

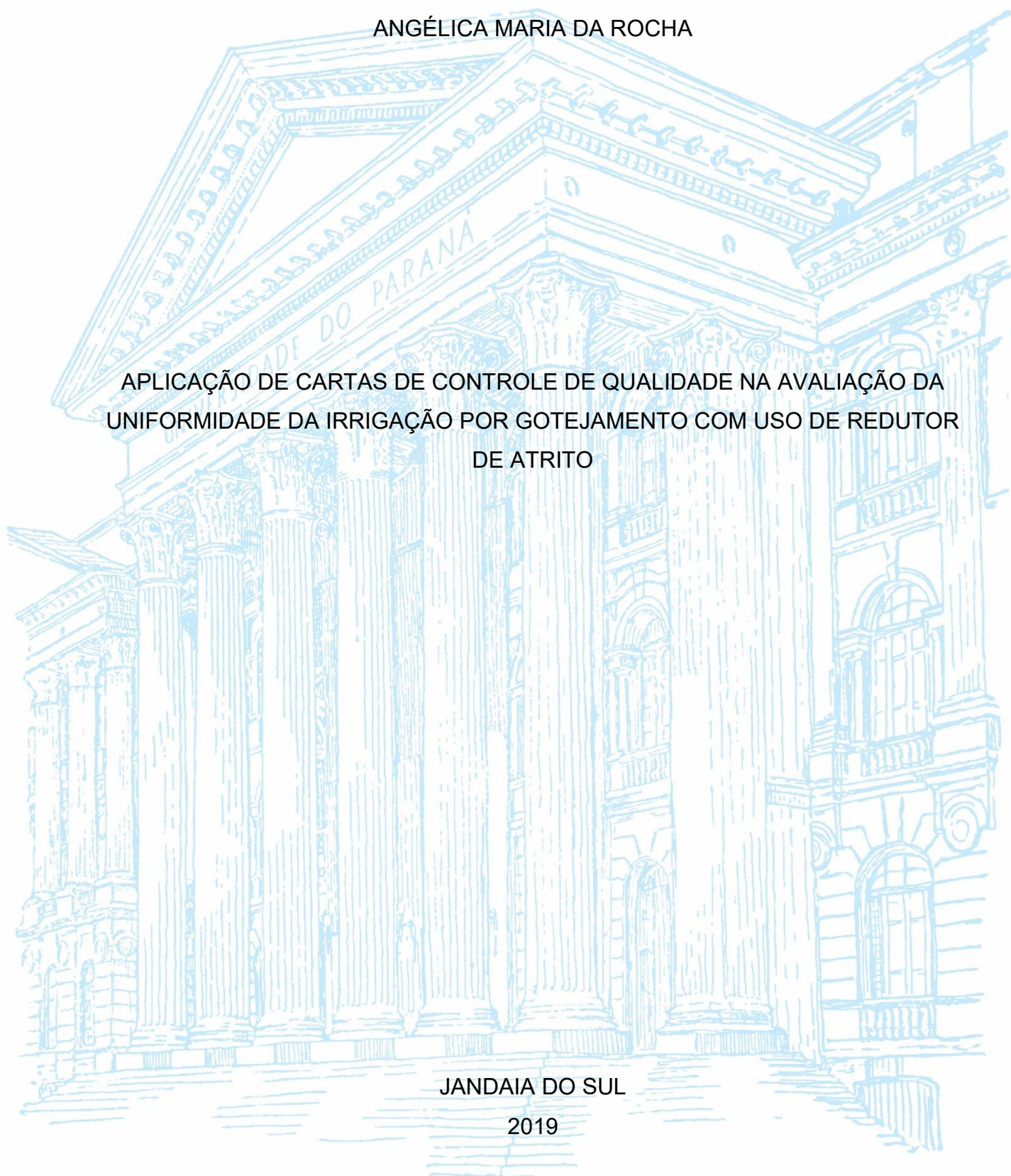
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANGÉLICA MARIA DA ROCHA

APLICAÇÃO DE CARTAS DE CONTROLE DE QUALIDADE NA AVALIAÇÃO DA
UNIFORMIDADE DA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO COM USO DE REDUTOR
DE ATRITO

JANDAIA DO SUL

2019



ANGÉLICA MARIA DA ROCHA

APLICAÇÃO DE CARTAS DE CONTROLE DE QUALIDADE NA AVALIAÇÃO DA
UNIFORMIDADE DA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO COM USO DE REDUTOR
DE ATRITO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Agrícola, Campus de Jandaia do Sul, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Justi

JANDAIA DO SUL

2019

R672a Rocha, Angélica Maria da
Aplicação de cartas de controle de qualidade na avaliação da
uniformidade da irrigação por gotejamento com uso de redutor de atrito. /
Angélica Maria da Rocha. – Jandaia do Sul, 2019.
43 f.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Justi
Trabalho de Conclusão do Curso (graduação) – Universidade Federal do
Paraná. Campus Jandaia do Sul. Graduação em Engenharia Agrícola.

1. Uniformidade de irrigação. 2. Sistemas de irrigação. 3. Perda de
carga. I. Justi, André Luiz. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

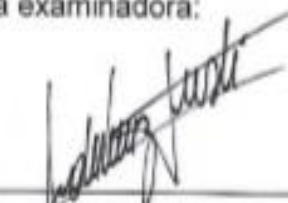
CDD: 631

TERMO DE APROVAÇÃO

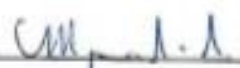
ANGÉLICA MARIA DA ROCHA

APLICAÇÃO DE CARTAS DE CONTROLE DE QUALIDADE NA AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO COM USO DE REDUTOR DE ATRITO

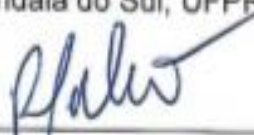
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Agrícola, Campus de Jandaia do Sul, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel Engenheira Agrícola pela seguinte banca examinadora:



Prof. Dr. André Luiz Justi
Orientador(a) – Campus Jandaia do Sul, UFPR



Prof. Dr. Maycon Diego Ribeiro
Campus de Jandaia do Sul, UFPR



Prof. Dr. Rafael Germano Dal Molin Filho
Campus de Jandaia do Sul, UFPR

Jandaia do Sul, 10 de Dezembro de 2019.

Dedico este trabalho aos meus pais João e Cleide, pilares em minha vida durante todo esse trajeto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e aos meus pais pelo amor, carinho e apoio durante toda a vida, agradeço ao meu orientador Dr. André Luiz Justi por todos os ensinamentos ao longo do trabalho, compreensão e paciência. Agradeço aos meus colegas de pesquisa por toda ajuda e apoio durante as pesquisas. Aos meus amigos que me acompanharam durante esses 5 anos, agradeço pela amizade, incentivo, e animo durante este tempo, em especial a Renata, Douglas, Matheus e Daiane. Douglas e Daiane agradeço aos conselhos que me fizeram crescer ao longo desse tempo, e por sempre me incentivarem a ser uma pessoa melhor e mais dedicada. Agradeço aos todos amigos que contribuíram e que caminharam comigo durante estes 5 anos.

“SÓ SE PODE ALCANÇAR UM GRANDE ÊXITO QUANDO NOS MANTEMOS
FIÉIS A NÓS MESMOS” **(FRIEDRICH NIETZSCHE)**

RESUMO

A irrigação é uma técnica que visa fornecer a quantidade ideal de água as plantas de forma a suprir suas necessidades. Dentre os diversos sistemas de irrigação a irrigação por gotejamento se destaca devido a sua economia de água, já que é uma técnica que aplica a água diretamente na raiz da planta em pequenas quantidades com alta uniformidade, porém possui algumas desvantagens como o fácil entupimento e a perda de carga do sistema, que acaba comprometendo a sua uniformidade desempenho. Essa perda de carga pode ser reduzida adicionando à água uma pequena quantidade de redutor de atrito, melhorando sua uniformidade devido à redução de atrito da água com a parede do tubo, fazendo com que água não perca sua pressão, e se distribua de forma mais uniforme por todo sistema. Para analisar o efeito do redutor de atrito na uniformidade é possível utilizar Cartas De Controle de Qualidade (CCQ) de ShewHart. O objetivo deste trabalho foi avaliar a uniformidade da irrigação através das CCQ, e o efeito do redutor de atrito na uniformidade do sistema. O trabalho foi realizado na área experimental que pertence Universidade Federal do Paraná, Campus Avançado em Jandaia do Sul, localizado na estrada da amizade KM 02, no município de Jandaia do Sul-PR, onde foi montada a bancada na qual foram realizados 50 ensaios para cada condição, com e sem o redutor de atrito. Para cada ensaio foi calculado os coeficientes de uniformidade sendo eles Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE), e construídas as cartas de controle de qualidade para cada coeficiente. Através da análise das cartas de controle foi investigado o que causava a variação na uniformidade da irrigação, como entupimento devido a agentes externos, e também notar o efeito do redutor de atrito na variação da uniformidade e na sua elevação, sendo notável essa elevação através dos coeficientes de uniformidade CUC, CUD e CUE. Ao se utilizar o redutor atrito notou se uma elevação significativa na uniformidade, como exemplo se tem o aumento médio do CUC de 88,79% sem redutor, para 91,40 % com redutor de atrito e uma diminuição em sua variação comprovando que sua utilização pode favorecer de forma positiva a uniformidade da irrigação.

Palavras-chave: Uniformidade de irrigação. Sistemas de irrigação. Perda de carga.

ABSTRACT

Irrigation is a technique that aims to provide the ideal amount of water to plants to meet their needs. Among the various irrigation systems drip irrigation stands out due to its water saving, as it is a technique that applies water directly to the root of the plant in small quantities with high uniformity, but has some disadvantages such as easy clogging and system load loss, which ends up compromising its performance uniformity. This pressure drop can be reduced by adding a small amount of friction reducer to the water, improving its uniformity due to the reduced friction of water with the pipe wall, causing water to not lose its pressure, and to distribute more evenly throughout the system. To analyze the effect of friction reducer on uniformity it is possible to use Shewhart Quality Control Charts (QCC). The objective of this work was to evaluate the uniformity of irrigation through the QCC and the effect of the friction reducer on the uniformity of the system. The work was carried out in the experimental area of the Federal University of Paraná, Advanced Campus in Jandaia do Sul, located on the Friendship Road KM 02, in the municipality of Jandaia do Sul-PR, where was set up the bench where 50 tests were performed. Each condition, with and without the friction reducer. For each test, the uniformity coefficients were calculated as Christiansen Uniformity Coefficient (CUC), Distribution Uniformity Coefficient (CUD) and Statistical Uniformity Coefficient (CUE), and the quality control charts were constructed for each coefficient. Through the analysis of the control charts, it was investigated what caused the variation in irrigation uniformity, such as clogging due to external agents, and also noted the effect of the friction reducer on the uniformity variation and its elevation. Uniformity coefficients CUC, CUD and CUE. When using the friction reducer, a significant increase in uniformity was noted, as an example of the average CUC increase from 88.79% without reducer, to 91.40% with friction reducer and a decrease in its variation, proving that its use can positively favor irrigation uniformity.

Keywords: Irrigation uniformity. Irrigation systems. Head loss.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ENTUPIMENTOS NA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO: físico (esquerda), químico (centro) e biológico (direita).....	15
FIGURA 2 – EXEMPLO CARTA DE CONTROLE DE QUALIDADE	21
FIGURA 3 - LAYOUT DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO.....	24
FIGURA 4 - BANCADA EXPERIMENTAL E MOTOBOMBA.....	25
FIGURA 5 – MANÔMETRO E REGISTRO DE ESFERA.....	25
FIGURA 6 – CARTA DE CONTROLE DE QUALIDADE PARA O CUC SEM REDUTOR DE ATRITO	30
FIGURA 7 – CARTA DE CONTROLE DE QUALIDADE PARA O CUD SEM REDUTOR DE ATRITO	31
FIGURA 8 – CARTA DE CONTROLE DE QUALIDADE PARA O CUE SEM REDUTOR DE ATRITO	31
FIGURA 9 - FILTRO APÓS A VERIFICAÇÃO DO ENTUPIMENTO.....	32
FIGURA 10 – CARTA DE CONTROLE DE QUALIDADE PARA O CUC COM REDUTOR DE ATRITO	33
FIGURA 11 – CARTA DE CONTROLE DE QUALIDADE PARA O CUD COM REDUTOR DE ATRITO	34
FIGURA 12 – CARTA DE CONTROLE DE QUALIDADE PARA O CUE COM REDUTOR DE ATRITO	34

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DOS COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE CUC, CUD E CUE	27
TABELA 2 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE CUC, CUD E CUE SEM REDUTOR DE ATRITO..	28
TABELA 3 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE CUC, CUD E CUE COM REDUTOR DE ATRITO .	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA.....	12
1.2	OBJETIVOS	12
1.2.1	Objetivo geral	12
1.2.2	Objetivos específicos.....	12
1.3	METODOLOGIA.....	13
1.4	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO.....	13
1.5	APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	13
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1	SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO	14
2.1.1	SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA	14
2.1.2	AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO.....	15
2.1.2.1	MÉTODOS DE COLETA DE DADOS.....	16
2.1.2.2	Uniformidade de distribuição e Coeficientes de Uniformidade	17
2.2	REDUÇÃO DO ATRITO HIDRODINÂMICO.....	18
2.3	CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE.....	19
2.3.1	Controle estatístico univariado	20
2.3.2	Gráfico de controle de Shewhart.....	20
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1	COLETA DE DADOS E INSTRUMENTAÇÃO.....	23
3.2	ANÁLISE DOS DADOS.....	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
4.2	GRÁFICOS DE CONTROLE.....	30
5	CONCLUSÃO.....	36
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	36
	REFERÊNCIAS	37
	APÊNDICE 1 – COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE CUC, CUD E CUE	
	SEM REDUTOR DE ATRITO.....	40
	APÊNDICE 2 – COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE CUC, CUD E CUE	
	COM REDUTOR DE ATRITO	41

1 INTRODUÇÃO

A utilização da irrigação vem acontecendo desde a pré-história, sendo que através desta técnica foi possível que as civilizações se estabelecessem em zonas áridas e semiáridas, a irrigação pode ser definida como uma prática que visa fornecer água para as plantas de forma artificial de modo a satisfazer suas necessidades hídricas tendo em vista uma melhor produção (TESTEZLAF, 2017).

Dentre os diversos sistemas de irrigação existentes o sistema por gotejamento ganhou destaque devido a economia de água e energia e sua possibilidade de automação e fertirrigação. No entanto existem alguns problemas neste tipo de sistema, como o entupimento dos emissores que compromete a uniformidade da irrigação (SILVA *et al.*, 2012). Outro problema que atinge a vazão dos emissores da linha lateral é a perda de carga total do sistema e o desnível do próprio terreno, ou seja, a perda de carga é um problema que afeta vigorosamente a pressão dos gotejadores e decorrente disso afeta diretamente a vazão quando não são utilizados gotejadores autocompensantes (NETO *et al.*, 2009).

Essa perda de carga pode, no entanto, ser reduzida utilizando agentes/produtos que atuam na redução do atrito da água com a parede do tubo.

Para Bizotto e Sabadini (2006) esta redução de atrito ocorre quando pequenas quantidades de polímero com elevada massa molecular é adicionada num solvente que flui em um regime turbulento. Sendo assim, uma pequena quantidade de polímero tem impacto direto na redução da perda de carga nos tubos de irrigação influenciando sua vazão e uniformidade.

Para verificar a influência do polímero no sistema é necessário realizar a verificação da sua uniformidade e qualidade da irrigação, um dos meios de verificar a qualidade deste sistema é utilizando gráficos de controle de qualidade, que faz uso de estatísticas para realizar o controle de qualidade de determinados processos como a irrigação.

Com base nisso o presente trabalho objetivou avaliar a qualidade da irrigação, com e sem o uso de redutor atrito com base nos coeficientes de uniformidade, por meio dos gráficos de Controle de Shewhart e analisar o comportamento temporal da irrigação através dos gráficos de controle de Shewhart.

1.1 JUSTIFICATIVA

O atrito interno entre tubo e líquido é um dos principais aspectos que afetam um escoamento, que é causado pela rugosidade interna do tubo em que o fluido mantém contato, acarretando perda de carga, ou dissipação da energia de escoamento (JUSTI, 2012).

Como sistemas de irrigação localizada, em específico os sistemas por gotejamento, que dada sua característica de funcionamento e tecnologia possuem elevada uniformidade, esse trabalho possibilita analisar qual o impacto de reduzir o atrito interno nos coeficientes de uniformidade, visto que a redução de custos pode ser um elemento impulsionador para sua aplicação em larga escala.

Dentro da tecnologia de irrigação, o sistema funciona em ciclos, ou seja, em períodos de irrigação e este é um parâmetro para a aplicação das Cartas de Controle de Qualidade de ShewHart, para verificar e analisar o comportamento temporal (cada ciclo de irrigação), possibilitando assim que sejam detectados pontos (irrigações) que estejam fora de controle.

Todas essas técnicas aplicadas juntas são elementos que podem permitir incrementos nas irrigações, porém são necessários estudos da viabilidade de sua aplicação.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a qualidade da irrigação com e sem o uso do redutor de atrito com base nos coeficientes de uniformidade.

1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a influência do redutor de atrito na uniformidade da irrigação;
- Utilizar coeficientes de uniformidade, para a comparação na qualidade da irrigação;
- Utilizar gráficos de controle de ShewHart para análise da qualidade da irrigação.

1.3 METODOLOGIA

Para a realização dos ensaios foi montada uma bancada experimental, na área experimental pertencente a Universidade Federal do Paraná, Campus Avançado de Jandaia do Sul, situado na estrada da amizade km 02. A metodologia para a coleta de dados foi a de Keller e Karmeli (1975), onde foi coletada a vazão de 16 emissores sendo selecionados 4 gotejadores em cada linha: o primeiro emissor, o segundo que está situado a $1/3$ do comprimento da linha, o segundo situado a $2/3$ e o último gotejador, essa vazão foi coletada após o sistema funcionar por 4 minutos, sendo realizado 50 repetições sem o redutor de atrito e 50 com o redutor de atrito. Após feita a coleta dos dados, foi realizado o cálculo dos coeficientes de uniformidade de Christiansen, Coeficiente de Uniformidade Distribuição e o Coeficiente Estatístico de Uniformidade. Os gráficos de controle e estatística descritiva foi realizado através do software Minitab versão 16.

1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho delimitou-se a analisar a uniformidade de irrigação com e sem a adição do agente redutor de atrito, analisando a qualidade da irrigação nas duas situações através dos gráficos de controle de ShewHart. Sendo que não era objetivo de pesquisa analisar a influência do redutor de atrito no solo e no desenvolvimento da cultura.

1.5 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

No presente trabalho foram estruturados 5 capítulos, sendo no capítulo 1 apresentado uma breve introdução, justificativa do trabalho, objetivos, uma síntese da metodologia e a delimitação do trabalho. No capítulo 2, foi realizado a revisão bibliográfica, englobando todos os temas descritos neste trabalho, capítulo 3 descrições dos materiais e métodos utilizados, capítulo 4 apresentações dos resultados e discussões e capítulo 5 a conclusão do trabalho juntamente com recomendações para futuros trabalhos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Os sistemas de irrigação são conjuntos de equipamentos, acessórios, e as diferentes formas de manejar e irrigar as culturas, existem diferentes tipos de sistemas de irrigação (TESTEZLAF, 2017). Nos sistemas de irrigação por superfície a água é aplicada diretamente sobre o solo e devido a ação da gravidade ela se movimenta e ocorre a infiltração, fazendo com que esse sistema também seja denominado de irrigação por gravidade. Neste tipo de sistema a água é aplicada em grande quantidade, já em sistemas por aspersão a água é aplicada em gotas como o efeito da chuva sendo a água lançada através dos orifícios existentes nos emissores do sistema, na irrigação localizada a água é aplicada diretamente no sistema radicular da planta buscando umedecer apenas o necessário para o sistema radicular da cultura, este tipo de sistema emite uma baixa vazão quando comparado aos outros sistemas devido ao pequeno diâmetro dos seus emissores e existe também os sistemas de subsuperfície onde a água é aplicada abaixo do solo diretamente nas raízes da cultura acontecendo o deslocamento da água no solo através do fenômeno de ascensão capilar, onde a água vai de um estado de alta pressão para um de baixa pressão (TESTEZLAF, 2017).

2.1.1 Sistemas de irrigação localizada

Em métodos de irrigação localizada a água é aplicada apenas em uma parte da fração radicular das plantas onde são utilizados os microaspersores e gotejadores (ANDRADE E BRITO, 2006), ou seja, o sistema de microaspersão causa um maior “espalhamento” da água na superfície do solo, sendo assim recomendado para solos mais arenosos. Já no caso dos gotejadores a água é aplicada de forma mais precisa em apenas alguns pontos do solo, sendo mais recomendada para solos mais argilosos e também o uso da irrigação localizada permite a utilização de águas mais salinas pois aplica menos água no solo e por consequência uma menor quantidade de sal. Outra vantagem deste sistema é o fato de água não entrar em contato com as folhas da cultura evitando o espalhamento de sementes outras plantas (COELHO *et al.*, 2017).

No sistema de irrigação por gotejamento a água é aplicada em forma de gotas no sistema radicular da planta (COELHO *et al.*, 2017), este sistema também não causa o umedecimento entre uma linha de cultivo e outra sendo o método com maior eficiência no uso da água e a irrigação é realizada todos os dias garantindo a quantidade ideal das raízes. Embora seja um método que economiza água é um dos mais caros pois utiliza uma grande quantidade de tubo e emissores (PEREIRA, 2014), por esse motivo deve ser utilizado em culturas com alto retorno econômico, como café, tomate, morango, entre outros (BERNADO *et al.*, 2006).

A irrigação localizada por gotejamento apresenta ainda algumas vantagens sobre outros sistemas além de não molhar as folhas, como por exemplo, a facilidade de instalação e inspeção, limpeza e reposição, além da possibilidade de mensurar a vazão dos emissores e área molhada. No entanto apresenta algumas desvantagens como o fácil entupimento que pode ser observado na figura 1.

FIGURA 1 – ENTUPIENTOS NA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO: físico (esquerda), químico (centro) e biológico (direita).



FONTE: TESTEZLAF, 2017.

Dessa forma o sistema de gotejamento requer um excelente sistema de filtragem da água (ANDRADE E BRITO, 2006), ou seja, na busca de minimizar a ocorrência dos entupimentos o sistema de filtragem é considerado parte do próprio sistema (BERNADO *et al.*, 2006).

2.1.2 Avaliação do sistema de irrigação

A avaliação do sistema de irrigação tem como objetivo avaliar os equipamentos e quantificar o quanto eles estão sendo eficientes em aplicar água em um determinado ponto. Existem diversos meios de avaliar os sistemas de irrigação, porém os mais comuns são pela utilização de coeficientes de uniformidade, que através dos dados coletados em campo apresentam a uniformidade da irrigação (ANA

E INOVAGRI, 2016), e através da eficiência de aplicação que pode ser descrita como relação entre a água absorvida pelo solo até o sistema radicular da planta e a quantidade de água aplicada, esse índice relaciona a eficiência de distribuição e a eficiência potencial de aplicação mostrando as perdas por percolação e evaporação (ANA E INOVAGRI, 2016).

2.1.2.1 Métodos para coletas de dados

A avaliação do sistema de gotejamento consiste em coletar a vazão dos emissores em diversos pontos do sistema, para realizar a coleta dos dados em campos existem duas metodologias (ANA E INOVAGRI, 2016).

Na metodologia proposta por Keller e Karmeli (1975), são coletadas as vazões de 16 emissores e é necessário selecionar 4 linhas laterais, sendo a primeira linha, a linha que está a $1/3$ do comprimento da linha principal, a linha que está a $2/3$ da linha principal e a última linha do sistema. Em cada linha são selecionados 4 gotejadores, sendo eles o primeiro emissor, o segundo situado a $1/3$ do comprimento da linha, e o segundo situado a $2/3$ e o último gotejador. No método proposto por Deniculi *et al.* (1980, citado por PINTO *et al.*, 1991), a coleta é realizada em número maior de gotejadores, sendo o primeiro gotejador, e os situados a $1/7$, $2/7$, $3/7$, $4/7$, $5/7$ e $6/7$ do comprimento da linha lateral e o último gotejador, por 5 minutos. A coleta da água é feita com auxílio de um recipiente graduado, marcando o tempo da coleta com um cronômetro sendo que a pressão de serviço dos gotejadores deve ser aferida usando um manômetro que é essencial para determinar a variação da pressão dos emissores laterais (CALGARO E BRAGA, 2008), é importante ressaltar que a coleta da vazão se baseia em escolher aleatoriamente os pontos a serem amostrados se a seleção cair em um gotejador com vazamento ou que não esteja funcionando ele também deve ser considerado nos cálculos da uniformidade (ANA E INOVAGRI, 2016). Após a coleta dos dados é possível calcular a uniformidade através dos coeficientes de uniformidade, existem diversos coeficientes de uniformidade utilizados, no entanto 3 são mais difundidos sendo eles os índices CUC, CUD e CUE (ANA E INOVAGRI, 2016).

2.1.2.2 Uniformidade de Distribuição e Coeficientes de Uniformidade

Para Silva *et al.* (2012), um sistema bem projetado permite que se tenha uma uniformidade de ao menos 90% que é considerado um bom índice para a irrigação, mas o entupimentos dos emissores bem como outros fatores como a pressão de serviço do emissor, velocidade da água na tubulação e alinhamento da linha lateral, causam variações na uniformidade de aplicação de água. O entupimento dos emissores por agentes químicos, físicos e biológicos, afetam o desempenho hidráulico do sistema, aumentando os problemas de manutenção e consequentemente o custo do sistema reduzindo também a uniformidade de distribuição da água (TESTEZLAF, 2008).

Assim conforme afirmou Coelho *et al.* (2017), é necessário verificar a redução da vazão que entra na linha lateral e possíveis alterações na pressão de entrada. Mesmo existindo alguns modelos autocompensantes que atuam compensando variações na pressão afim de evitar possíveis entupimentos são necessários alguns cuidados, como não projetar linhas laterais muito extensas e fazer com que a pressão da água seja igualmente distribuídas entre as linhas laterais. Outro fator importante a ser considerado neste sistema é a qualidade da água, visto que águas residuárias e ou de qualidade inferior/duvidosa costumam ser aplicadas e podem causar o entupimento dos emissores, tendo neste um fator limitante no uso desse tipo de água pois é o necessário um tratamento econômica e ambientalmente viável para que a água utilizada tenha melhor qualidade possível (SILVA *et al.*, 2012).

Dentre os coeficientes de uniformidade utilizados para mensurar a uniformidade da irrigação um dos mais utilizados é o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) de 1942. Christiansen foi o primeiro pesquisador a estudar a uniformidade de distribuição em aspersores rotativos, para ele valores de CUC acima de 90% podem ser tidos como excelente (PINTO *et al.*, 1991).

Outro coeficiente largamente utilizado é o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) sendo que um baixo valor desse parâmetro indica perda excessiva de água por percolação profunda e, os valores de CUD em geral são menores que os valores de CUC (ANA E INOVAGRI, 2016). O Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE), é outro coeficiente utilizado e trabalha com o desvio padrão como medida de dispersão o qual é aceito até valores acima de 75% (ANA E INOVAGRI, 2016).

2.2 REDUÇÃO DO ATRITO HIDRODINÂMICO

Reduzir o atrito em sistemas de tubulação foi uma descoberta feita ao se observar um diferencial de pressão em um tubo quando o mesmo foi submetido à uma mesma vazão com presença de aditivos (QUEIROZ *et al.*, 2016), em 1940 quando Toms e Mysels descobriram que a adição de uma pequena quantidade de polímero com elevado peso molecular pode reduzir significativamente a queda de pressão necessária para criar uma determinada turbulência (GRAHAM, 2004).

O estudo sobre a redução de atrito vem acontecendo desde 1930, porém até 1960 era produzido sempre superfícies mais lisas e além de melhorar a geometria hidro e aerodinâmica dos corpos, surgindo assim a ideia de manipular a camada limite dos escoamentos apenas em 1970 (WILLEMSSENS, 2013).

Os tipos de redução de atrito podem ser separados em duas formas, os ativos, onde as estruturas são manipuladas por mecanismos externos sendo mais trabalhoso de se utilizar, e passivos que envolvem mudanças na superfície do material, ou alterações na reologia do fluido com a adição de polímeros (WILLEMSSENS, 2013). Segundo Queiroz *et al.* (2016), o fenômeno de redução de atrito não é aleatório quanto sua ocorrência e alcance e tem relação com o tipo de substância, concentração, peso molecular e com a condição de escoamento. O autor cita que em tubos de diâmetros menores é possível conseguir uma maior redução de atrito e, para tubos com diâmetros maiores torna-se necessária maior quantidade de aditivos.

De acordo com Bizotto *et al.* (2011), uma característica da redução de atrito com a adição de polímero, é a pequena quantidade utilizada sendo da ordem de partes por milhão onde dependendo do tipo de escoamento índices de até 80% de redução do atrito podem ser alcançados, no entanto outras variáveis pode afetar esse valor como, qualidade do solvente e temperatura. Para Williemssens (2013) apud BIZOTTO *et al.* (2011), apesar de sua elevada eficiência os polímeros degradam e perdem sua efetividade ao longo do tempo, sendo necessário mais aditivo para retornar sua eficiência ao longo do escoamento sendo este um problema bastante crítico em sistemas de recirculação de líquidos.

2.3 CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE

A procura pela melhoria na qualidade e melhoramento dela é um fator constante na indústria, a qualidade de um produto é um dos mais importantes fatores na escolha do serviço pelo cliente desse modo se a empresa deseja manter uma qualidade adequada deve investir sempre em questões de monitoramento e controle (HENNING *et al.*, 2012), a compreensão sobre os processos da atualidade vai ser sempre incompleto levando em consideração o tamanho e sua complexidade, a quantidade de números vem de inúmeras possibilidades de variáveis e medições sendo necessário a utilização de amostras assim a estatística se torna uma peça central no controle e diagnostico dos processos (SAMOHYL, 2009).

Os métodos estatísticos e a sua utilização na melhoria da qualidade já vêm acontecendo a muito tempo o desenvolvimento do conceito estatístico de gráfico de controle, por ShewHart em 1924, e é considerado como o começo formal do controle estatístico de qualidade (MONTGOMERY, 2017). Melhores níveis de qualidade nos processos e produtos são obtidos com a utilização de ferramentas da área de Controle Estatístico de Qualidade (CEQ), como os gráficos de controle, planos de amostragem e planejamento de experimentos, a principal ideia da CEQ é que processos de produção com menos variações favorecem níveis melhores de qualidade nos resultados de produção (SAMOHYL, 2009), segundo Montgomery (2017), os gráficos de controle são uma técnica de monitoramento de processo muito útil quando estão presentes fontes não usais de variabilidade, neste caso as médias de controle são marcadas fora dos limites de controle. Um típico gráfico de controle é composto por uma apresentação gráfica de uma característica de qualidade que foi medida ou calculada pelo número de amostra ou tempo, o gráfico conta com uma linha central e suas linhas horizontais que são os limites do gráfico inferior e superior existe uma relação próxima entre um gráfico de controle e um teste de hipóteses, fazendo uma comparação o gráfico de controle é um teste de hipótese de que o processo se encontre em um estado de controle estatístico, sendo assim um ponto que se encontra entre os limites de controle tem igual valor a não rejeição de hipótese de controle e fazendo a mesma analogia um ponto que se encontra fora dos limites de controle é equivalente a rejeição da hipótese de controle estatístico (MONTGOMERY, 2017).

A utilização dessa analogia é favorável de várias maneiras, no entanto existem algumas diferenças entre gráficos de controle e testes de hipóteses quando

fazemos uso de testes de hipótese frequentemente analisamos a validade das suposições ao passo que gráficos de controle são utilizados para encontrar afastamentos de um estado assumido de controle estatístico (MONTGOMERY, 2017).

2.3.1 Controle Estatístico Univariado

As justificativas que geralmente são utilizadas para explicar o uso de gráficos de controle são que os dados criados pelo processo quando estão sob controle são distribuídos normal e independentemente com média e desvio padrão desconhecido, uma das suposições mais importante relacionada ao gráfico de controle é a independência das observações em razão de que gráficos de controle comuns não atuam bem se a característica da qualidade apresentar correlação ainda que pequeno (MONTGOMERY, 2017).

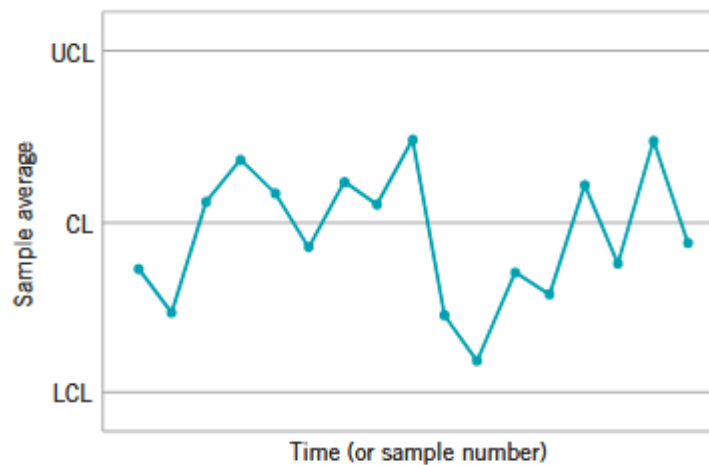
Lamentavelmente a suposição de observações não correlacionadas nem sempre é realizada, em alguns processos é possível medir analiticamente o nível de autocorrelação ela ao longo de uma sequência de observações orientadas no tempo, é mensurada pela função de autocorrelação. Segundo Montgomery (2017), uma abordagem para resolver a autocorrelação consiste em extrair amostras de fluxo de dados do processo menos regularmente, no entanto se apresenta algumas desvantagens sendo desprezados algumas informações, dessa forma é necessário a utilização de outra abordagens como abordagem através de modelos sendo utilizado modelos de séries temporais que tem se mostrado muito útil quando se trabalha como dados autocorrelacionados que consiste em modelar diretamente a estrutura correlacional com um modelo de série temporal adequada, e utilizar para retirar a autocorrelação do dados.

2.3.2 Gráficos de Controle de ShewHart

O controle estatístico do processo (CEP) se trata de um conjunto de ferramentas com grande potencial de monitoramento on-line de qualidade, através dessas ferramentas é possível obter uma descrição detalhada do comportamento do processo sendo possível identificar sua variabilidade e possibilitando também seu controle ao longo do tempo pela coleta continuada de dados e da análise e bloqueio de possíveis causas responsáveis pela instabilidade do processo (ALENCAR *et al.*,

2004). Dentre as sete principais ferramentas da CEP encontra-se o gráfico de controle de Shewhart, sendo um dos mais sofisticados tecnicamente (MONTGOMERY, 2017), onde com o desenvolvimento do gráfico de controle aconteceu o início formal da CEP, este gráfico foi desenvolvido em torno de 1924 por Walter A. Shewhart e aplicado nos *Bell Telephone Laboratories* (COSTA *et al.*, 2018). Os Gráficos de Controle de Qualidade de Shewhart, também apresentados na literatura como Cartas de Controle de Qualidade de Shewhart, tem enfoque nos aspectos estatísticos como a possibilidade de um ponto cair fora dos limites do controle mesmo não acontecendo nenhuma mudança no processo (MAGALHÃES e CYMROT, 2006). O gráfico apresenta uma linha central representando o valor médio, duas linhas horizontais denominadas de Limite Superior de Controle (LSC), e Limite Inferior de Controle (LIC), como o apresentado na figura 1 sendo o eixo x o número de observações e no eixo y a variável analisada.

FIGURA 2 – CARTA DE CONTROLE DE QUALIDADE.



FONTE: MONTGOMERY, 2017.

Esses limites de controle são calculados pelas equações 1, 2 e 3.

$$LS = \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

$$LI = \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

$$LM = \mu \quad (3)$$

Em que:

LS - limite superior, mm;

LI - limite inferior, mm;

LM - limite médio, mm;

μ - média dos ensaios, %;

σ - desvio padrão amostral;

n - número de ensaios.

Eles são escolhidos de uma forma em que se o processo estiver sob controle os pontos amostrais estarão entre eles e não é preciso nenhuma ação, no entanto se um ponto cair fora dos limites é considerado que o processo não está sob controle sendo necessário uma pesquisa e ação para encontrar e eliminar a causa ou causas responsáveis por este comportamento (MONTGOMERY, 2017).

As Cartas de ShewHart foram sendo modificadas ao longo do tempo resultando em outras técnicas como carta de controle de soma cumulativa e a carta de controle de média móvel exponencialmente ponderada (MAGALHÃES e CYMROT, 2006). Ao longo do tempo o CEP vem sendo utilizado em outros áreas além de fábricas e segundo Justi (2010), o CEP se mostra capaz de identificar se irrigação é capaz de se manter sob controle e constante mantendo níveis aceitáveis de uniformidade.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 COLETA DOS DADOS E INSTRUMENTAÇÃO

O experimento foi realizado na área experimental que pertence a Universidade Federal do Paraná, Campus Avançado em Jandaia do Sul, localizado na estrada da amizade KM 02, no município de Jandaia do Sul-PR.

Foi montada uma bancada experimental, com um sistema de irrigação por gotejamento, em madeira com dimensões 5,00m x 1,08m x 1,55m (comprimento x largura x altura), com uma lona adaptada para recirculação da água em um reservatório com capacidade para 200 L. O sistema de tubulação foi composto por tubulação de PVC de 1 polegada acoplada em uma motobomba periférica da marca Gamma, bivolt com potência de 0,5 HP com uma vazão máxima de 36 l.min⁻¹, com pressão de saída de 313,6 KPa e altura manométrica de 32 m.c.a. A estrutura contou com tubos gotejadores da marca Petroisa, modelo Manari 16060 vazão nominal 1,5 L.h⁻¹, com espaçamento entre gotejadores de 0,1 metros e pressão de serviço de 98 KPa. A estrutura ainda conta um registro de esfera de uma polegada instalado após a saída do reservatório e um manômetro Bourdon sendo mantida a pressão constante de 98 KPa, os itens da estrutura podem e o layout do sistema pode ser observados nas figuras 3,4 e 5.

FIGURA 3 – LAYOUT DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

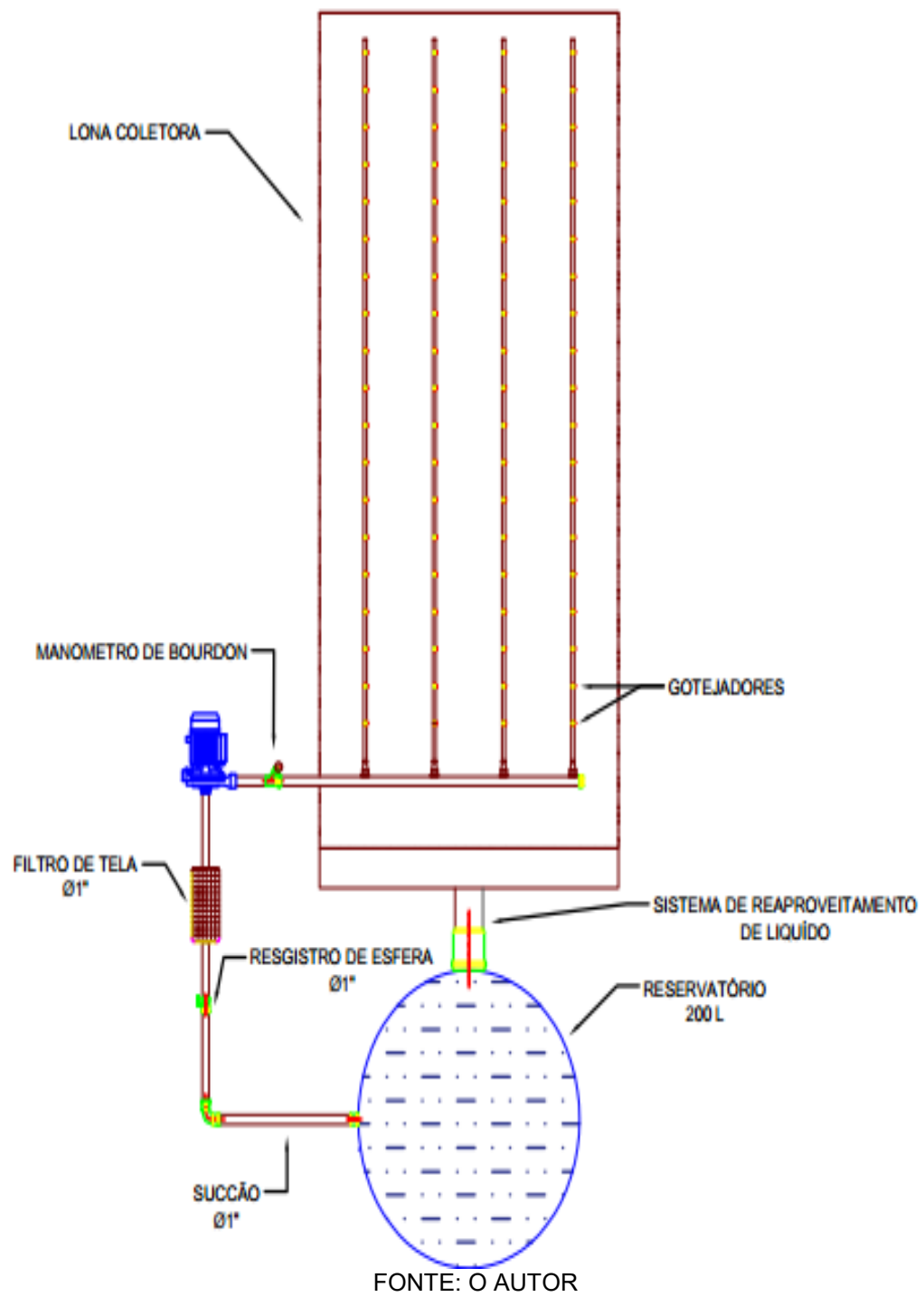


Figura 4 – BANCADA EXPERIMENTAL E MOTOBOMBA



FONTE: O AUTOR

FIGURA 5 – MANÔMETRO E REGISTRO DE ESFERA



FONTE: O AUTOR

O polímero utilizado para o experimento foi a Poliacrilamida, cujo nome comercial é FLONEX 9051 SI, utilizado na concentração de 10 ppm. O material se apresenta na forma de pó claro, com uma cor indo de branco a levemente rosado, com massa específica aparente de $0,80 \text{ g.cm}^{-3}$, viscosidade de 500 cP na concentração 5 g.l^{-1} , 200 cP na concentração $2,5 \text{ g.l}^{-1}$ e 80 cP na concentração $1,0 \text{ g.l}^{-1}$, pureza de 90%, permite armazenamento por até 12 meses, a solução apresenta estabilidade de 1 dia depois de preparada.

Para a coleta da vazão do sistema foi utilizado um suporte de pvc, com 4 furos, para o encaixe de recipientes com capacidade para 200 ml. A vazão foi medida utilizando uma proveta graduada.

A coleta de dados seguiu a metodologia proposta por Keller e Karmeli (1975), onde foi coletada a vazão de 16 emissores sendo selecionados 4 gotejadores em cada linha: o primeiro emissor, o segundo que está situado a $1/3$ do comprimento da linha,

o segundo situado a 2/3 e o último gotejador. A vazão foi coletada após o sistema funcionar por 4 minutos para as duas condições água com e sem redutor de atrito. Foram realizados um total de 50 ensaios para água pura e 50 ensaios para água com redutor de atrito totalizando 1600 amostras, sendo que a coleta de dados ocorreu entre os meses de agosto e setembro.

3.2 ANÁLISE DOS DADOS

Após a coleta dos dados, foi realizado o cálculo dos coeficientes de uniformidade de Christiansen, Coeficiente de Uniformidade Distribuição e o Coeficiente Estatístico de Uniformidade, conforme as equações 4, 5 e 6, respectivamente.

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |X_i - \bar{X}|}{n \bar{X}} \right) \times 100 \quad (4)$$

Em que:

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

X_i - volume obtido no coletor i , mm;

$\bar{X}$ - média obtida nos coletores, mm;

n - número de coletores.

$$CUD = \left(\frac{X_{25}}{\bar{X}} \right) \times 100 \quad (5)$$

Em que:

CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição, mm;

X_{25} - média dos 25 % menores valores coletados, mm;

$\bar{X}$ - lâmina média aplicada, mm.

$$CUE = 1,25CUC - 25 \quad (6)$$

Em que:

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, %.

Para critério de classificação dos coeficientes de uniformidade foi utilizado valores especificados apresentados na tabela 1.

TABELA 1 – CLASSIFICAÇÃO DOS COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE CUC, CUD E CUE.

CLASSIFICAÇÃO	CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)
Excelente	>90	>84	>90
Bom	80-90	68-84	80-90
Razoável	70-80	52-68	70-80
Ruim	60-70	36-52	60-70
Inaceitável	<60	<36	<60

FONTE: JÚNIOR et al. (2012).

Foram determinados neste trabalho como padrão para os coeficientes 90 %, 85 % e 80 % para o CUC, CUD e CUE respectivamente. Os gráficos de Controle de Qualidade aplicados nos coeficientes de uniformidade, foram desenvolvidos utilizando o software Minitab, versão 16, que já calcula os limites de controle automaticamente, sendo que eles podem ser calculados pelas equações 1, 2 e 3 apresentadas na revisão. Com a ajuda do software foi realizado a estatística descritiva dos dados, calculando média, desvio padrão, máximo e mínimo, coeficiente de variação, primeiro e terceiro quartil e mediana.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS

Os dados com os valores brutos dos coeficientes de uniformidade, CUC, CUD e CUE com e sem o redutor de atrito na água estão nos apêndices 1 e 2. Para os dados foi realizada uma análise da estatística descritiva, como descrito na metodologia, a análise para estatística para os dados sem redutor de atrito é apresentada na tabela 2.

TABELA 2 –ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE CUC, CUD E CUE SEM REDUTOR DE ATRITO.

ANÁLISE	CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)
Padrão para os coeficientes	90	85	80
Média	88,79	81,40	85,98
Desvio padrão	2,01	3,91	2,52
Máximo	93,75	86,50	92,18
Mínimo	83,53	70,71	79,24
Coef. De variação	2,27	4,81	2,93
Primeiro quartil	87,25	78,45	84,06
Terceiro quartil	90,58	84,68	88,23
Mediana	89,12	82,50	86,41

O CUC e CUD apresentaram valores de média abaixo do padrão estabelecido para a comparação, que classifica a uniformidade como excelente, embora ainda sejam valores elevados ainda, para irrigação por gotejamento espera-se valores maiores de uniformidade, Souza *et al.* (2008) ao estudar um sistema de irrigação por gotejamento em uma vila rural a mesma pressão de 98 KPa, com tempo de uso de um ano também, encontrou valores maiores de CUC e CUE isso pode ocorrer devia a problemas que ocorrem durante o experimento que pode resultar em uma menor eficiência da uniformidade. Os coeficientes de variação também se mostraram elevados apresentando valores de 2,27 %, 4,81 % 2,93 % para CUC, CUD

e CUE, mostrando o quanto os valores estavam variando em relação à média, o CUD apresentou o maior coeficiente de variação, mostrando que seus pode estar vindo de uma distribuição não homogênea, um dos motivos que pode levar essa maior variabilidade dos dados é o fato do CUD considerar os 25% menores valores, assim como Júnior et al. (2012) afirmou também em seu trabalho que valores de CUD apresentam valores menores por ser mais sensível as variações. Os valores de máximo e mínimo apresentaram grande amplitude entre eles, e todos eles se mantendo abaixo do estabelecido pelo padrão para os coeficientes.

Os dados para os coeficientes de uniformidade com adição de redutor de atrito, estão na tabela 3.

TABELA 3 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE CUC, CUD E CUE COM REDUTOR DE ATRITO.

ANÁLISE	CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)
Padrão para os coeficientes	90	85	80
Média	91,40	85,89	89,25
Desvio padrão	0,51	1,44	0,64
Máximo	92,43	88,88	92,18
Mínimo	90,27	82,89	87,78
Coef. De variação	0,56	1,68	0,72
Primeiro quartil	91,10	82,89	88,87
Terceiro quartil	91,77	88,88	89,72
Mediana	91,46	86,06	89,33

Os valores das médias se manterem acima do padrão que foi estabelecido dessa forma, em relação as médias apresentadas à uniformidade para o CUC e CUD se manteve como excelente, e boa para o CUE. Os coeficientes de variação apresentaram valores menores em relação a tabela anterior, sendo obtido 0,56 %, 1,68 % e 0,72 % para o CUC, CUD e CUE respectivamente, da mesma forma que para a outra tabela o CUD apresenta o maior coeficiente de variação, no entanto ainda é um valor baixo, também é possível observar que a diferença entre os valores máximos e mínimos foi muito pouca, e ainda para o CUC e o CUE os valores mínimos se ficaram acima do padrão estabelecido, no estudo realizado por Souza *et al.* (2008) seus valores de coeficiente de uniformidade, estão mais próximos aos valores de

coeficiente de uniformidade com redutor de atrito, o que é o mais ideal para o sistema de irrigação por gotejamento.

4.2 GRÁFICOS DE CONTROLE

Para o estudo da qualidade da irrigação através do coeficiente de uniforme os dados passaram por uma análise de qualidade, onde foi analisado o comportamento da uniformidade durante os ensaios, as cartas são apresentadas nas figuras 6,7 e 8.

Para as cartas sem redutor de atrito CUC e CUE 2 pontos ficaram fora dos limites de controle o que segundo Montgomery (2017) é uma indicação de que o processo não está sobre controle, sendo assim é necessário uma análise e uma ação corretiva para descobrir e solucionar o problema. A carta de qualidade do coeficiente CUD apresenta os valores dentro dos limites de controle, seus dados não se comportam de uma forma aleatória, pois em 25 ensaios da parte final, apenas 2 valores se encontram acima da linha média. Para a verificação dos coeficientes de uniformidade do ponto de vista da irrigação foi utilizado como parâmetro os valores apresentados na tabela 1, sendo 90 % para o CUC, 85% para o CUD e 80% para o CUE.

FIGURA 6 – CARTA DE CONTROLE DE QUALIDADE PARA CUC SEM REDUTOR DE ATRITO

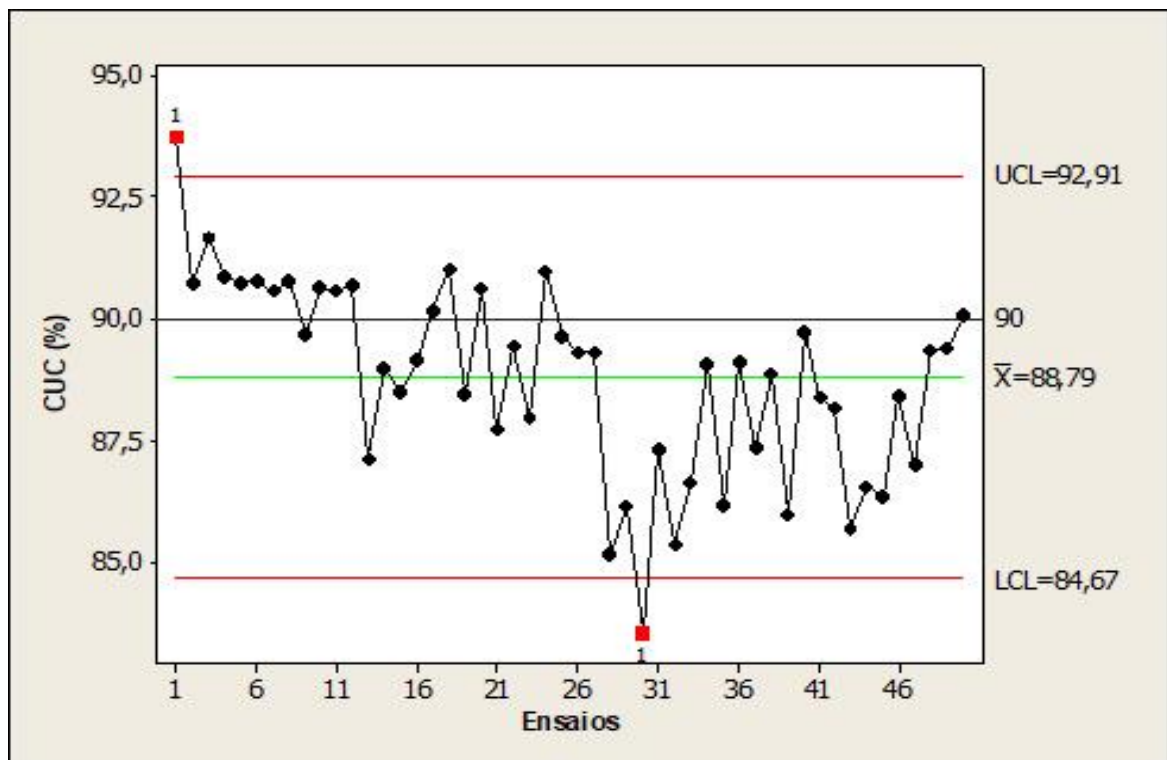


FIGURA7 – CARTA DE CONTROLE DE QUALIDADE PARA CUD SEM REDUTOR DE ATRITO

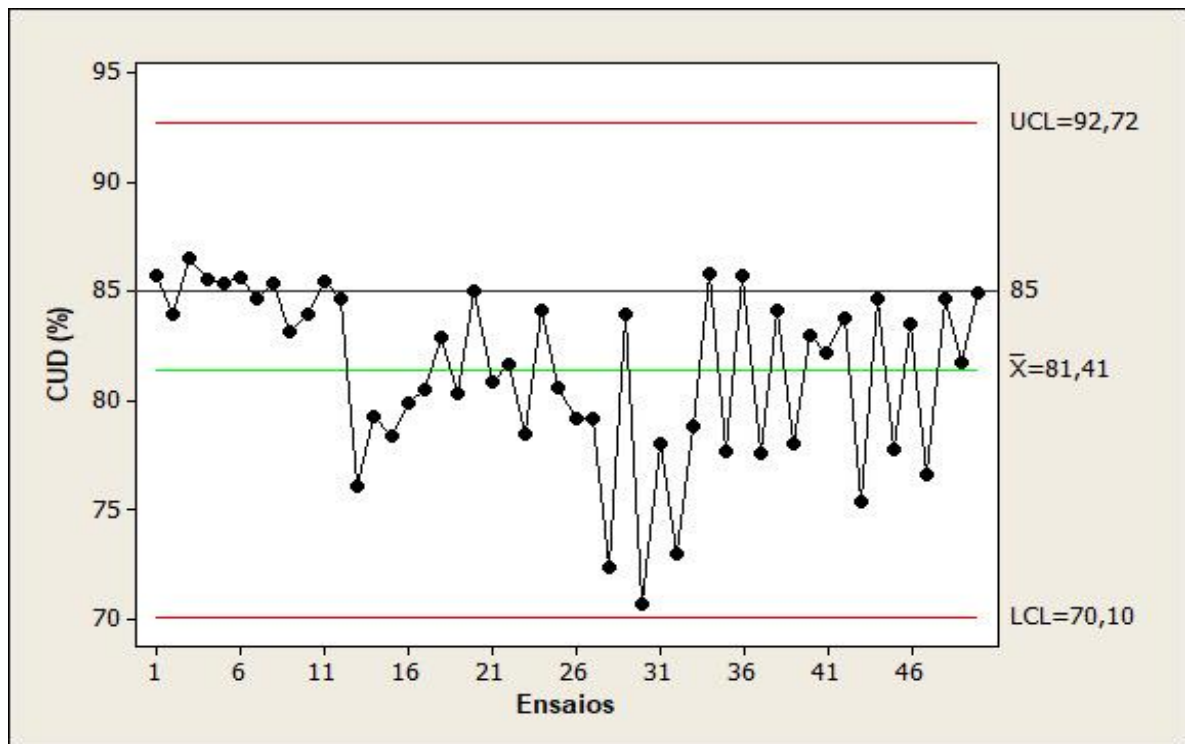
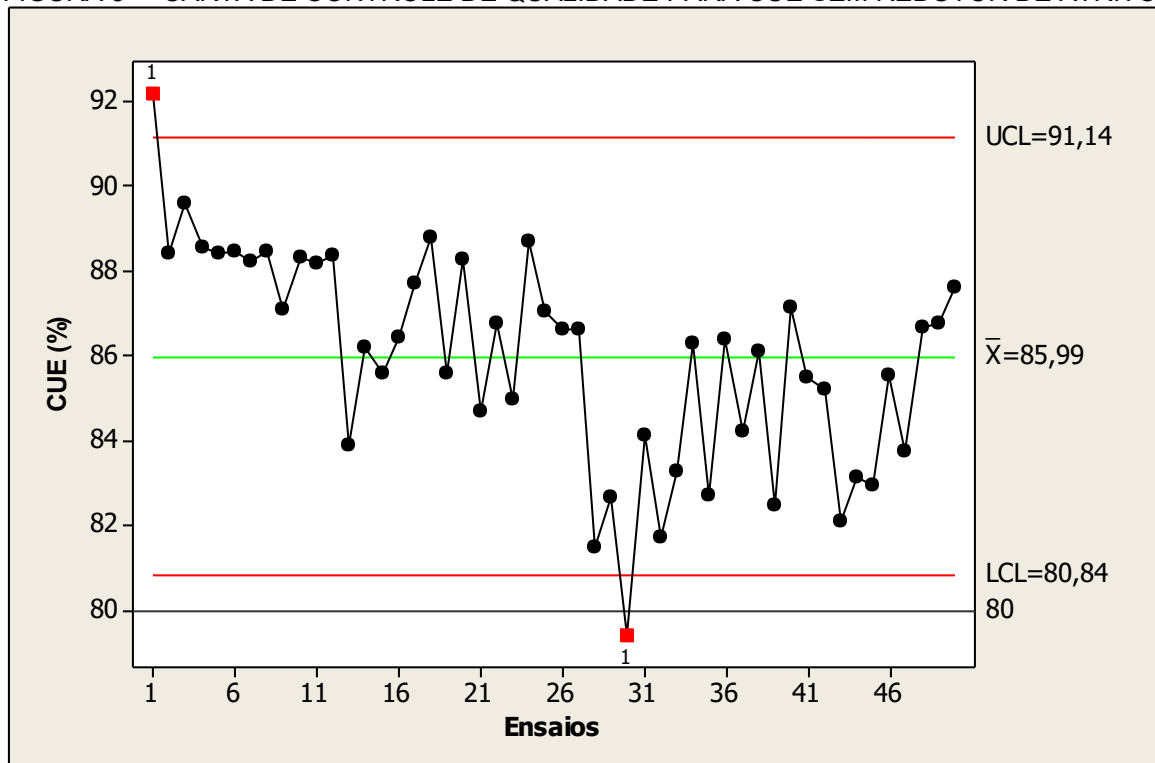


FIGURA 8 – CARTA DE CONTROLE DE QUALIDADE PARA CUE SEM REDUTOR DE ATRITO.



É possível notar que os valores de CUD se mostraram menores que os de CUC, como havia sido citado anteriormente, como ele considera os 25 % dos menores valores é possível perceber que ele é mais afetado pelos entupimentos. O índice CUE apresentou praticamente todos seus valores, exceto um, acima do padrão estabelecido para o coeficiente, porém o limite para ele ainda foi definido bom, o CUC que é o índice largamente utilizado como referência para uniformidade de irrigação apresentou apenas 16 valores acima do considerado excelente para a uniformidade. Uma das razões para estes valores de uniformidade, se deve pelo tempo de uso do equipamento, Gonçalves *et al.* (2013) também apresentou valores mais baixos do índice CUC no segundo ano de uso, devido a chance de obstrução dos emissores. Outra possibilidade para a baixa uniformidade foi a obstrução dos emissores, possivelmente causada pelo pó resultante da fabricação de ração para peixe que estava sendo feita no mesmo local onde se encontra a bancada. Após a limpeza do filtro, houve um aumento da uniformidade novamente. O filtro após o entupimento pode ser visto na figura 9.

FIGURA 9 – FILTRO APÓS VERIFICAÇÃO DO ENTUPIMENTO.



FONTE: O AUTOR

A obstrução citada anteriormente e apresentada na figura 9 pode ser percebida na tela do filtro, onde as manchas em tom amarelo são resíduos retidos. Fazendo com que vazão nos emissores seja reduzida, consequentemente afetando a uniformidade do sistema de gotejamento.

Os Gráficos de Controle de Qualidade para os coeficientes de uniformidade avaliados com adição do redutor de atrito se apresentam nas figuras 10, 11 e 12.

As cartas de CUC e CUE apresentaram pontos fora dos limites de controle assim como as cartas anteriores onde não ocorreu a adição de redutor de atrito, quede acordo com Montgomery (2017) é indicação de que o processo não se manteve sob controle e é necessário uma análise do sistema durante os ensaios e corrija lá. Já a carta do CUD se manteve sob controle durante todo processo.

FIGURA 10 – CARTA DE CONTROLE DE QUALIDADE PARA O CUC COM REDUTOR DE ATRITO

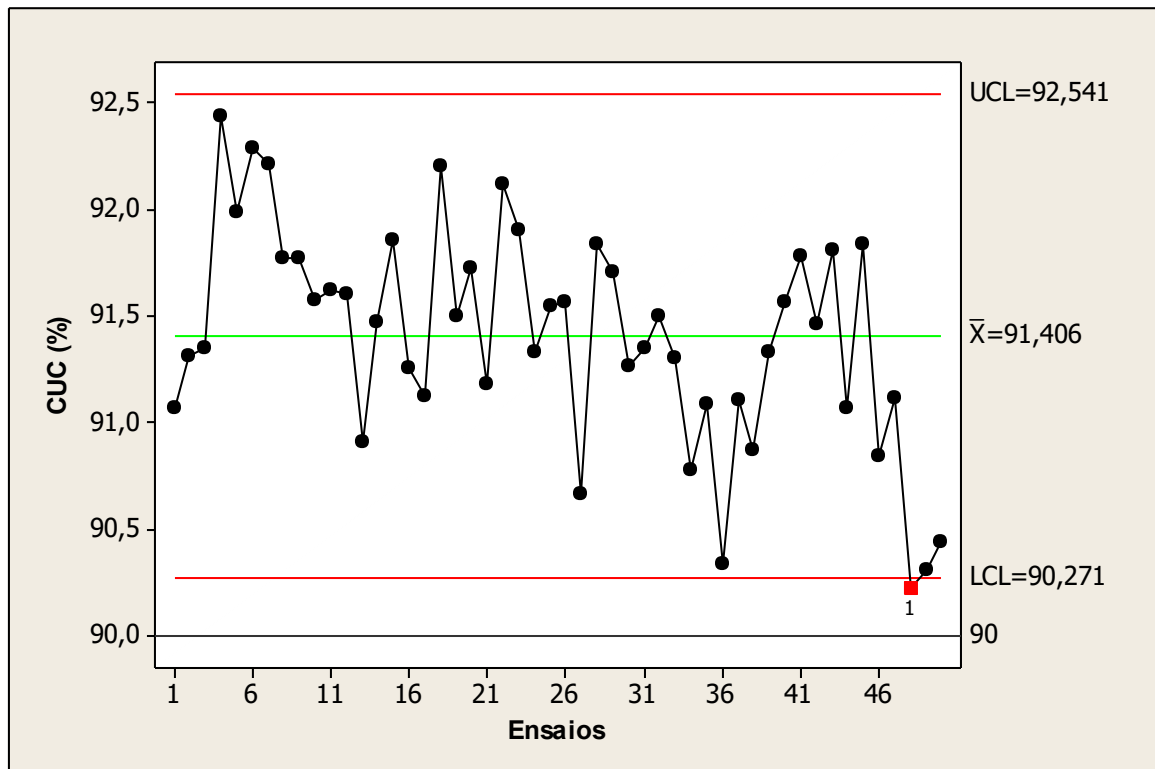


FIGURA 11 – CARTA DE CONTROLE DE QUALIDADE PARA CUD COM REDUTOR DE ATRITO.

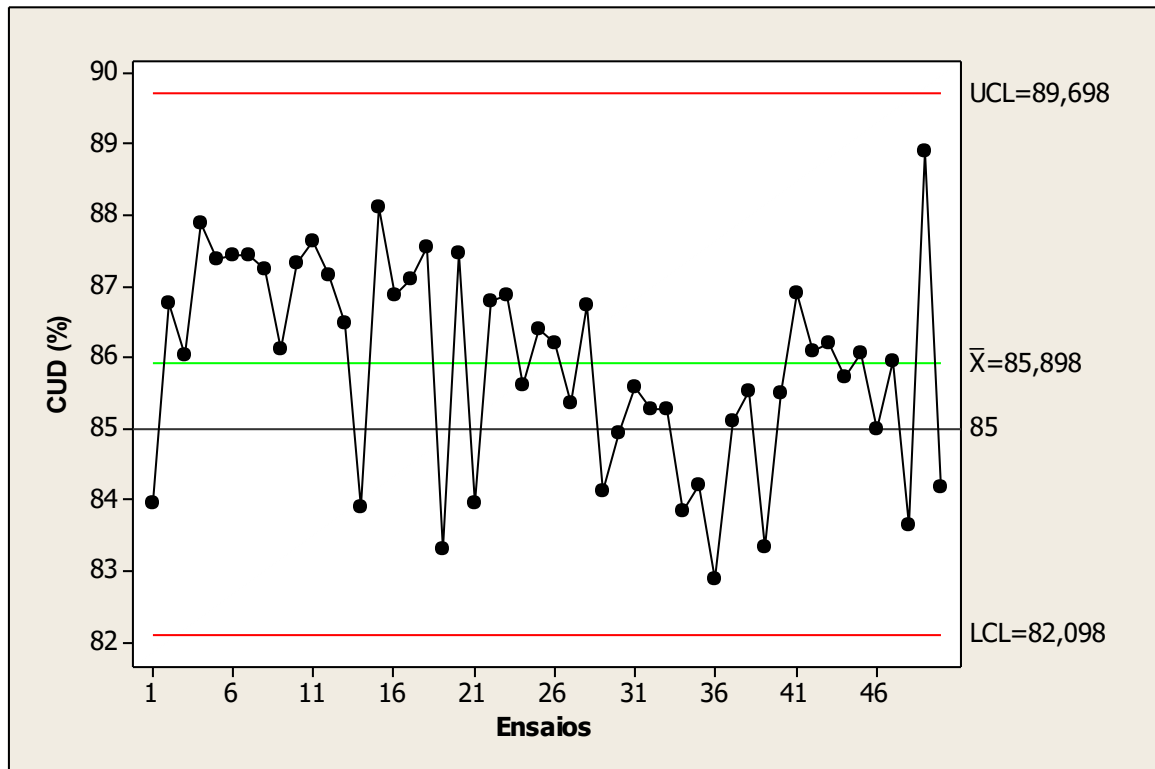
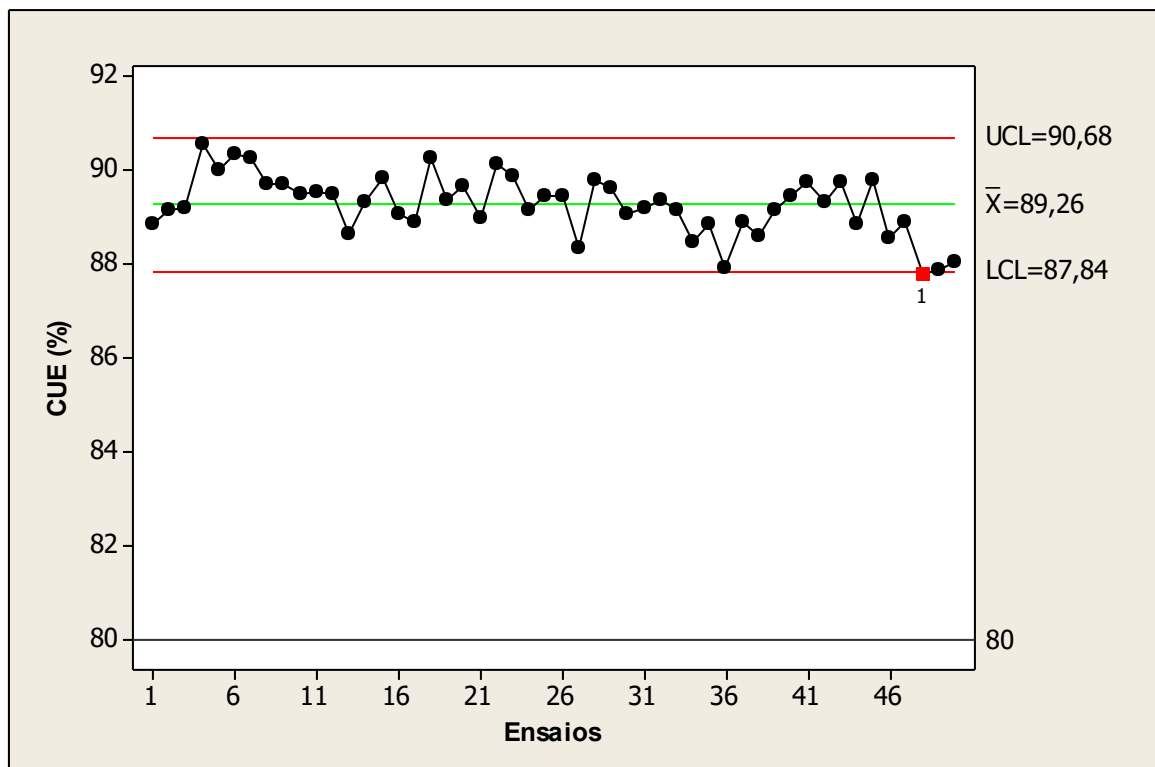


FIGURA 12 – CARTA DE CONTROLE DE QUALIDADE PARA O CUE COM REDUTOR DE ATRITO.



Em relação aos padrões propostos para a irrigação a carta do CUC e CUE, apresentaram todos os valores acima do que foi estabelecido de 90% e 80% respectivamente, e em nenhum ensaio os valores ficaram abaixo do padrão dos coeficientes indicando uma boa uniformidade do sistema, através da carta do CUE também é possível perceber como a variabilidade dos dados diminui em relação à carta do CUE sem redutor de atrito. Nos dois ensaios foram utilizadas as mesmas condições, sendo adicionado apenas o redutor de atrito dessa forma é possível averiguar a ação do redutor de atrito em elevar a uniformidade do sistema de uma que a sua variação fosse pouca. Justi *et al.* (2012), estudando o efeito do redutor a influência do redutor de atrito na perda de carga em tubos de polietileno encontrou valores menores de perda de carga com água com redutor de atrito em relação a água sem redutor, o que se assemelha aos resultados obtidos já que as condições de ensaios são as mesmas para os dois casos, dessa forma é possível observar que a adição do redutor contribui para as mudanças de resultados entre os dois testes fazendo que ocorresse uma diminuição na perda de carga dos tubos.

Alguns problemas ocasionaram a redução da uniformidade neste sistema como o entupimento do sistema, dificuldade em manter a pressão constante e variação na rede elétrica.

5 CONCLUSÃO

A análise do uso de redutor de atrito em irrigação por gotejamento é de grande importância no incremento da uniformidade de irrigação de pequenos sistemas sendo possível a melhoria do desempenho do sistema sem a sua troca constante, além da diminuição do gasto de água e aumento da produtividade. Assim, após a análise dos dados pode-se concluir que:

- Os gráficos de controle se mostraram ferramentas eficientes na análise da uniformidade da irrigação ao longo de todo ensaio.
- Os dados de uniformidade do sistema na maioria dos pontos não se mantiveram dentro do padrão que foi estabelecido para a comparação.
- Os dados de uniformidade para ensaios com redutor de atrito se mostraram em sua maioria acima do padrão que foi utilizado para comparação, e mostraram pouca variação entre os dados.
- Em comparação aos dados com e sem redutor de atrito foi observado uma maior uniformidade com o uso de redutor de atrito e uma menor variação dos dados, comprovando a eficácia do uso do redutor de atrito.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ocorreram alguns problemas de obstrução durante os ensaios que afetaram diretamente os valores para uniformidade para ambos os ensaios e para trabalhos futuros recomenda-se que o local de ensaio não tenha presença de elementos que geradores de pó ou resíduos que possam gerar partículas que vão causar a obstrução do sistema.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, J. R. B.; JUNIOR, M. B. de S.; NETO, P. J. R.; LOPES, C. E. Uso de controle estatístico de processo (CEP) para a validação de processo de glibenclamida comprimidos. **Revista Brasileira de Farmácia**, Rio de Janeiro, v. 85, n. 3, p. 115-119, 2004.
- ANA; INOVAGRI. Conservação, uso racional e sustentável da água: Avaliação de equipamentos de irrigação. 2016. Disponível em: <<http://dspace.agencia.gov.br:8080/conhecerhana/276>>. Acesso em: 11 set. 2019.
- ANDRADE, C. de L. T. de; BRITO, R. A. L. **Métodos de irrigação e quimigação**. Circular Técnica n. 86, Embrapa - CNPMS, 2006.
- BERNADO, S.; Soares, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**: 8. ed. Viçosa: UFV, 2006.
- BIZOTTO, C. V.; ALKSCHBIRS, M. I.; SABADINI, E. Uma revisão sobre o efeito toms: O fenômeno onde macromoléculas atenuam a turbulência em um líquido. **Química Nova**. v. 34, n. 4, p. 658-664, 2011.
- BIZOTTO, C. V.; SABADINI, E. Redução de atrito hidrodinâmico nas estruturas do splash: efeito de superfície ou de bulk?. In: REUNIÃO ANUAL: SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 29., 2006, Água de Lindóia. **Anais...** Sociedade Brasileira de Química, 2006.
- CALGARO, M.; BRAGA, M. B. Determinação da uniformidade de distribuição de água em sistema de irrigação localizada. Circular Técnica, n. 86, Embrapa - CPATSA, 2008.
- COELHO, E. F.; SILVA, A. J. P. da.; PARIZOTTO, I.; SILVA, T. S. M. da. **Sistema e manejo de irrigação de baixo custo para agricultura familiar**: 2 ed. Brasília: Embrapa, 2017.
- COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle estatístico de qualidade**: 2. ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2018.
- DENÍCULI, W.; BERNADO, S.; THIÁBAUT, J. T. L.; SEDIYAMA, G. C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, Viçosa, v.27, n.50, p.155-162, 1980.
- GRAHAM, M. D. Rheology Reviews: Drag reduction in turbulent flow of polymer solutions. Madison, 2004, p143-170. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.361.7446&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 11 set. 2019.
- GONÇALVES, M. P.; HERMES, E.; BOAS, M. A. V.; BERGER, J. S.; LINS, M. A.; WULF, V. dos S. Uniformidade de aplicação de água e efluente de amidonária em sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Scientia Agraria Paranaensis**, Mal. Cdo. Rondon, v.12, p. 391-399, 2013.
- HENNING, E.; SAMOBYL, R. W.; WALTER, O. M. F. C.; LINDOSO, R. L. Gráfico combinado shewhart-cusum aplicado a um processo de rotulagem de garrafas. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 8, n. 4, p. 204-221, 2012.

JÚNIOR, A. F. M.; SILVA, K. B.; BASTISTA, R. O.; SILVA, S. K. C.; FERNANDES, R. K. A.; SILVA, M. G. O. Avaliação da uniformidade de aplicação de água na produção de tomate. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 52.. 2012, Salvador. **Anais...** Revista Horticultura Brasileira, 2012.

JUSTI, A. L.; BOAS, M. A. V.; SAMPAIO, S. C. Índice de capacidade do processo na avaliação da irrigação por aspersão. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 264-270, 2010.

JUSTI, A.L.; ZOCOLER, J. L.; SANTOS, L. C. Influência de poliacrilamida na redução de perda de carga em tubulação de polietileno. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 20, n.5, p. 460-466, set./out. 2012.

KELLER, J. KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, p.133, 1975.

MAGALHÃES, R. R.; CYMROT, R. Técnicas de monitoramento e controle estatístico de processos através de cartas de controle de soma cumulativa e de cartas de controle de média móvel exponencialmente ponderada. In: X INIC ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E VI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS GRADUAÇÃO - UNIVERSIDADE DO VALE DO PARAÍBA, 10., 2006, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos, 2006. p. 463-466.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**: 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

NETO, O. R.; FRIZZONE, J. A.; Miranda, J. H.; BROTEL, T. A. Perda de carga localizada em emissores não coaxiais integrados a tubos de polietileno. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p 20-39, jan./mar. 2009.

PEREIRA, B. J.P. **Manual prático de irrigação**. Rio de Janeiro: Emater, 2014. E-book. Disponível em: http://www.espacodoagricultor.rj.gov.br/pdf/irrigacao/MANUAL_PRATICO_DE_IRRIGACAO.pdf. Acesso em: 11 set. 2019.

PINTO, J. M.; Soares, J. M.; NASCIMENTO, T.; **Análise de coeficientes de uniformidade de distribuição de água em sistema de irrigação localizada**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Petrolina, n. 41, p. 24, 1991.

QUEIROZ, L. P. O.; MORAIS, A. A. M.; MENDES, J. U. L.; BESSA, K. L.; LIMA, R. C.; BARRETO, F. M. Estudo da redução de arrasto por polímeros em escoamentos internos turbulentos em dutos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 22, 2016, Natal. **Anais ...** Natal, 2016. p. 9914-9925.

SAMOHYL, R. W.; **Controle estatístico de qualidade**: 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

SOUZA, E. A. M.; SOUZA, P. C.; BOAS, M. A. V. Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação por aspersão convencional fixo e gotejamento em vila rural. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 1, p 47-62, jan./mar. 2008.

SILVA, P. S.; SILVA, M. M.; CORREA, M. M.; SOUZA, F. C. D.; SILVA, E. F. F. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 480-486, 2012.

TESTEZLAF, R. Filtros de areia aplicados à irrigação localizada: teoria e prática. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 604-613, jul./set. 2008.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: Métodos, aplicações e sistemas**. Campinas: Feagri, 2017. E-book. Disponível em:

<<https://econtents.bc.unicamp.br/omp/index.php/ebooks/catalog/book/978-85-99678-10-7>>. Acesso em: 13 set. 2019.

WILLEMSSENS, E.; AZEVEDO, L. F. A (Coord.) **Estudo de redução de arraste no escoamento turbulento de água em duto quadrado ranhurado**. Departamento de Engenharia Mecânica -PUC-Rio Relatório Anual PIBIC 2013. Projeto Concluído.

**APÊNDICE 1 – COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE CUC, CUD E CUE SEM
REDUTOR DE ATRITO**

Ensaio	CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)	Ensaio	CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)
1	93,75	85,73	92,18	26	89,31	79,21	86,63
2	90,75	83,93	88,44	27	89,31	79,21	86,63
3	91,66	86,51	89,58	28	85,17	72,37	81,46
4	90,86	85,53	88,58	29	86,13	83,93	82,67
5	90,72	85,36	88,40	30	83,54	70,72	79,42
6	90,77	85,62	88,47	31	87,30	78,01	84,13
7	90,58	84,67	88,22	32	85,37	72,95	81,72
8	90,79	85,34	88,49	33	86,62	78,81	83,28
9	89,66	83,20	87,08	34	89,04	85,80	86,30
10	90,64	83,92	88,30	35	86,17	77,71	82,71
11	90,56	85,46	88,20	36	89,10	85,73	86,38
12	90,69	84,68	88,37	37	87,36	77,56	84,21
13	87,10	76,07	83,88	38	88,88	84,13	86,09
14	88,97	79,24	86,22	39	85,97	78,05	82,46
15	88,48	78,42	85,60	40	89,72	82,96	87,15
16	89,16	79,90	86,45	41	88,39	82,15	85,49
17	90,18	80,52	87,73	42	88,15	83,75	85,19
18	91,02	82,86	88,78	43	85,69	75,37	82,12
19	88,47	80,31	85,59	44	86,52	84,66	83,15
20	90,61	85,04	88,26	45	86,34	77,72	82,93
21	87,74	80,90	84,68	46	88,43	83,52	85,54
22	89,42	81,65	86,78	47	86,99	76,57	83,73
23	87,98	78,46	84,98	48	89,35	84,71	86,68
24	90,98	84,17	88,72	49	89,40	81,74	86,75
25	89,63	80,63	87,03	50	90,10	84,93	87,62

**APÊNDICE 2 – COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE CUC, CUD E CUE COM
REDUTOR DE ATRITO**

Ensaio	CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)	Ensaio	CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)
1	91,07	83,93	88,84	26	91,57	86,18	89,46
2	91,31	86,76	89,14	27	90,67	85,35	88,33
3	91,35	86,02	89,19	28	91,84	86,71	89,80
4	92,44	87,88	90,55	29	91,71	84,11	89,63
5	91,99	87,38	89,99	30	91,27	84,93	89,08
6	92,29	87,43	90,36	31	91,35	85,58	89,18
7	92,21	87,44	90,26	32	91,50	85,27	89,37
8	91,78	87,25	89,72	33	91,30	85,27	89,13
9	91,77	86,12	89,71	34	90,78	83,83	88,47
10	91,58	87,31	89,47	35	91,09	84,21	88,86
11	91,62	87,63	89,53	36	90,33	82,89	87,91
12	91,61	87,16	89,51	37	91,11	85,10	88,88
13	90,91	86,49	88,63	38	90,87	85,52	88,59
14	91,47	83,89	89,34	39	91,33	83,33	89,16
15	91,86	88,10	89,82	40	91,56	85,49	89,45
16	91,26	86,85	89,07	41	91,78	86,90	89,73
17	91,12	87,10	88,91	42	91,46	86,07	89,33
18	92,21	87,53	90,26	43	91,81	86,20	89,76
19	91,50	83,29	89,38	44	91,07	85,71	88,84
20	91,73	87,47	89,66	45	91,83	86,06	89,79
21	91,18	83,93	88,97	46	90,85	84,97	88,56
22	92,12	86,78	90,15	47	91,11	85,94	88,89
23	91,90	86,85	89,88	48	90,23	83,64	87,78
24	91,33	85,61	89,16	49	90,31	88,89	87,88
25	91,55	86,38	89,44	50	90,44	84,16	88,05