráficos de controle servem não somente para avaliar a uniformidade do sistema, mas indiretamente servem para avaliar a qualidade dos emissores utilizados quanto aos padrões estabelecidos na fabricação (SILVA et al., 2015).

Outra adaptação do CEQ voltada ao controle da irrigação é o Índice de Capacidade do Processo (C_p), trata-se de um parâmetro adimensional que relaciona o processo real executado ao pretendido nas suas especificações e quanto maior o seu valor provavelmente melhor o processo atenderá a estas (COSTA; EPPRESCHT; CARPINETI, 2004).

De acordo com Souza et al. (2008), um processo está fora de controle quando um ou mais pontos situarem-se fora dos limites, sob a configuração aleatória ou quando há configurações especiais com pontos dentro ou fora dos limites de controle. Para Werkema (2006), o processo está sob controle estatístico quando todos os pontos traçados no gráfico estão dentro dos dois limites de controle e se a disposição dos pontos é aleatória em torno da linha média (LM).

Justi et al. (2010), aplicaram o gráfico de controle de Shewhart em ensaios de irrigação por aspersão na avaliação do CUC e verificaram que um dos ensaios esteve acima do LSC e nenhum dos ensaios obteve CUC menor que o LIC. O restante dos ensaios permaneceu dentro dos limites de controle plotados no gráfico. A principal utilidade dos gráficos de controle é detectar falhas no decorrer de um processo em tempo real. Quando a falha é detectada o processo para, atribui-se uma causa à falha, o problema causa é eliminado e só então o processo é retomado.

Ferreira (2015), aplicando o controle estatístico de qualidade com dois diferentes sistemas de irrigação por gotejamento operando com água residuária tratada, verificou que o grau de entupimento (GE) apresentou-se severo para o sistema operando com o gotejador modelo G1 a partir de 340 horas, já o sistema de irrigação operando com o gotejador modelo G2 apresentou o mesmo comportamento a partir de 380 horas, demonstrando uma maior sensibilidade ao entupimento para o primeiro modelo avaliado no estudo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área experimental

O experimento foi conduzido em ambiente controlado (casa de vegetação) pertencente ao Laboratório de Irrigação e Drenagem, da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande (LEID/UAEA/UFCG), no município de Campina Grande, PB. A área total da casa de vegetação é de 21 metros de comprimento por 3 metros de largura, localizada nas seguintes coordenadas geográficas: 7°12'52" de latitude Sul, 35°54'24" de longitude Oeste e altitude média de 550 m (Figura 1).

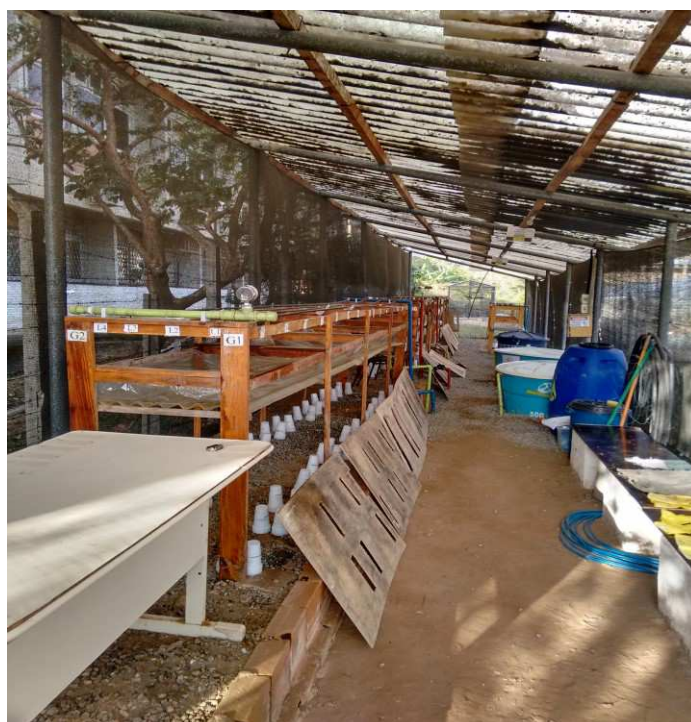


Figura 1 – Casa de vegetação, local do experimento, Campina Grande – PB (2016).

O município de Campina Grande está classificado segundo Köppen como local de clima As', quente e úmido com chuva de outono-inverno, o que evidencia um período de estiagem em torno de seis meses, sendo que o período de estiagem perdura entre os meses de setembro a fevereiro. As temperaturas médias do ambiente variam em torno de 19,5°C de mínima e 28,6°C de máxima, com uniformidade relativa do ar em torno de 80% de U.R., mas sujeito as mudanças climáticas.

3.2 Caracterização do experimento

Foram avaliados três sistemas de irrigação por gotejamento usando dois modelos diferentes de fitas gotejadoras, a saber: Netafim Streamline e Naandanjain TalDrip, as quais foram codificadas por **G1** e **G2**, respectivamente, conforme está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Especificações Técnicas dos gotejadores em estudo, Campina Grande – PB, 2016.

	Nome	DA*	Q ^{1*} [L h ⁻¹]	k*	x*	A* [mm ²]	L* [mm]	CV _f * [%]	P* [kPa]	EE* [m]
G1	Netafim Streamline	Não	1,60	0,57	0,45	17	13	± 7	65 –100	0,30
G2	NaanDanJain TalDrip	Não	1,70	0,56	0,46	6,0**	44**	± 5	50 –300	0,20

(DA) = dispositivo de autocompensação, (Q)= vazão nominal,(k) = coeficiente de vazão, (x)= expoente da vazão que caracteriza o regime de escoamento, (A) = área de filtragem, (L) = comprimento do labirinto, (CVf) = coeficiente de variação de fabricação, (P) faixa de pressão recomendada e (EE) = espaçamento entre emissores **Nota:** ¹ - Vazão nominal dos gotejadores na pressão de serviço de 100 kPa; * informações obtidas nos catálogos dos fabricantes. CNJ - sistema anti-drenante; e ** informações medidas com auxílio de um parquímetro digital com precisão de 0,01 mm.

Os referidos sistemas de irrigação funcionaram com dois tipos de água para fins de comparação. O primeiro tipo foi a água de chuva bruta captada das chuvas e armazenada em reservatório local (cisterna), adotou-se este tipo de água pelas características similares ao das águas contidas nos reservatórios de água de maior porte, isto é, águas que não sofrerem nenhuma interferência química física antes de seu uso.

O segundo tipo de água utilizado foi oriundo da estação de tratamento de esgotos (ETE) pertencente a Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba (CAGEPA), localizada no município de Campina Grande, bairro do Glória (Figura 2). A estação é responsável por promover o tratamento do esgoto advindo de toda a zona leste de Campina Grande, sendo a origem em sua maioria de atividades domésticas dos bairros e conjuntos habitacionais contribuintes. A estação é dotada de tubulações de 300 mm de diâmetro, conjunto grade de barras, caixa de areia, lagoa anaeróbia e lagoa facultativa. O corpo receptor do efluente tratado pela ETE é o riacho do Cardoso, localizado nas limitações entre Campina Grande e o município de Massaranduba, sendo boa parte desta água utilizada para irrigação de

pomares e cultivos voltados a alimentação animal.



Figura 2– Estação de tratamento de esgotos (ETE), bairro do Glória, Campina Grande – PB, 2016.

Sendo assim, o delineamento experimental consistiu em um conjunto de três sistemas de irrigação (Figura 3), sendo o primeiro sistema utilizado como testemunha no qual a fonte de água utilizada foi a água da captação por cisterna, denominada de **A1**, o qual alimentou-se duas linhas laterais compostas por **G1** assim como duas linhas laterais compostas por **G2**. O segundo e o terceiro sistemas de irrigação foram alimentados por efluente tratado advindo da ETE, denominado de **A2**, sendo que cada sistema foi constituído por quatro linhas exclusivas de fitas gotejadoras. Enquanto o segundo sistema foi constituído de quatro linhas laterais de **G1**, o terceiro sistema de irrigação era constituído de quatro linhas laterais de **G2**. Sendo então empregados, quatro tratamentos ao experimento, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Tratamentos aplicados nos sistemas de irrigação por gotejamento, Campina Grande – PB, 2016.

Tratamentos	Sistema de Irrigação	Modelo gotejador	Origem da água
A1G1	1	Netafim Streamline	Cisterna
A1G2	1	NaanDanJain TalDrip	Cisterna
A2G1	2	Netafim Streamline	ETE Glória
A2G2	3	NaanDanJain TalDrip	ETE Glória

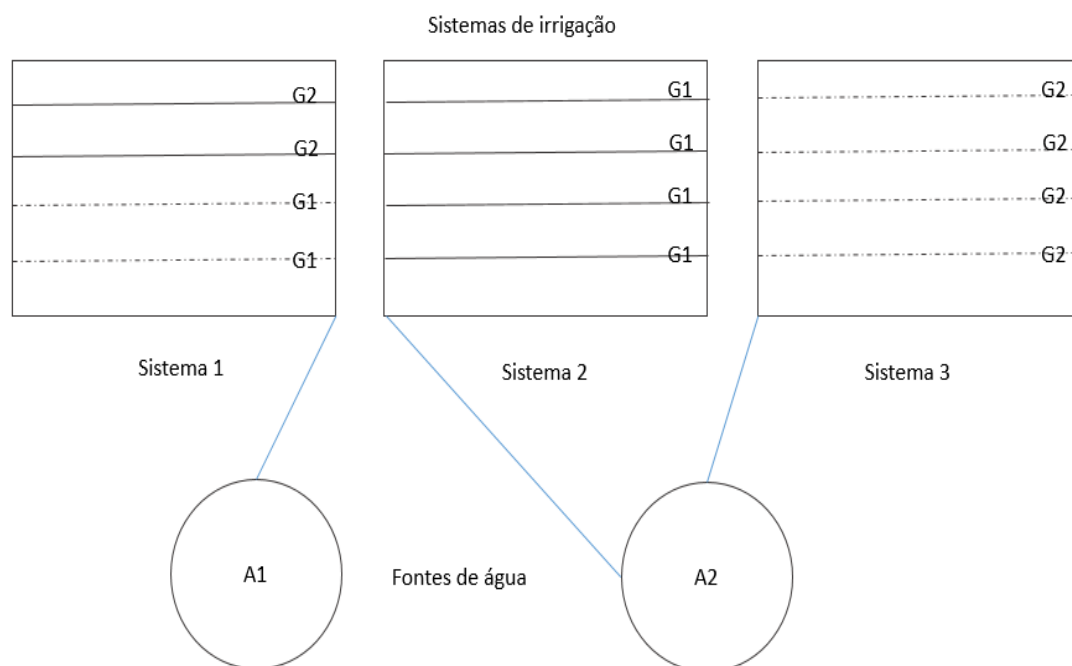


Figura 3 - Layout dos sistemas de irrigação, Campina Grande – PB, 2016.

Os sistemas de irrigação por gotejamento foram montados em três bancadas experimentais confeccionadas em madeira de 4,40 m de comprimento por 0,60 m de largura e altura de 1,20 m. As bancadas dotadas de prateleiras móveis as quais foram colocadas no momento das coletas de água, sendo retiradas após cada avaliação (FIGURA 4). Os sistemas de irrigação compostos de recirculação da água e efluente tratado. A recirculação ocorrendo após a passagem da água pelos gotejadores, onde a mesma caía sobre telhas de fibra de vidro (sistema coletor), conectado a calhas que recolhiam essa água e através de tubos de PVC interliga-se com os reservatórios (caixas d'águas de 500 litros). O intuito foi que toda a água consumida durante o processo de irrigação retornasse a sua respectiva bancada.



(a)

(b)

Figura 4 - Bancadas experimentais: vista longitudinal (a), detalhe das prateleiras removíveis. Campina Grande – PB, 2016.

Cada sistema de irrigação foi composto por: eletrobomba de $\frac{1}{2}$ CV, 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, válvula de retenção, registro de globo, tubos de PVC, conexões e fitas gotejadoras.

3.3 Qualidades do efluente dos sistemas de irrigação

As águas utilizadas no experimento foram oriundas do município de Campina Grande, PB. A escolha pelo local se deu pela logística, uma vez que a ETE do bairro da Glória fica no mesmo município do experimento, assim como pela facilidade de acesso oferecida pela Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba - CAGEPA.

Para o transporte do efluente até o local da pesquisa, foi projetado sobre um reboque veicular, sistema de armazenamento móvel dotado de reservatório hermético, sistema de bombeamento e mangueiras de condução. Já para o abastecimento do experimento com água advinda de cisterna, foi feita a condução manual através de baldes, até o reservatório do experimento.



(a)



(b)

Figura 5– Estrutura de transporte de efluente da ETE do Bairro da Glória (a) e reservatório do experimento abastecido com efluente, Campina Grande – PB, 2016.

3.4 Instalação e caracterização dos sistemas de irrigação por gotejamento

As linhas laterais foram instaladas sobre as bancadas de madeira de modo que proporcionassem paralelamente dois sistemas de irrigação em funcionamento (A1 e A2) com recirculação de água. O espaçamento entre linhas foi de 0,15 m e entre gotejadores de 0,30 metros para G1 e 0,20 metros para G2, dessa forma, o gotejador G1 e G2 possuem em cada linha lateral 15 e 21 gotejadores, respectivamente.

Para cada linha lateral foram todos os gotejadores eleitos a servirem para amostragem necessária ao experimento. Para fins de comparação, a figura 6 compara a metodologia utilizada neste experimento ao uso da metodologia comumente utilizada de Deniculli (1980), a qual adota o fracionamento do comprimento de linha por 7 setores, elencando-se um gotejador a ser útil a cada setor, totalizando-se 8 gotejadores para observação a cada linha.

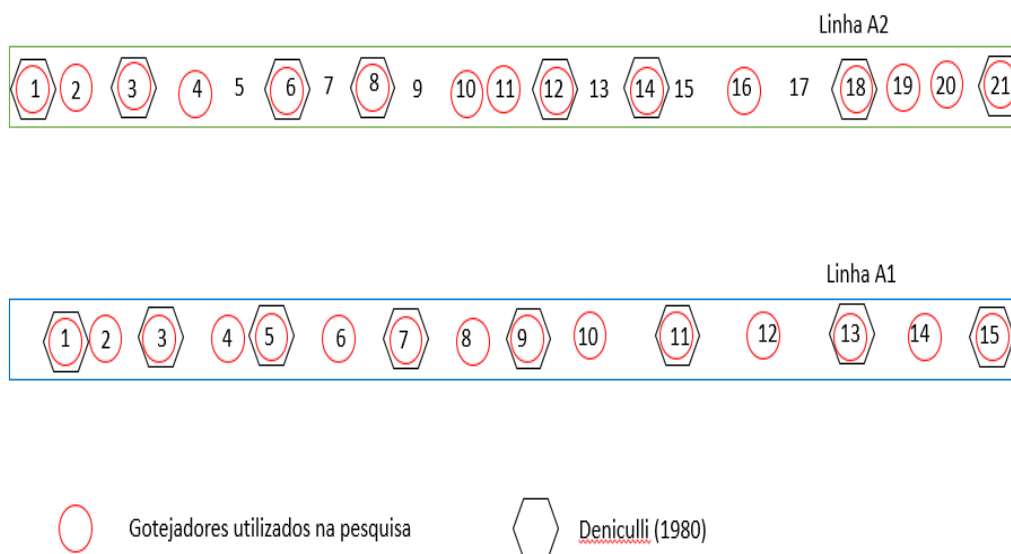


Figura 6 - Esquema de posicionamento de gotejadores para a pesquisa, Campina Grande – PB, 2016.

A coleta de águas dos gotejadores elencados se deu com o emprego de recipientes plásticos devidamente identificados, com capacidade para 300ml, os quais eram apoiados sobre as prateleiras moveis das bancadas de madeira. O tempo de exposição de cada recipiente ao gotejador foi de 6 minutos, sendo efetuadas cinco medições (repetições) consecutivas para cada gotejador estudado. Ao final de cada ensaio, totalizaram-se 900 amostras coletadas (5 repetições por gotejador x 15 gotejadores/linha x 4 linhas /bancada x 3 bancadas).

Por se tratar de sistema de irrigação com modelos variados de gotejadores, foi necessário realizar testes preliminares para a adoção da melhor pressão de serviço (Ps) a ser adotada dentro de uma margem aceitável para ambos os modelos adotados no estudo. Foram testados preliminarmente três pressões de serviço: 70, 80 e 90 KPa. Sendo adotada a uniformidade como fator de adoção, a pressão de 90 KPa acarretou na melhor uniformidade de funcionamento do sistema, sendo então adotada como pressão de serviço útil ao experimento.

3.5 Avaliação do desempenho do sistema de irrigação por gotejamento

Após a definição da pressão de serviço do experimento, teve-se o início efetivo das atividades, assim, começando-se a contar-se o tempo de funcionamento dos sistemas de irrigação mediante os tratamentos em estudo.

Foram realizados 31 ensaios consecutivos de acordo com um tempo de funcionamento pré-estabelecido de 24 horas. Os sistemas de irrigação por gotejamento estudados serão acionados de forma semimanual, com o acionamento das motobombas controlado por temporizadores. Foram 8 horas diárias de funcionamento, nos seguintes horários: 8:00 hs às 12:00 hs e de 13:00 hs às 17:00 hs, de segunda a sábado. As avaliações serão realizadas a cada 24 horas de funcionamento, realizando-se a coleta de volumes de água de forma amostral e posterior determinação dos volumes coletados.

Com volumes de água coletados nos gotejadores foi possível obter a vazão dos emissores a partir da equação 1, a seguir:

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

Em que:

q = vazão do emissor [L/h];

V = volume coletado no emissor [mL] ;

t = tempo de coleta no emissor [min].

Após o cálculo da vazão do sistema, determinou-se o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) para cada sistema, que consiste na média do menor quartil dos gotejadores de menor caudal (q₂₅), dividido pelo valor médio da vazão (\bar{q}), conforme a equação 2:

$$CUD = \frac{q_{25}}{\bar{q}} \cdot 100 \quad (2)$$

Em que:

CUD – coeficiente de uniformidade de distribuição de água [%];

q 25 – vazão média de 25% do total de provetas que receberam as menores precipitações, [L h⁻¹];

\bar{q} - vazão média ponderada, considerando todas as provetas, L h⁻¹.

O coeficiente de variação (CV) é expresso conforme equação 3:

$$CV_t = \frac{s_n}{\bar{q}} \cdot 100 \quad (3)$$

Em que:

CVt – coeficiente de variação de vazão total [%];

Sn – desvio padrão da vazão dos gotejadores novos [L h⁻¹];

\bar{q} - vazão média ponderada do gotejador novo [L h⁻¹].

O grau de entupimento (GE) dos gotejadores é um dos indicadores de desempenho que permite acompanhar as mudanças nas características hidráulicas ao longo do tempo, devido o cálculo do GE partir da relação entre a vazão dos gotejadores usados e novos, conforme apresentado na equação 4.

$$GE = 1 - \frac{[q_{usado}]}{[q_{novo}]} \cdot 100 \quad (4)$$

Em que:

GE – grau de entupimento, %;

qusado – vazão do gotejador usado, [Lh¹];

qnovo – vazão do gotejador novo, [L h¹]

3.6 Controle estatístico dos sistemas de irrigação por gotejamento

Após a coleta dos dados e tabulação serão calculados os indicadores de desempenho para cada tratamento em estudo, e posteriormente será inserida a técnica do controle estatístico de qualidade, visando identificar dentre os parâmetros estudados qual melhor representa o processo de desgaste dos sistemas de irrigação, mediante as condições de projeto.

O controle estatístico de qualidade é uma ferramenta que busca identificar os entraves que podem ocorrer no manejo dos sistemas de irrigação ao longo do tempo, dessa forma, o planejamento experimental segue uma configuração que relaciona entradas controláveis (x_n), que são: Pressão de serviço (x_1), Passagem de água pelos condutos (x_2); e entradas não-controláveis (Z_n) que estão relacionadas com as variáveis temporais e sazonais do local de trabalho, são elas: qualidade do efluente (Z_1), temperatura do ar (Z_2), umidade (Z_3), temperatura da água (Z_4), insolação (Z_5), desgaste das fitas gotejadoras (Z_6), entupimento de emissores (Z_7).

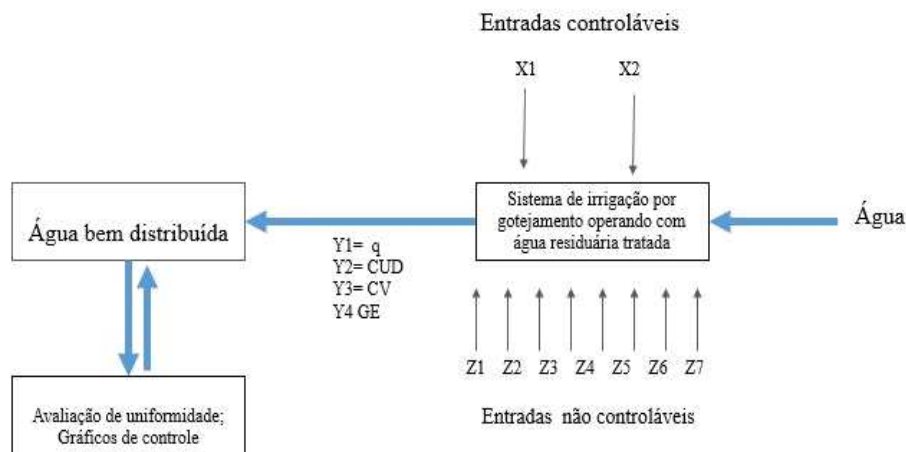


Figura 7 - Planejamento experimental do controle estatístico em sistema de irrigação por Gotejamento, Campina Grande – PB, 2016.

3.6.1 Gráficos de Shewhart para mais de uma observação de vazão

Para a melhor observação dos processos, serão confeccionados os gráficos de controle X, que respectivamente correspondem ao monitoramento da média do processo. Os gráficos serão gerados para os parâmetros de vazão (q), coeficiente de uniformidade (CUD) e o grau de entupimento (GE). Para a definição dos limites de controle para o gráfico X (Limite de controle superior – LCS, Linha central e Limite de controle inferior - LCI), serão utilizadas as seguintes equações:

$$\text{LCS} = \bar{x} + 3\sigma \quad (5)$$

$$\text{LCI} = \bar{x} - 3\sigma \quad (6)$$

$$\sigma = \text{MR} \cdot (d_2)^{-1} \quad (7)$$

Em que:

\bar{x} – linha central das médias dos valores de vazão;

σ – é o estimador do desvio padrão populacional (σ) não-viesado;

d_2 – fator de correção tabelado que depende do tamanho da amostra;

MR – amplitude amostral média;

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Aplicação do controle estatístico para o sistema de irrigação operando com água oriunda de cisterna e o gotejador modelo Netafim Streamline (A1G1)

4.1.1 Vazão média

Na figura 7 é apresentado o gráfico de controle estatístico correspondente a vazão média (Q) estimada para o sistema de irrigação operando com o gotejador modelo Netafim Streamline e água oriunda de Cisterna (A1G1). Pelo observado, a média de vazão do sistema durante todo o período de funcionamento foi de 1,21 L/h, sendo o limite superior e inferior de controle estimado respectivamente em 1,45 L/h e 0,97 L/h. Todos os valores de vazão estimados ficaram abaixo do valor de vazão do catalogo do fabricante, que foi de 1,6 L/h para o material em estado de novo, com exceção da vazão do ensaio correspondente as 504 horas de funcionamento, que alcançou o valor de 1,67 L/h.

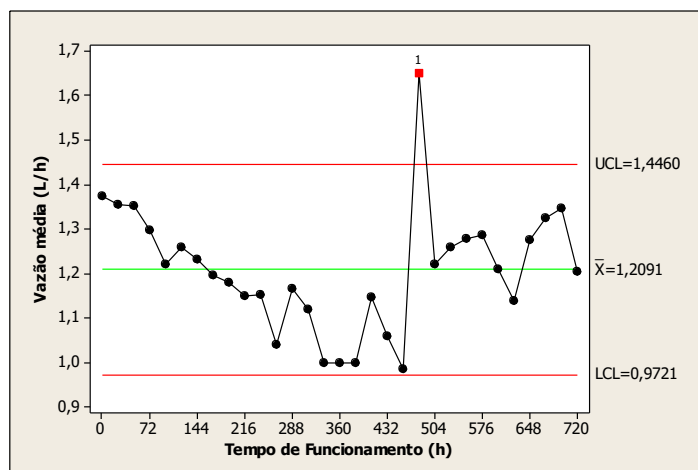


Figura 8 – Gráfico de controle vazão média x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo Netafim Streamline e água oriunda de Cisterna (A1G1).

Observa-se que dos 31 ensaios realizados durante as 720 horas de funcionamento, ocorreu uma falta de controle apenas no ensaio correspondente a 504 horas de funcionamento (ensaio 21), apresentando valor de vazão fora da região sob controle estatístico. Val salientar que os pontos do gráfico que antecedem o pico das 504 horas de funcionamento, apresentam segundo Montgomery (2013) um deslocamento de nível do processo (168 hs a 480 hs um deslocamento abaixo da linha média), que se caracteriza pela sequência de pelo menos sete pontos consecutivos de um lado da linha média (X);

tal comportamento pode ser um indicativo para a falta de controle do processo. Este resultado indica que o ensaio realizado a 504 horas foi afetado por alguma alteração externa durante a realização do experimento, pois foi constatada devido a ação do tempo, a aparição de fissuras nas fitas gotejadoras de maneira aleatória. Devido a constatação de tais problemas foram realizadas ações preventivas e corretivas como: a revisão periódica das fitas e conserto das fissuras emergentes; sendo assim, durante os ensaios e principalmente no período de coleta de dados este tipo de situação pode ter acometido no valor discrepante ocorrido neste ensaio. Outro fator de influência se deve a alguma variação na pressão de serviço do sistema de irrigação, mesmo que aferidas diuturnamente as pressões de serviço ocorridas em cada sistema de irrigação por meio da leitura de seus manômetros correspondentes.

No gráfico ainda se observa a perda de vazão gradativa até a metade do funcionamento total do sistema de irrigação, sendo que a partir das 432 horas de funcionamento houve tendência a recuperação nos valores de vazão. Excluindo-se o valor apresentado nas 504 horas, a maior perda de vazão foi de 0,15 L/h a partir das 696 horas de funcionamento.

4.1.2 Coeficiente de uniformidade de distribuição

Na Figura 9 é apresentado o gráfico de controle correspondente ao coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) estimado para o sistema de irrigação operando com o gotejador modelo Netafim Streamline e água oriunda de Cisterna (A1G1). Pelo observado na referida figura, o valor médio do CUD durante todo o período experimental estimado foi de 86,72%, sendo o limite superior e inferior de controle estimado 96,31% e 77,13%, respectivamente. Dos 31 ensaios realizados durante todo o experimento, apenas os dois últimos apresentaram valores que ultrapassaram os limites de controle.

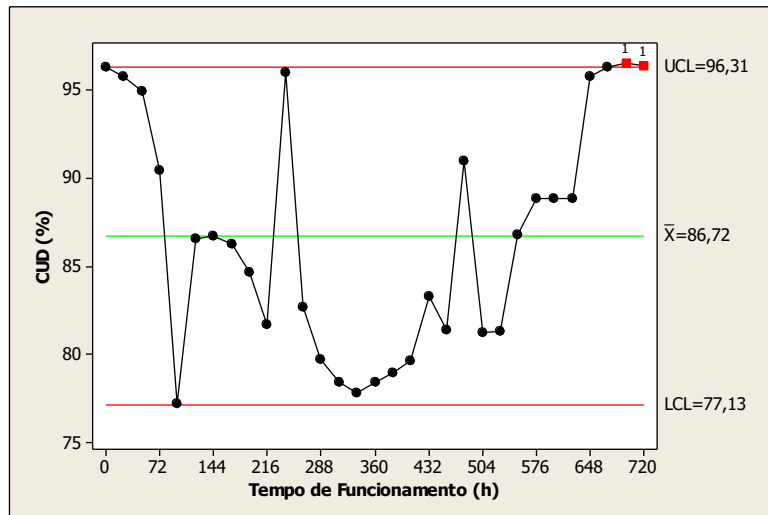


Figura 9 – Gráfico de controle coeficiente de uniformidade x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo Netafim Streamline e água oriunda de Cisterna (A1G1).

Na figura 9, apesar de apresentar os pontos dentro dos limites de controle estatístico, não exibe um padrão aleatório dos dados, dando indícios que o processo encontra-se fora de controle, é notório um pico descendente as 96 hs e outro ascendente as 240 hs de funcionamento do sistema, além de um padrão cíclico (264 as 456 hs) que de acordo com Montgomery (2013) pode ter ocorrido devido mudanças ambientais ou fatores operacionais no ambiente de coleta. Ocorrendo uma falta de controle nos dois últimos ensaios que apresentaram CUD acima do limite superior de controle.

Salienta-se que durante o tempo de funcionamento do sistema de irrigação a média dos valores de CUD foi de 86,72%, valor que de acordo com Bralts (1986) classifica o sistema de irrigação como bom. Vale ressaltar que o coeficiente de uniformidade CUD é estimado levando em consideração a vazões média do sistema assim como as vazões de menor valor estimadas no mesmo. Um dos aspectos de campo levantados e que contribuíram para este comportamento se dá pelo fenômeno da dilatação das mangueiras, as quais provocavam pequenas declividades da mesma ao longo da bancada, fazendo com que as gotas emitidas por algum dos gotejadores investigados escoassem as proximidades dos gotejadores a jusante, fato este que não atrapalhou na estimativa da vazão média do sistema, apenas no coeficiente CUD.

4.1.3 Coeficiente de variação

Na Figura 10 é apresentado o gráfico de controle correspondente ao coeficiente de variação (CV) estimado para o sistema de irrigação funcionando com o gotejador modelo Netafim Streamline e água oriunda de Cisterna (A1G1). Pelo observado na referida figura, o valor médio do CV durante todo o tempo de funcionamento do sistema de irrigação estimado é de 14,31%, que segundo a ABNT ISO 9261 (2006) encontra-se acima do recomendado de até 7% para sistema de irrigação por gotejamento. Sendo o limite superior e inferior de controle estimado respectivamente em 18,75% e 9,87%. Dos 31 ensaios realizados durante todo o experimento, apenas dois apresentaram valores que ultrapassaram os limites de controle.

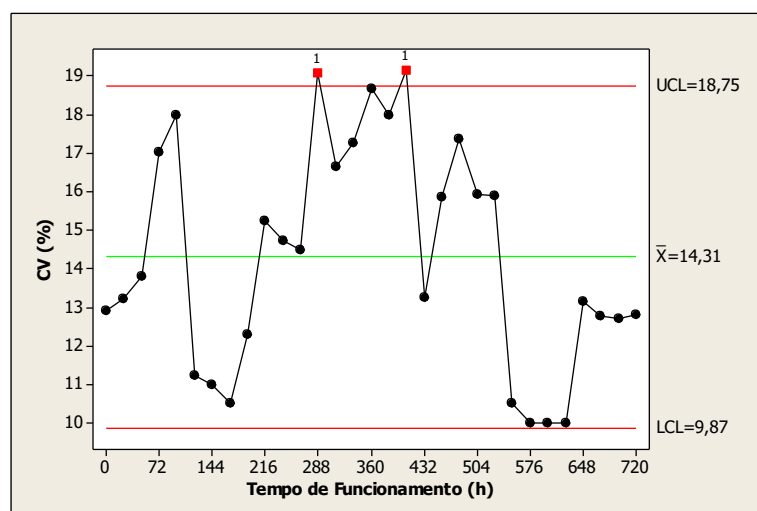


Figura 10 – Gráfico de controle coeficiente de variação x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo Netafim Streamline e água oriunda de Cisterna (A1G1).

Na Figura 10, os pontos que ultrapassaram o limite superior de controle correspondem aos ensaios realizados respectivamente as 288 e 408 horas de funcionamento. A maior diferença entre CV ocorreu entre as 96 e 120 horas, uma perda de 7% no valor de CV.

4.1.4 Grau de entupimento

Na figura 11 foi apresentado o gráfico de controle correspondente ao grau de entupimento (GE) estimado para o sistema de irrigação funcionando com o gotejador

modelo Netafim Streamline e água oriunda de Cisterna (A1G1). Pelo observado na referida figura, o valor médio durante todo o período experimental estimado é de 24,77%, sendo o limite superior e inferior de controle estimado respectivamente em 36,83% e 12,71%. Dos 31 ensaios realizados durante todo o experimento, apenas dois apresentaram valores que ultrapassaram os limites de controle.

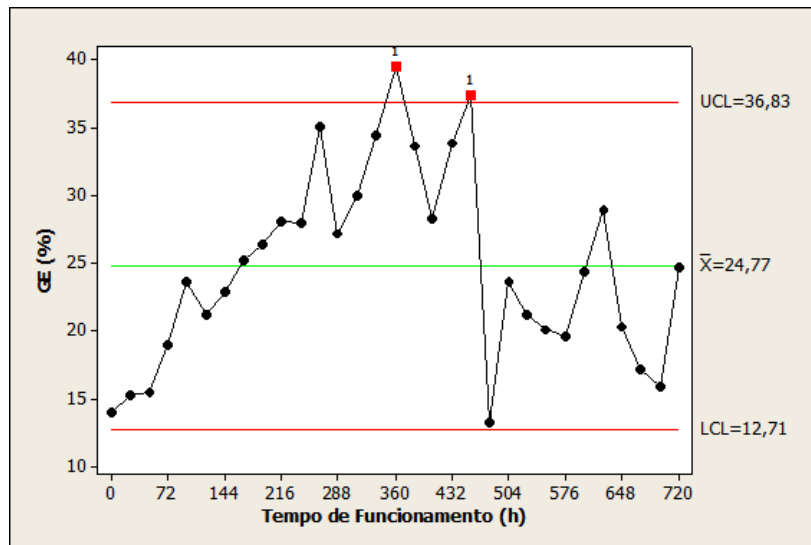


Figura 11 - Gráfico de controle grau de entupimento x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo Netafim Streamline e água oriunda de Cisterna (A1G1).

Pela figura 11, observa-se que a maior diferença foi entre 456 as 480 horas, uma perda de 25% no GE. De acordo com Morata et al (2014), GE variando entre 10 a 40% é classificado como grau de entupimento médio. É importante salientar que esse parâmetro ainda precisa de maiores estudos, visto que, o grau de entupimento dos emissores pode variar de acordo com a arquitetura do mesmo, além das intempéries do local de estudo.

4.2 Aplicação do controle estatístico para o sistema de irrigação operando com água oriunda de cisterna e o gotejador modelo NaanDanJain TalDrip (A1G2)

4.2.1 Vazão média

Na Figura 12 é apresentado o gráfico de controle correspondente a vazão média (Q) estimada para o sistema de irrigação funcionando com o gotejador modelo NaanDanJain TalDrip e água oriunda de Cisterna (A1G2). Pelo observado, a média de vazão do sistema durante todo o ensaio foi de 1,28 L/h, sendo o limite superior e inferior de controle estimado respectivamente em 1,47 L/h e 1,09 L/h. Todos os valores de vazão estimados ficaram abaixo do valor estimado pelo fabricante, que seria de 1,7 L/h para o material em estado de novo, apenas um dos ensaios apresentou valor que ultrapassou os limites de controle do gráfico gerado.

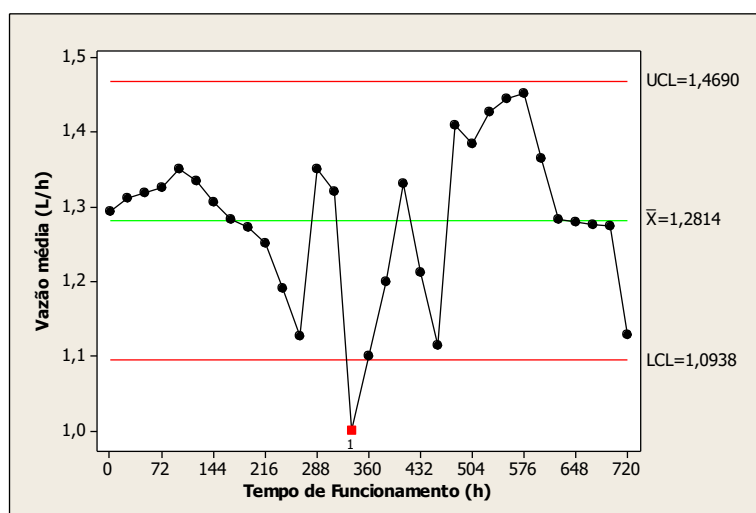


Figura 12 – Gráfico de controle vazão média x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo NaanDanJain TalDrip e água oriunda de Cisterna (A1G2).

Observa-se pela figura 12 um padrão de tendência nos ensaios iniciais até 264 hs, que de acordo com Montgomery (2013), indica uma possível falta de controle apesar de ter os pontos do gráfico dentro dos limites de controle estatístico, as causas das tendências, podem estar ligadas a diversos fatores entre eles o desgaste ou deterioração do material. Vale ressaltar, que de forma semelhante ao sistema de irrigação (A1G1), a vazão média do A1G2, sofreu influência dos problemas relacionados a fissuras nas suas

linhas laterais e a variações da pressão de serviço, o que pode ter resultado no ponto (240 hs) fora dos limites de controle.

4.2.2 Coeficiente de uniformidade de distribuição

Na figura 13 é apresentado o gráfico de controle correspondente ao coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) estimado para o sistema de irrigação funcionando com o gotejador modelo NaanDanJain TalDrip e água oriunda de Cisterna (A1G2). Pelo observado na figura, o valor médio durante todo o período experimental estimado é de 88,05%, sendo o limite superior e inferior de controle estimado respectivamente em 96,48% e 79,61 %. Dos 31 ensaios realizados durante todo o experimento, cinco ensaios apresentaram valores abaixo do limite inferior de controle.

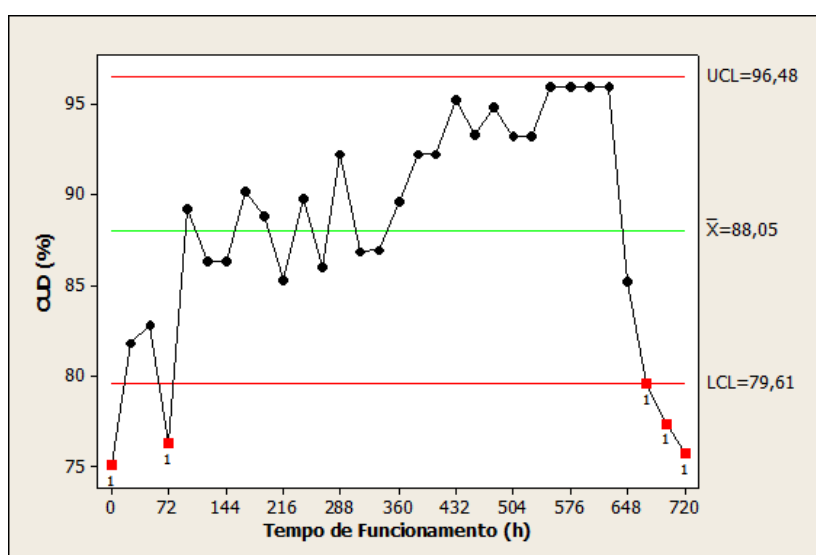


Figura 13 – Gráfico de controle coeficiente de uniformidade x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo NaanDanJain TalDrip e água oriunda de Cisterna (A1G2).

Observou-se que na Figura 13, houve cinco pontos fora dos limites de controle, sendo a ocorrência dos dois primeiros para o ensaio inicial e as 72 hs, para tais ensaios, pode ter acontecido esses valores abaixo do esperado devido ao sistema de irrigação ainda está passando por ajustes técnicos, já que o mesmo funcionava sobre as bancadas experimentais. Já para os três últimos ensaios a ocorrência da baixa uniformidade se deu pelo desgaste do sistema de irrigação ao longo do seu tempo de funcionamento, tendo em

vista que foram observados durante o processo de coleta de dados que alguns emissores se encontravam obstruídos. Ainda pela referida figura, pode-se observar que o gráfico de controle possui segundo Montgomery (2013) um deslocamento de nível do processo em ascensão a partir das 360 hs até 624 hs de funcionamento, decrescendo bruscamente logo após esse período e tendo os seus últimos ensaios fora do controle estatístico, indícios do processo estar fora de controle estatístico.

4.2.3 Coeficiente de variação

Na figura 14 foi apresentado o gráfico de controle correspondente ao coeficiente de variação (CV) estimado para o sistema de irrigação funcionando com o gotejador modelo NaanDanJain TalDrip e água oriunda de Cisterna (A1G2). Pelo observado na figura, o valor médio durante todo o período experimental estimado é de 9,43%, sendo o limite superior e inferior de controle estimado respectivamente em 16,11% e 2,76%. Dos 31 ensaios realizados durante todo o experimento, quatro valores ultrapassaram os limites de controle.

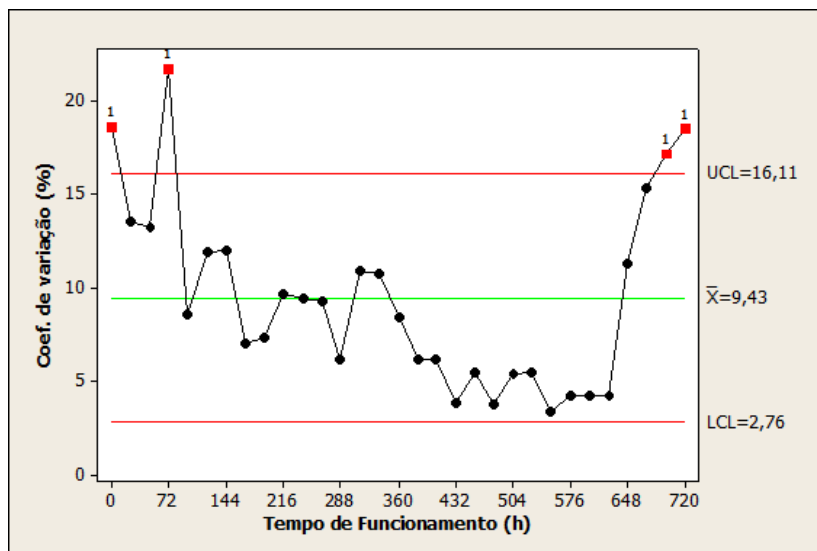


Figura 14 – Gráfico de controle coeficiente de variação x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo NaanDanJain TalDrip e água oriunda de Cisterna (A1G2).

Pela figura 14 foi possível verificar que o gráfico de controle estatístico não encontra-se com um padrão aleatório, apresentando quatro ensaios fora dos limites de

controle, sendo a ocorrência dos dois primeiros para o ensaio inicial e a 72 hs, demonstrando que de forma similar ao comportamento do gráfico de CUD as causas relacionam-se entre si. Ainda pela mesma figura, observa-se que dos 31 ensaios 12 ficaram com CV abaixo de 7% estando na faixa recomendada pela ABNT ISO 9261 (2006) para sistema de irrigação por gotejamento.

4.2.4 Grau de entupimento

Na figura 15 é apresentado o gráfico de controle correspondente ao grau de entupimento (GE) estimado para o sistema de irrigação funcionando com o gotejador modelo NaanDanJain TalDrip e água oriunda de Cisterna (A1G2). Pelo observado na figura, o valor médio durante todo o período experimental estimado é de 25,09%, sendo o limite superior e inferior de controle estimado respectivamente em 36,70% e 13,49%. Dos 31 ensaios realizados durante todo o experimento, apenas dois apresentaram valores que ultrapassaram os limites de controle.

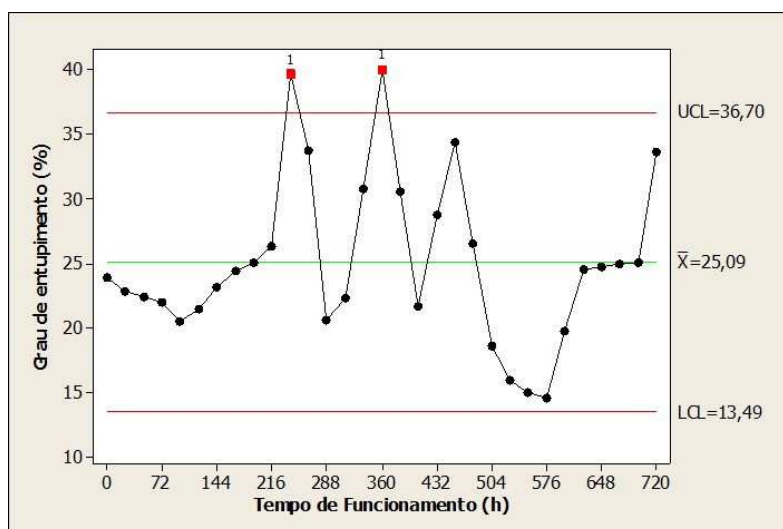


Figura 15 – Gráfico de controle grau de entupimento x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo NaanDanJain TalDrip e água oriunda de Cisterna (A1G2).

Pela figura 15, observa-se que no decorrer do tempo de funcionamento do sistema de irrigação dois ensaios (240 hs e 360 hs) ultrapassaram o limite superior de controle do gráfico, como nos ensaios anteriores a 240 hs observa-se uma tendência inicialmente em

decréscimo e a partir das 96 hs uma ascensão, isso pode ter gerado o ponto fora dos limites de controle, pois segundo Montgomery(2013), a tendência é um indicativo que o processo está fora de controle estatístico ainda que seus pontos estejam dentro dos limites de controle, as possíveis causas desse fenômeno pode ser questões sazonais (visto que o período entre ensaio e coleta de dados podia sofrer variações).

4.3 Aplicação do controle estatístico para o sistema de irrigação operando com água oriunda de Estação de tratamento de esgoto do Glória e o gotejador modelo Netafim Streamline (A2G1)

4.3.1 Vazão média

Na figura 16 é apresentado o gráfico de controle correspondente a vazão média (Q) estimada para o sistema de irrigação funcionando com o gotejador modelo Netafim Streamline e água residuária oriunda de estação de tratamento de esgoto do Glória (A2G1). Pelo observado na figura, a média de vazão do sistema durante todo o ensaio foi de 1,18 L/h, sendo o limite superior e inferior de controle estimado respectivamente em 1,59 L/h e 0,77 L/h. Todos os valores de vazão estimados ficaram abaixo do valor estimado pelo fabricante, que seria de 1,6 L/h para o material em estado de novo, com exceção da vazão estimado no ensaio correspondente as 504 horas de funcionamento, que alcançou o valor de 1,61 L/h.

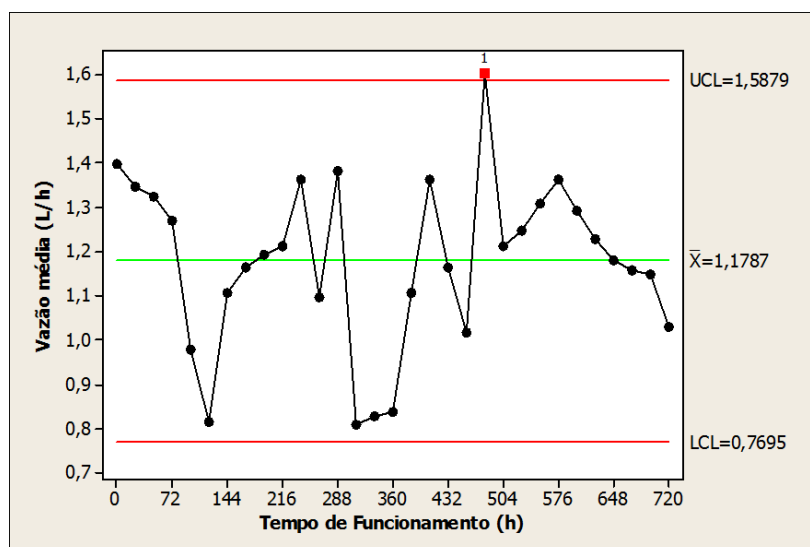


Figura 16 – Gráfico de controle vazão média x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo Netafim Streamline e água oriunda de estação de tratamento de esgoto do Glória (A2G1).

Na figura 16, observa-se no gráfico de controle comportamento não-aleatório ao longo do tempo de funcionamento característico de um padrão cíclico que de acordo com Montgomery (2013), esse modelo resulta de causas como mudanças ambientais, rotatividade regular de operadores, flutuações de pressão, entre outros. Para o presente

estudo foi detectado em alguns ensaios, devido as características do material do registro de passagem da água no sistema, tendendo a ocorrência de variações na sua pressão de serviço; fato que vem a justificar o ensaio 21 (480 hs) que obteve valor acima dos limites de controle, atingindo uma vazão de 1,6 l/h, esse acréscimo pode ser atribuído a um deslocamento da mucilagem gerada no interior do emissor dentro da linha lateral, decorrente do acréscimo da pressão de serviço.

4.3.2 Coeficiente de uniformidade de distribuição

Na figura 17 é apresentado o gráfico de controle correspondente ao coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) estimado para o sistema de irrigação funcionando com o gotejador modelo Netafim Streamline e água residuária oriunda de estação de tratamento de esgoto do Glória (A2G1). Pelo observado na figura, o valor médio durante todo o período experimental estimado é de 55,23%, sendo o limite superior e inferior de controle estimado respectivamente em 80,60 % e 29,87 %. Dos 31 ensaios realizados durante todo o experimento, dois apresentaram valores que ultrapassaram os limites de controle.

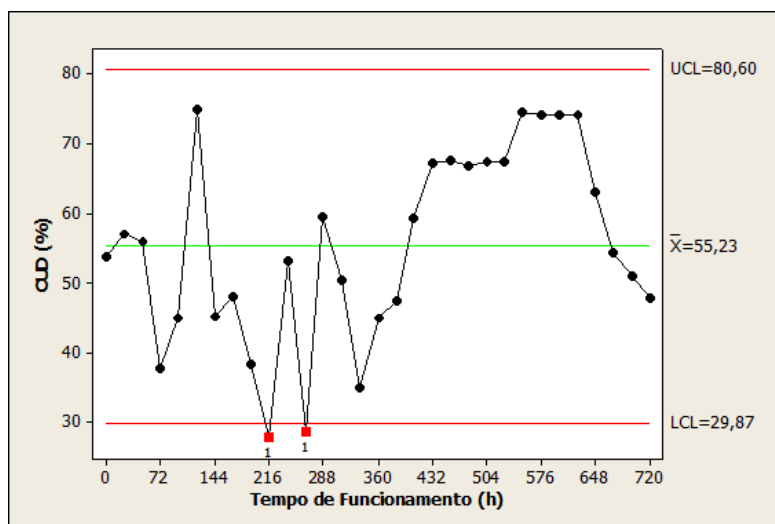


Figura 17 – Gráfico de coeficiente de uniformidade x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo Netafim Streamline e água oriunda de estação de tratamento de esgoto do Glória (A2G1).

Na figura 17, observa-se que das 408hs às 648 hs houve deslocamento de nível do processo, ressaltando segundo Montgomery (2013) é um indicio que o processo tende a

sair do controle estatístico. Observou-se que anteriormente ao intervalo em que ocorreu o deslocamento de nível, dois ensaios ultrapassaram os valores do limite inferior de controle as 216 hs e 264hs.

Para Bralts (1986), valores de CUD abaixo de 70% em sistemas de irrigação localizada por gotejamento classificam a uniformidade como ruim. Dos 31 ensaios realizados, observaram-se 12 ensaios abaixo da média de 55,23%. Um dos indicativos para estes valores de uniformidades está relacionado com a dilatação das fitas ao longo da bancada, mesmo com ações corretivas e preventivas, as fitas em alguns momentos formavam declividades as quais alteravam consideravelmente os volumes coletados a cada emissor. Sendo o coeficiente de uniformidade uma variável depende da média do menor quartil das vazões, as alterações causadas no volume de água individual coletado a cada emissor influenciam diretamente no valor do CUD.

4.3.3 Coeficiente de variação

Na figura 18 é apresentado o gráfico de controle correspondente ao coeficiente de variação (CV) estimado para o sistema de irrigação funcionando com o gotejador modelo Netafim Streamline e água residuária oriunda de estação de tratamento de esgoto do Glória (A2G1). Pelo observado na figura, o valor médio durante todo o período experimental estimado é de 21,39 %, sendo o limite superior e inferior de controle estimado respectivamente em 25,42 % e 17,36 %. Dos 31 ensaios realizados durante todo o experimento, cinco ensaios apresentaram valores que ultrapassaram os limites de controle.

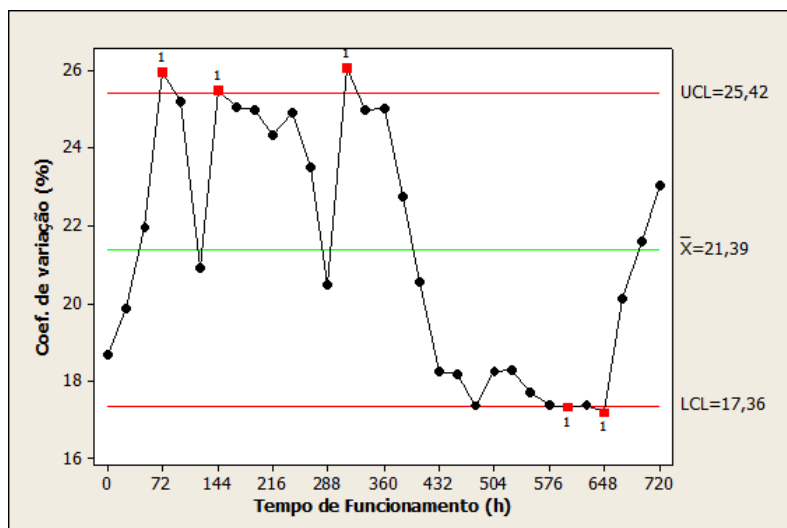


Figura 18 – Gráfico de controle coeficiente de variação x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo Netafim Streamline e água oriunda de estação de tratamento de esgoto do Glória (A2G1).

Observa-se que as 72, 144 e 312 horas de funcionamento, os ensaios correspondentes ultrapassaram ao limite superior de controle. Conforme a comparação entre os gráficos de controle CUD e a figura 18, observa-se que estes ensaios fora de controle estão relacionados aos mesmo aspectos discutidos na figura 17. O menor valor obtido para CV no sistema de irrigação em estudo foi de 17%, ficando acima da faixa recomendada pela ABNT ISO 9261 (2006). Isto pode ser justificado pelo uso de águas de qualidade inferior, as quais atuam na disfunção no desempenho dos sistemas de irrigação por gotejamento (Ferreira 2015).

4.3.4 Grau de entupimento

Na figura 19 é apresentado o gráfico de controle correspondente ao grau de entupimento (GE) estimado para o sistema de irrigação funcionando com o gotejador modelo Netafim Streamline e água residuária oriunda de estação de tratamento de esgoto do Glória (A2G1). Pelo observado na figura, o valor médio durante todo o período experimental estimado é de 38,83%, sendo o limite superior e inferior de controle estimado respectivamente em 64,41 % e 13,26 %. Dos 31 ensaios realizados durante todo o experimento, apenas um dos valores que ultrapassou os limites de controle.

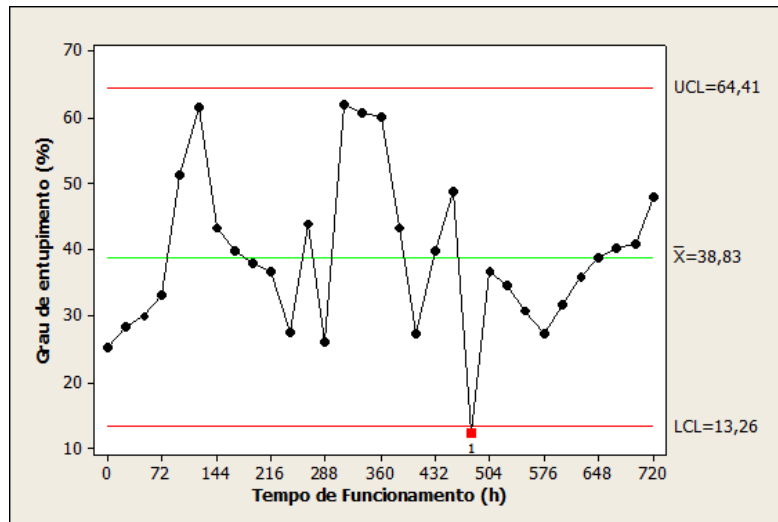


Figura 19 – Gráfico de controle grau de entupimento x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo Netafim Streamline e água oriunda de estação de tratamento de esgoto do Glória (A2G1).

Observa-se pela figura 19 um padrão cíclico no gráfico de controle, indicando que o processo se encontra fora do controle estatístico. A evolução da curva para GE foi inversa quando comparado ao gráfico da figura 16. As 480 hs o grau de entupimento obteve valor fora do limite inferior de controle de 13,26%. Segundo Montgomery (2013) este tipo de comportamento pode ser indicativo de mudanças sistemáticas ambientais ou de natureza operacional. Durante o experimento, foram necessários revezamentos entre os operadores, principalmente nos momentos de coleta e leitura de volumes nos ensaios por se tratar de uma amostragem de um número considerável de repetições. Este fato pode ter sido ainda a origem do valor abaixo do limite inferior de controle estimado para o ensaio das 480 horas. A partir das 576 horas observa-se o princípio de uma tendência ao aumento gradual de GE, o que caracteriza que a partir deste momento as alterações no GE são devidas a deterioração dos emissores pela ação da água residuária oriunda de ETE. Como era de se esperar, os valores de GE para o emissor G1 foram influenciados pela origem dos efluentes. Para o sistema funcionando com A1, o limite superior de controle para GE foi de aproximadamente 37%, enquanto que para sistema com A2 o valor foi de 64%.

4.4 Aplicação do controle estatístico para o sistema de irrigação operando com água oriunda de Estação de tratamento de esgoto do Glória e o gotejador modelo NaanDanJain TalDrip (A2G2)

4.4.1 Vazão média

Na figura 20 é apresentado o gráfico de controle correspondente a vazão média (Q) estimada para o sistema de irrigação funcionando com o gotejador modelo NaanDanJain TalDrip e água residuária oriunda de estação de tratamento de esgoto do Glória (A2G2). Pelo observado na figura, a média de vazão do sistema durante todo o ensaio foi de 1,44 L/h, sendo o limite superior e inferior de controle estimado respectivamente em 1,81 L/h e 1,08 L/h. Todos os valores de vazão estimados ficaram abaixo do valor estimado pelo fabricante, que seria de 1,7 L/h para o material em estado de novo, com exceção da vazão estimado no ensaio correspondente as 480 horas de funcionamento, que alcançou o valor de 1,94 L/h.

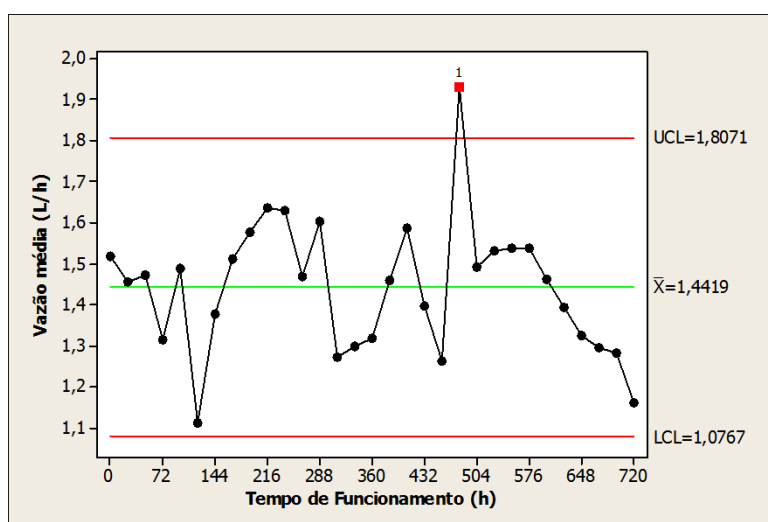


Figura 20 – Gráfico de controle vazão média x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo NaanDanJain TalDrip e água oriunda de estação de tratamento de esgoto do Glória (A2G2).

Pela figura 20, houve o padrão cíclico da vazão média desde o ensaio inicial até as 576 horas. Nota-se também que uma possível tendência é gerada a partir das 576 hs, este tipo de descontrole provável indicando o desgaste e consequente perda de desempenho dos emissores, diferentemente do comportamento cíclico anterior que resulta de características ambientais e operacionais já citadas anteriormente. Provavelmente estas

mesmas influências do ambiente, a sensibilidade do material e dos operadores do sistema de irrigação contribuíram para que no ensaio das 480 hs o valor de vazão ultrapassasse o limite superior de controle de 1,81 L/h. Ressalta-se que mesmo funcionando em modo semiautomático, o sistema exigia frequentes ajustes pois as válvulas de controle demonstravam sensibilidade considerável a mínima variação ambiental.

Para que a tendência iniciada as 540 horas de funcionamento fosse confirmada, teríamos que obter ensaios após a 720 horas, pela amplitude limitada neste intervalo de observação. Apesar disto pelo momento em que a tendência ocorre, pode ser interpretado pela figura 20 que ação do efluente A2 no desempenho dos emissores G2 acentua-se a partir deste intervalo, sendo então indícios de comprometimento do sistema pela prospecção que a curva iria ultrapassar os limites de controle. Observado o gráfico da figura 16, ver-se comportamento semelhante do emissor G1 para A2, ainda que para G1 o processo só ocorra a partir das 576 hs.

4.4.2 Coeficiente de uniformidade de distribuição

Na figura 21 é apresentado o gráfico de controle correspondente ao coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) estimado para o sistema de irrigação funcionando com o gotejador modelo NaanDanJain TalDrip e água residuária oriunda de estação de tratamento de esgoto do Glória (A2G2). O valor médio durante todo o período experimental estimado foi de 67,53%, sendo o limite superior e inferior de controle estimado respectivamente em 83,78% e 51,28%. Dos 31 ensaios realizados durante todo o experimento, os três últimos ultrapassaram os limites de controle.

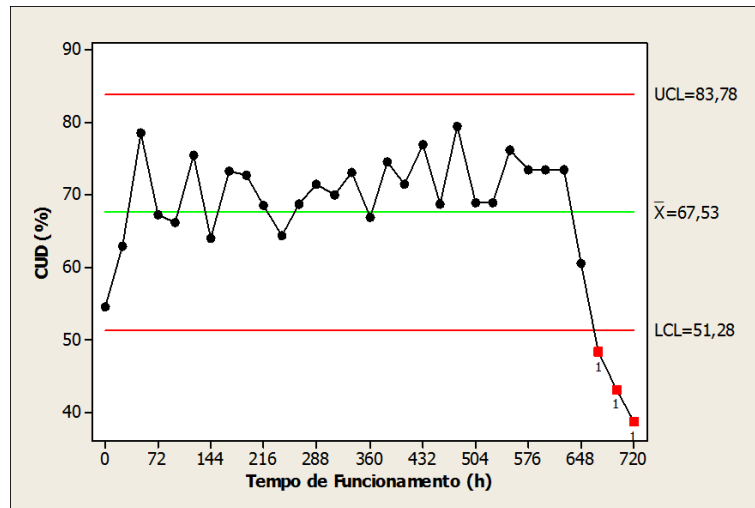


Figura 21– Gráfico de controle coeficiente de uniformidade x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo NaanDanJain TalDrip e água oriunda de estação de tratamento de esgoto do Glória (A2G2).

Pela figura 21, observa-se que a uniformidade para A2G2 com padrão cíclico para o gráfico correspondente e a partir até as 624 hs, pelo analisado posteriormente para outras variáveis, este comportamento causado pela influência das variações ambientais ou de natureza operacional. Após as 624 hs então, a uniformidade do sistema decresce consideravelmente até que as 672 hs o CUD ultrapassa o limite inferior de controle, demonstrando que a partir das 624 horas de funcionamento os impactos na uniformidade da irrigação gerados pelo uso de água residuária comprometem o sistema de maneira significativa. Vale salientar que os impactos pelo uso de água de qualidade inferior podem ser observados também ao longo do processo, quando comparamos os CUD da figura 21 ao da figura 13. Os valores médios e os limites de controle de CUD para o mesmo modelo de emissor são influenciados pela diferença de efluentes, sendo que G1 como era previsto apresentou os melhores valores quando utilizando A1.

4.4.3 Coeficiente de variação

Na figura 22 é apresentado o gráfico de controle correspondente ao coeficiente de variação (CV) estimado para o sistema de irrigação funcionando com o gotejador modelo NaanDanJain TalDrip e água residuária oriunda de estação de tratamento de esgoto do Glória (A2G2). Pelo observado, o valor médio durante todo o período experimental estimado é de 18,25 %, sendo o limite superior e inferior de controle estimado

respectivamente em 25,94 % e 10,56 %. Dos 31 ensaios realizados durante todo o experimento, seis ensaios apresentaram valores que ultrapassaram os limites de controle.

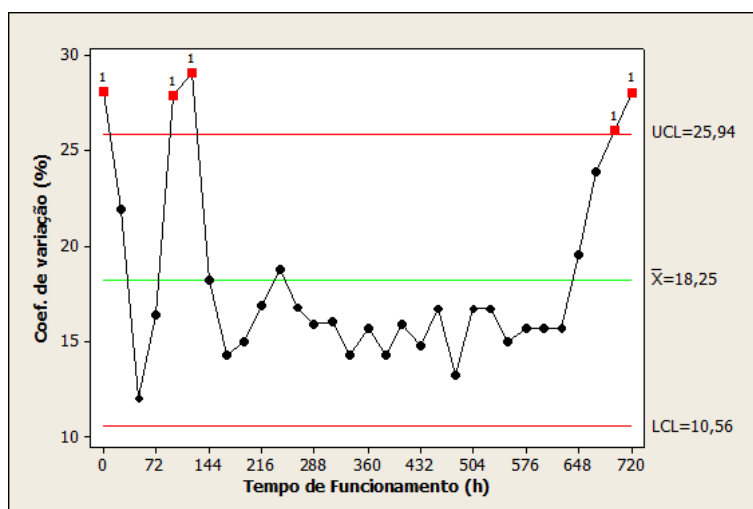


Figura 22– Gráfico de controle coeficiente de variação x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo NaanDanJain TalDrip e água oriunda de estação de tratamento de esgoto do Glória (A2G2).

Um padrão cíclico pode ser observado até as 240 hs de funcionamento do sistema, sendo inclusive neste intervalo de tempo observados três ensaios em que ocorreram CV acima do limite superior de controle: 0, 96 e 120 hs. Pelo comportamento de CV neste período, há indícios de variações causadas aos fatores ambientais e operacionais. As 240 horas o sistema demonstra um deslocamento de nível que se estende até as 624 hs. Como explica Montgomery (2013), o deslocamento de nível está relacionado diretamente ao aperfeiçoamento nas habilidades e métodos dos operadores. Podendo então se considerada a interferência do operador como resultado nas variações da curva apresentada na figura 22, as variações iniciais justificadas pela fase de adequação a metodologia de trabalho.

A partir das 624 hs inicia-se a tendência ao comprometimento do sistema, o valor de CV aumenta consideravelmente até que as 696 hs de funcionamento, o valor de CV estimado ultrapassa o limite de controle superior de 25,94%. Ficando evidente que apesar da influência gradativa, a utilização da água A2 provoca efeitos significantes a partir das 624 horas de funcionamento. Este fato é similar ao comportamento ocorrido para o mesmo período quando analisado o sistema de irrigação A1G2 para a variável CV na figura 14.

4.4.4 Grau de entupimento

Na figura 23 é apresentado o gráfico de controle correspondente ao grau de entupimento (GE) estimado para o sistema de irrigação funcionando com o gotejador modelo NaanDanJain TalDrip e água residuária oriunda de estação de tratamento de esgoto do Glória (A2G2). O valor médio durante todo o período experimental estimado é de 32,83%, sendo o limite superior e inferior de controle estimado respectivamente em 54,31% e 11,35%. Dos 31 ensaios realizados durante todo o experimento, apenas um valor ultrapassou os limites de controle.

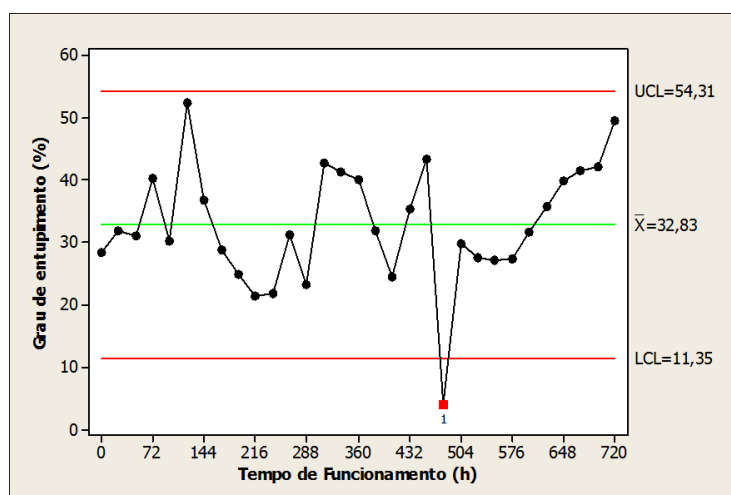


Figura 23– Gráfico de controle grau de entupimento x tempo de funcionamento para o sistema de irrigação com gotejador modelo NaanDanJain TalDrip e água oriunda de estação de tratamento de esgoto do Glória (A2G2).

Na figura 23, observa-se um comportamento não aleatório, até as 576 horas o comportamento do gráfico demonstra um padrão cíclico, inclusive às 480 hs de funcionamento o valor estimado de GE cai para 3,7 %, valor abaixo do limite de controle inferior de 11,35 %. As atribuições ao valor baixo para GE neste ensaio têm influência do efluente utilizado atuando no desempenho do sistema, mas também por características específicas ao ensaio realizado, como demonstrado anteriormente, os sistemas de irrigação estudados eram consideravelmente sensíveis as condições locais durante a condução do experimento.

A partir do ensaio realizado as 576 hs, nota-se a tendência ao aumento no valor de GE, o ensaio final de 720 horas o valor de GE foi de 49,41%. Neste período fica

evidenciado que a água residuária contribui na aceleração do entupimento do sistema de irrigação, com a perspectiva de que os valores de GE direcionam ao alcance de valores acima do limite de 54,31%.

5. CONCLUSÕES

Com a aplicação do controle estatístico de qualidade foi possível a investigação do funcionamento do sistema de irrigação abastecido por água de reuso.

Os dois modelos distintos de emissores funcionaram durante grande parte do período de estudo dentro dos limites de controle. Os fatores ambientais e operacionais durante todo o experimento contribuíram significativamente nas variações observadas nos gráficos de controle.

O uso dos indicadores de desempenho vazão média, coeficiente de uniformidade, coeficiente de variação e grau de entupimento para o estudo se mostraram eficientes quando trabalhando em conjunto principalmente para os ensaios que saíram dos limites de controle.

Os modelos de gotejadores submetidos a água residuária obtiveram comportamentos similares, com perdas significativas de desempenho nos períodos finais do estudo. A partir das 576 horas de funcionamento ocorreu a perda significativa de desempenho e os índices avaliados não apresentaram mais influência expressiva pelos fatores ambientais, mas sim pela própria qualidade da água de reuso utilizada nos sistemas de irrigação.

Comparados os dois tipos de água na operação do sistema de irrigação por gotejamento do estudo, observa-se a viabilidade do uso da água residuária devido a mínima diferença do desempenho entre os sistemas, quando evidenciado o tempo de vida útil. O sistema abastecido por água oriunda de cisterna obteve desempenho considerável até aproximadamente as 648 horas de funcionamento, enquanto que para os sistemas abastecidos com a água residuária, o desempenho se deu em torno das 576 horas.

A ferramenta do controle estatístico de qualidade se mostrou viável e imprescindível para o avaliador na tomada de decisões rápidas e objetivas no processo como um todo, possibilitando a o uso eficiente dos sistemas de irrigação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AESA, Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **RESOLUÇÃO Nº. 54, DE 28 DE NOVEMBRO DE 2005.** Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2016/11/resolucao_06.pdf. Acesso em: 15 fev. 2017.
- ALBUQUERQUE, P. E. P. Manejo da irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 31, n. 259, p. 17-24, 2010.
- AHMED, B. A. O.; YAMAMOTO, T.; FUJIYAMA, H.; MIYAMOTO, K. Assessment of emitter discharge in microirrigation system as affected by polluted water. **Irrigation Drainage System**, v. 21, p. 97-107, 2007.
- AIROLDI, R. P. S. **Eficiência dos meios filtrantes disco e manta sintética não tecida em fertirrigação por gotejamento.** Campinas, 2003. 189p. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.
- AMORIM, Julio de RA; CRUZ, Marcus AS; RESENDE, Ronaldo S. Qualidade da água subterrânea para irrigação na bacia hidrográfica do Rio Piauí, em Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 14, n. 8, 2010.
- ANA, Agência Nacional de Águas. **Encarte especial sobre a crise hídrica. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil - Informe 2014.** [S.l.]: Ministério do Meio Ambiente, 2015. p. 1–30. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/docs/crisehidrica.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2017.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A Qualidade da Água na Agricultura.** Tradução: H. Gheyi e J.F. de Medeiros. Campina Grande, PB. (Tradução de: Water Quality for Agriculture) FAO, Rome. 1999.
- ANDRADE, C. L. T.; BORGES JÚNIOR, J. C. F. B. Seleção do método de irrigação. In: ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo da irrigação.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 317-400.
- AZEVEDO, H. M. Irrigação localizada. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 139, p. 40-53, jul. 1986.
- BERNARDO, M. M. P.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 7. ed. Viçosa: UFV, 2005. 711 p.
- BERTONCINI, E. I. Tratamento de Efluentes e Reúso da Água no Meio Agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária.** São Paulo, v.1, n.1, p.152-169, 2008.
- BORGES, R. C.; FERREIRA, E. B.; OLIVEIRA, M. S. Estudo do padrão de não-aleatoriedade seqüência no controle estatístico do processo. **Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2.P. 31-35, 2008.
- BOSCO, T. C. D. **Poluição difusa decorrente da aplicação de água residuária da suinocultura em solo cultivado com soja sob condições de chuva simulada UEOP.** Dissertação (Mestrado). Cascavel: UNIOESTE, 2007. 128p.

- BRALTS, V.F. Field performance and evaluation. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. (Ed.) **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1986. p.216-240. (Development in Agricultural Engineering, 9)
- BRALTS, V.F.; KESNER, C.D. Drip irrigation field uniformity estimation. **Transactions of the ASAE**, v.26, p.1369-1374, 1983
- BRANDAO, L. P.; MOTA, S.; MAIA, L. F. Perspectivas do Uso de Efluentes de Lagoas de Estabilização em Irrigação. In: VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002, Vitória, ES. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2002.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. **Agricultural water management**, v. 68, p. 135-149, 2004.
- COSTA, A. F. B.; EPPRESCHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle estatístico de qualidade**. São Paulo: Atlas, 2004.
- COSTA, É. T. et al. Métodos e sistemas de irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 31, n. 259, p. 7-16, 2010a.
- CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkely: University of California, Experiment Station, 1942. 124 p.
- DENÍCULI, W.; BERNARDO, S.; THIÉBAUT, J. T. L.; SEDIYAMA, G. C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v. 27, n. 150, p 155-162, 1980.
- DUARTE, A. de S. **Reuso de água residuária tratada na irrigação da cultura do pimentão (*Capsicum annun L.*)**. 2006, 187 p. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ. Piracicaba, 2006.
- FARAZ, A.; CHALAKI, K.; MOGHADAM, M. B.. On the properties of the hotelling's T2 control chart with variable sampling intervals. **Quality and Quantity**, v. 24, p. 579-586, 2011.
- FAO. **Wastewater treatment and use in agriculture**. Roma, 1992. 125 p. (Irrigation and Drainage, Paper 47)
- FERNANDES, A. L. T; PARTELLI, F. L; BONOMO, R; GOLYNSKI, A. A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.42, n.2, p.231-240, 2012.
- GRIS, D. J.; HERMES, E.; BOAS, MA Vilas. Aplicação de água residuária de processamento de mandioca em sistema de irrigação por gotejamento. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 11, p. 1-9, 2013.
- GUIDOLIN, J. C. **Reúso de Efluentes**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, Ministério do Meio Ambiente, 2000.
- HARUVY, N. Wastewater reuse – regional and economic considerations. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v.23, p.57-66, 1998.
- HERNÁNDEZ, R. H. **Controle estatístico de processo aplicado na uniformidade da irrigação e fertirrigação por gotejamento**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, 2010. Cascavel: Paraná, 2010.

HESPANHOL, I. **Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos.** In: Mancuso, C. S. A.; Santos, H. F. (Editores). Reúso de água. Barueri, SP: Manole. p. 37-95, 2003.

JUSTI, André L.; VILAS BOAS, Marcio A.; SAMPAIO, Silvio C. Índice de capacidade do processo na avaliação da irrigação por aspersão. **Engenharia Agrícola**, p. 264-270, 2010.

KELLER, J. e KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. Transactions of the ASAE, **St. Joseph**, v.17, n.4, p.678-84, 1974.

JUSTI, André L.; VILAS BOAS, Marcio A.; SAMPAIO, Silvio C. Índice de capacidade do processo na avaliação da irrigação por aspersão. **Engenharia Agrícola**, p. 264-270, 2010.

LAMM, F. R.; CAMP, C. R. **Subsurface drip irrigation.** In: Microirrigation for crop production. Elsevier B. V. 2007. 642 p.

LÉON, G. S.; CAVALLINI, J. M., **Tratamento e uso de água residuária.** Tradução de H.R. Gheyi, A. Konig, B.S.O. Ceballos, F.A.V. Damasceno, UFCB, Campina Grande-PB, 1999.

LI, Y. K.; LIU, Y. Z.; LI, G. B.; XU, T. W.; LIU, H. S.; REN, S. M.; YAN, D. Z.; YANG, P. L. Surface topographic characteristics of suspended particulates in reclaimed wastewater and effects on clogging in labyrinth drip irrigation emitters. **Irrigation Science**, 2011.

LIMA, M. M. **Desempenho de diferentes tipos de mantas sintéticas não tecidas na filtração da água para irrigação localizada.** 1999. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de Água.** São Paulo: Editora Manole, 2003. 576p.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos.** 2. ed., atual e ampliado. Viçosa, MG: UFV, 2009. p. 355.

MARCIANO, C. R.; MORAES, S. O.; OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Efeito do lodo de esgoto e do composto de lixo urbano sobre a condutividade hidráulica de um Latossolo Amarelo saturado e não saturado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p.1-9, 2001.

MICHEL, R.; FOGLIATTO, F. S. Projeto econômico de cartas adaptativas para monitoramento de processos. **Revista Gestão & Produção**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 17-31, 2002.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade.** Tradução: Farias, A. M. L., Flores, V. R. L. F., Laurencel, L. C. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2004.

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

MORATA, G. T.; DANTAS, G. F.; DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F.; FARIA, R. T.; SANTOS, G. O. Entupimento de gotejadores com uso de efluente de esgoto sob dois

sistemas de filtragem. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.8, n. 2, p. 86 - 97, 2014.

PITTS, D.J. ; HAMAN, D.Z. ; SMAJSTRLA, A.G. **Causes and prevention of emitter plugging in microirrigation systems**. Gainesville: Florida Cooperative Extension Service. University of Florida. 1990. 12p. Bulletin 258

SOCOL, O. J.; ULMANN, M. N.; FRIZZONE, J. A. Performance analysis of a trickle irrigation subunit installed in an apple orchard. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 45, n. 4, p. 525–530, 2002.

SOUZA, L. M.; JÚNIOR, J. I. R.; REIS, G. M.; IDE, M. S. Eficiência dos gráficos de controle xbarra, ewma e cusum. **Eletrônica & Engenharia**, Viçosa, v. 1, n. 1, p. 81-94, 2008.

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 qualidade de água. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.2, p.279-287, mar./abr. 2010.

ROCHA, E. M. M. et al. Uniformidade de distribuição de água por aspersão convencional na superfície e no perfil do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, v. 3, n. 2, p. 154-160, 1999.

VAN DER HOEK, W.; HASSAN, U. M.; ENSINK, J. H. J.; FEENSTRA, S.; RASCHID-SALLY, L.; MUNIR, S.; ASLAM, R.; ALIM, N.; HUSSAIN, R.; MATSUNO, Y. Urban wastewater: a valuable resource for agriculture. A case study from Horoonabad, Pakistan. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute, 2002. 29 p. (Research Report, 63

VERAS, C. M. dos A. **Apostila Gestão de Qualidade - IFMA**. São Luiz, Maranhão. 2009.

VIEIRA, Gustavo HS et al. Recuperação de gotejadores obstruídos devido à utiliz vido à utiliz vido à utilização de águas ferruginosas ação de águas ferruginosas1. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 1-6, 2004.

VON SPERLING, M, **Noções de qualidade de água**, In: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p, 187, 1996.

WERKEMA, M. C. C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: WerkemaEditora, 2006.

WHO. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. **Technical report series 778**. Geneva: World Health Organization. 1989.