

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - CAMPUS DE CASCAVEL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

CONTROLE ESTATÍSTICO DA FERTIRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO NA
DECLIVIDADE DA LINHA LATERAL

NAILA CRISTINA KEPP DE GOÉS

CASCAVEL – Paraná – Brasil

2021

NAILA CRISTINA KEPP DE GOÉS

**CONTROLE ESTATÍSTICO DA FERTIRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO NA
DECLIVIDADE DA LINHA LATERAL**

Dissertação apresentada como cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Orientador: Prof. Dr. Marcio Antonio Vilas Boas

CASCADEL – Paraná – Brasil

2021

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Kepp de Goés, Naila Cristina

Controle estatístico da fertirrigação por gotejamento na declividade da linha lateral / Naila Cristina Kepp de Goés; orientador Marcio Antonio Vilas Boas. -- Cascavel, 2021.
42 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Cascavel) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2021.

1. Gráficos de controle. 2. Gotejamento. 3. Índice de capacidade do processo. 4. Fertirrigação. I. Vilas Boas, Marcio Antonio, orient. II. Título.

NAILA CRISTINA KEPP DE GÓES

**CONTROLE ESTATÍSTICO DA FERTIRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO NA
DECLIVIDADE DA LINHA LATERAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, APROVADA, pela seguinte banca examinadora:



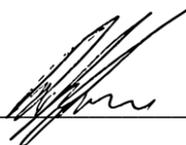
Orientador: Professor Dr. Marcio Antonio Vilas Boas
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE



Professor Dr. Flavio Szekut
União de Ensino do Sudoeste do Paraná – Unisep



Professor Dr. Mauricio Guy Andrade
Universidade Federal do Paraná – UFPR



Professor Dr. Allan Remos Lopes
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE

Cascavel, 03 de agosto de 2021

BIOGRAFIA

Naila Cristina Kepp De Goés nasceu em 06 de fevereiro de 1994, na cidade de Cascavel, Paraná, Brasil e cursou Engenharia Agrícola na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Cascavel, durante os anos de 2012 a 2018. Em 2019, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEAGRI) na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Campus Cascavel, nível mestrado, na área de concentração de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, orientada pelo professor Dr. Marcio Antonio Vilas Boas.

Raul Alberto, meu companheiro de vida;
Cirila (Dona Gina) (*in memoriam*) e Edgar
meus pais, meus Orixás e a Deus.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, o grande realizador de todas as coisas, por ter me dado luz, esperança e força para chegar até aqui.

Ao meu orientador, Marcio Antonio Vilas Boas, por todos esses anos de orientação, todas as conversas, amizade, por compartilhar seu conhecimento sempre com paciência, atenção e por sempre ser compreensivo e dedicado, por ter contribuído para a minha formação profissional e pessoal, ao longo desses nove anos, entre graduação e mestrado.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEAGRI), pela oportunidade da realização desse curso; à CAPES, pelo consentimento da bolsa de estudos.

Ao meu namorado, Raul, por ter me ajudado em todas as minhas coletas e por todo apoio no decorrer deste trabalho, sempre com paciência, amor e compreensão.

Agradeço a toda a minha família, minha mãe Cirila Ortega Kepp (in memoriam), que me ensinou que querer é poder, e ao meu pai, José Edgar Kepp, por sempre me incentivar na luta pelos meus sonhos.

À banca avaliadora, pelos conhecimentos trocados, correções e sugestões.

Aos colegas, Caio Santos, Bruna Bazei e Soni Willian Haupenthal, por participarem de algumas coletas, por me incentivarem ao longo deste trabalho.

A todas as pessoas que contribuíram, mesmo que de longe, para realização e conclusão deste de projeto.

CONTROLE ESTATÍSTICO DA FERTIRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO NA DECLIVIDADE DA LINHA LATERAL

RESUMO GERAL

O desempenho de um sistema de irrigação está diretamente ligado à uniformidade de operação. A irrigação por gotejamento é o sistema mais apropriado à economia de água e energia, possibilidade de automação e fertirrigação, portanto, é necessário que o sistema seja avaliado periodicamente. Alguns parâmetros de avaliação precisam ser considerados para a obtenção do melhor desempenho, como o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), que expressam a variabilidade de aplicação das lâminas de irrigação. Diversos fatores afetam a uniformidade de aplicação de água e fertilizante, dentre eles, a topografia do terreno, variação da concentração de fertilizante, pH e condutividade elétrica da solução a ser aplicada. A aplicação de ferramentas de controle estatístico de qualidade (CEP), como Gráficos de controle de Shewhart e Índice de Capacidade do Processo (Cp), permitem a avaliação detalhada desses parâmetros. Sendo assim, o trabalho teve por objetivo avaliar um sistema de irrigação em ambiente protegido, no qual foi avaliada a aplicação de água limpa (tratamento controle) e água com solução nitrogenada (ureia), em três concentrações (2 g L^{-1} ; 4 g L^{-1} ; 6 g L^{-1}), em diferentes declividades nível (0%), acline (2%) e declive (-2%), com total de 25 ensaios para cada tratamento. As variáveis obtidas no ensaio foram vazão, pH e condutividade elétrica. Com as amostras coletadas, foram calculados os Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC) e Coeficientes de uniformidade de Distribuição (CUD), os quais foram comparados, sendo o CUD mais sensível ao identificar a queda na uniformidade com o acréscimo da concentração de fertilizante, demonstrando maior severidade na análise dos dados, ao verificar que o aumento da concentração de ureia em 6 g L^{-1} afetou a uniformidade de distribuição do sistema em nível, com valores para $\text{CUD} < 70\%$, observados no Gráfico de controle de Shewhart. O aumento da concentração de ureia em 6 g L^{-1} influenciou o acréscimo do pH ao apresentar 7,75 acima dos limites previstos para irrigação, portanto, o sistema mostrou-se capaz de aplicar concentrações até 2 g L^{-1} em nível ao apresentar $\text{Cp} = 2,86$ pela análise do Índice de Capacidade do Processo.

PALAVRAS-CHAVE: Controle estatístico. Índice de capacidade do processo. CUD. CUC;

STATISTICAL CONTROL OF DRIP FERTIRRIGATION ON THE SIDE LINE SLOPE

ABSTRACT

The consistency of an irrigation system's operation is closely related to its performance.-Drip irrigation is the most appropriate system for saving water and energy, as well as the possibility of automation and fertigation, so the system must be evaluated on a regular basis. To achieve the best performance, some evaluation parameters, such as Christiansen's Uniformity Coefficient (CUC) and the Distribution Uniformity Coefficient (CUD), which express the variability of irrigation depth application, must be considered. Several factors influence the uniformity of water and fertilizer application, including the topography of the land, variations in fertilizer concentration, pH, and electrical conductivity of the solution to be applied. The use of statistical process control (SPQ) tools such as Shewhart Control Charts and Process Capability Index (PCI) allows for a more in-depth evaluation of these parameters. Thus, the aim of this work was to evaluate an irrigation system in a protected environment, in which the application of clean water (control treatment) and water with nitrogen solution (urea) in three concentrations (2 g L⁻¹; 4 g L⁻¹; 6 g L⁻¹) at different slopes level (0%), acclivity (2%) and declivity (-2%), with a total of 25 trials for each treatment. Flow, pH, and electrical conductivity were the variables measured in the test. Christiansen Uniformity Coefficients (CUC) and Distribution Uniformity Coefficients (CUD) were calculated and compared using the collected samples, with the CUD being more sensitive to identifying the drop in uniformity with the increase in fertilizer concentration, demonstrating greater severity in the data analysis when verifying that the increase of the urea concentration in 6 g L⁻¹ affected the uniform distribution of the level system, with values for CUD<70%, observed in the Shewhart Control Chart. The increase in urea concentration in 6 g L⁻¹ influenced the increase in pH by presenting 7.75 above the predicted limits for irrigation, so the system could apply concentrations up to 2 g L⁻¹ in level when presenting Cpl = 2.86 for the Process Capability Index analysis.

KEYWORDS: Statistical control, process capability index, CUD, CUC

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral.....	16
2.2 Objetivos Específicos.....	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 Irrigação por gotejamento	17
3.2 Uniformidade em sistemas de irrigação por gotejamento.....	18
3.3 Avaliação de sistemas de fertirrigação por gotejamento	19
3.4 Controle Estatístico de qualidade.....	21
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23
5 MATERIAL E MÉTODOS	25
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
7 CONCLUSÕES	40
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do CUC e CUD na irrigação por gotejamento.	21
Tabela 2 - Valores para classificação do processo	23

ARTIGO

Tabela 1 - Classificação do CUC e CUD para sistemas de irrigação por gotejamento.....	29
Tabela 3 - Parâmetros físico-químicos para água limpa e água com ureia em diferentes concentrações.	30
Tabela 4 - Análise descritiva dos valores CUD e CUC para as diferentes concentrações de ureia na declividade da linha lateral.	31
Tabela 5 - Comparação múltipla de dados para CUC e CUD	32
Tabela 6 - Normalidade e Autocorrelação dos dados	34
Tabela 7 - Índice de capacidade do processo 2 g L ⁻¹	38
Tabela 8 - Índice de capacidade do processo 4 g L ⁻¹	38
Tabela 9 - Índice de capacidade do processo 6 g L ⁻¹	39

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO

Figura 1 - Ilustração da bancada de teste para sistema de irrigação por gotejamento (Szekut et al, 2018).....	25
Figura 2 - Box-plot para CUD (%) em nível, aclive e declive	33
Figura 3 - Gráfico de controle de Shwhart CUC (%) em declive 2 g L ⁻¹	34
Figura 4 - Gráfico de controle de Shewhart CUC (%) em nível, aclive para 4 g L ⁻¹	35
Figura 5 - Gráficos de controle de Shewhart CUD (%) em nível, aclive e declive para 4 g L ⁻¹	36
Figura 6 - Gráfico de controle de Shewhart CUD (%) em nível para 6 g L ⁻¹	37
Figura 7 - Gráficos de controle de Shewhart CUC e CUD (%) em aclive para 6 g L ⁻¹	37

1 INTRODUÇÃO

O declínio da disponibilidade de água no solo necessita de estratégia de irrigação eficiente para sustentar a produção agrícola (OKER *et al.*, 2018). Para esse aumento de produtividade, é necessário o uso de tecnologias, como a agricultura de precisão, a mecanização agrícola, o melhoramento genético e a irrigação (PETRY *et al.*, 2019).

De acordo com (TOLENTINO JUNIOR *et al.* 2014), a irrigação por gotejamento é uma das tecnologias que mais rapidamente vem se expandindo na moderna agricultura irrigada, sendo o sistema mais apropriado para a economia de água e energia, possibilidade de automação e fertirrigação (SANTOS *et al.*, 2015).

Um sistema eficiente, aliado ao manejo adequado, pode garantir o suprimento apropriado de água para a cultura (TORRES RUA, 2011). Um componente chave de qualquer estratégia para melhorar a gestão da água de irrigação está relacionado com melhoria das estratégias de distribuição de água e eficiência na distribuição de redes de irrigação.

O gotejamento caracteriza-se pela aplicação da água diretamente sobre a região radicular, em pequenas intensidades (2 a 20 L h⁻¹), porém, com alta frequência, mantendo a umidade do solo próxima à capacidade de campo (OMOFUNMI; ILESANMI; ORISABINONE, 2019). Podemos, assim, classificar a irrigação por gotejamento segundo a vazão que os emissores proporcionam (VILAS BOAS, 2016).

Segundo Biscaro (2014), a fertirrigação promove diversos benefícios, como economia na mão de obra, rapidez na aplicação e economia de fertilizantes, aumento de produção, além de melhor distribuição de fertilizantes no perfil do solo.

Entretanto, tal sistema é considerado susceptível ao entupimento dos emissores, caso não haja uma avaliação e/ou manutenção periódica adequada (SANTOS *et al.*, 2015), visto que o acompanhamento da uniformidade pode prevenir ou mostrar problemas no sistema (SUSZEK, 2019).

A uniformidade é uma medida da capacidade de um sistema de irrigação de aplicar a mesma quantidade em todos os lugares da área irrigada (MOHAMED *et al.*, 2019), podendo ser avaliada a partir dos coeficientes de uniformidade, os quais permitem expressar a variabilidade das lâminas de irrigação aplicadas (Faria *et al.*, 2016), sendo sua avaliação imprescindível (FREITAS *et al.*, 2015).

Diversos fatores afetam a uniformidade de um sistema de fertirrigação. Diante disso, podemos citar a obstrução de emissores (químicas, físicas ou biológicas), variação da concentração de fertilizantes, o não uso de adubos totalmente solúveis, ausência de limpeza das linhas laterais com água, além do desnível topográfico.

Independentemente da constituição da solução de irrigação, a avaliação da uniformidade é a forma tradicional de verificar a distribuição da vazão do sistema ao longo de

sua extensão, visto que o monitoramento previne problemas relacionados a dificuldades de aplicação no campo, conseqüentemente, o entupimento (HERMES *et al.*, 2018) ou, até mesmo, o acréscimo de vazão.

Para análise de parâmetros, como a uniformidade, podem ser aplicadas técnicas de controle estatístico como gráficos de controle. Estudos sobre controle de qualidade na irrigação têm sido foco de algumas pesquisas, a saber, as de Frigo *et al.* (2013), Hermes *et al.* (2015), Zocoler *et al.* (2015), Andrade *et al.* (2017) e Siqueira, (2018). Ressalta-se que, a partir do uso dessa técnica, os autores obtiveram resultados importantes para a melhoria do processo.

Para a análise de parâmetros de irrigação, como a uniformidade, podem ser utilizadas técnicas estatísticas de controle de qualidade, como o gráfico de Shewhart (ANDRADE *et al.*, 2017).

Segundo Ribeiro e Caten (2012), para análise do CUC e CUD, utilizando-se o controle estatístico do processo, tem-se uma radiografia do processo, que identifica sua variabilidade, possibilitando o controle desta ao longo do tempo. Ainda afirma que, com a contínua coleta de dados e sua análise, há como bloquear possíveis causas que podem estar tornando o sistema instável, as quais prejudicam a uniformidade de distribuição.

Nesse sentido, o gráfico de controle individual de Shewhart é útil para a análise de processos de fabricação de diversos produtos, bem como para análise de sistemas de irrigação.

Outra ferramenta de controle estatístico do processo (CEP) é a análise da capacidade do processo por meio de índices, que refletem a capacidade de manufaturar produtos, cuja variação inerente esteja dentro da faixa de tolerância especificada no projeto do produto (BORGES *et al.*, 2009). Dessa forma, é uma ferramenta útil no monitoramento de sistemas de irrigação, como afirmam Mercante *et al.* (2014).

No Brasil, são poucos os locais que possuem estrutura suficiente para se fazer uma avaliação detalhada de sistemas de irrigação a fim de que seja possível a realização do aperfeiçoamento desses equipamentos. Logo, é necessária, muitas vezes, a construção de bancadas de ensaio para a realização de testes laboratoriais, a fim de que sejam comparados com as condições de campo (HERNANDEZ, 2010).

Estudos utilizando bancadas de testes têm sido foco de algumas pesquisas, como as de Mazer *et al.* (2008), Saad & Jefery (2015), Bombardelli *et al.* (2017), Poloni *et al.* (2017), Santos *et al.* (2017), Szekut *et al.* (2018), Lopes *et al.* (2019), Pereira *et al.* (2020), as quais reforçam a necessidade da realização de testes laboratoriais em bancada.

Nesse sentido, aborda-se, na pesquisa, que a inclinação topográfica afeta negativamente a uniformidade de irrigação, quando associada à aplicação de fertilizante via

água de irrigação, principalmente, considerando-se a concentração da solução injetora, que pode afetar negativamente a eficiência da fertirrigação.

Vale ressaltar que altas concentrações de fertilizante podem alterar a condutividade elétrica da solução injetora, diminuindo a vida útil de sistemas de irrigação no campo. O desconhecimento dessas concentrações pode ocasionar que o produtor aplique soluções concentradas, afetando diretamente o desempenho do sistema de irrigação, o que implica diretamente a condutividade elétrica e, conseqüentemente, a eficiência da fertirrigação.

Objetivou-se avaliar a concentração ideal que mantenha altos índices de uniformidade para a solução nitrogenada, aplicada via fertirrigação, em diferentes concentrações da solução de injeção, em bancada de ensaio, com diferentes condições topográficas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o processo da fertirrigação por gotejamento na aplicação de diferentes concentrações de ureia, por meio de ferramentas de controle estatístico de qualidade.

2.2 Objetivos Específicos

Verificar a influência da condutividade elétrica e pH na uniformidade de distribuição de fertilizante em diferentes concentrações;

Avaliar se o acréscimo da concentração influencia a uniformidade de distribuição na declividade da linha lateral;

Comparar qual coeficiente de distribuição é mais rigoroso na análise do controle estatístico para os Gráficos de controle de Shewhart;

Apontar a concentração limite de ureia que mantenha altos índices de uniformidade;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Irrigação por gotejamento

A crescente utilização da água para a produção de alimento, a necessidade hídrica dos centros urbanos e das indústrias, aliadas às exigências ambientais, cada vez mais rigorosas, ocasionaram a necessidade de buscar técnicas que melhorem a qualidade das culturas com o uso racional da água (CHRSTOFIDIS, 2013).

Segundo Santos *et al.*, (2015), a irrigação por gotejamento é o sistema mais apropriado à economia de água e energia, possibilidade de automação e fertirrigação, que está em notável expansão. O sistema possui emissores por meio dos quais a água escoar, após dissipar a pressão ao longo de uma rede de condutos (MANTOVANI *et al.*, 2012).

Uma rede de válvulas, canos, tubos e emissores distribuem a água diretamente para a base das plantas, seja na superfície do solo ou diretamente perto da zona das raízes (BAIAMONTE GIORGIO, 2017), porém, com alta frequência, mantendo a umidade do solo próxima à capacidade de campo. Dessa forma, como afirma Vilas Boas (2016), o conteúdo de água fica em níveis constantes, evitando-se grandes variações de umidade do solo, o que ocorre em outros métodos de irrigação, na aspersão e superfície, e que pode afetar a produção da cultura.

O gotejamento é mais eficiente em zonas áridas e semiáridas, promovendo uma economia dos recursos hídricos (BENOUNICHE *et al.*, 2014; FABEIRO *et al.*, 2002). Diante disso, torna-se o símbolo de prática de irrigação moderna, que conserva os recursos hídricos e maximiza o desempenho das plantas (OMODEI, 2015).

Para Boas *et al.* (2011), a irrigação por gotejamento é uma técnica economicamente viável e apresenta muitas vantagens, a saber: maior eficiência no uso da água, maior produtividade, maior eficiência na adubação (fertilizantes podem ser aplicados via água de irrigação) e no controle fitossanitário, economia de mão de obra, redução dos gastos com energia e possibilidade de automação.

Entretanto, apesar dos pontos positivos, a irrigação por gotejamento apresenta suas limitações, como o entupimento dos emissores, que acaba afetando sua uniformidade de distribuição de água (LIMA *et al.*, 2017). Para Silva *et al.* (2012), além do entupimento, a pressão de serviço do emissor, a velocidade da água na tubulação e o alinhamento da linha lateral podem afetar a uniformidade de distribuição.

Para monitorar a utilização dos materiais, dos projetos e acompanhar sua durabilidade, precisa-se fazer avaliações da distribuição de água pelo sistema.

O monitoramento do sistema de irrigação é essencial para um bom funcionamento, manejo, maior eficiência de distribuição da água e manutenção, principalmente quando são

utilizados sistemas por gotejamento, por ter orifícios e tubulações reduzidas de distribuição (SZEKUT *et al.*, 2017). Para esse monitoramento, são utilizados, de forma geral, os coeficientes de uniformidade de distribuição (CUNHA *et al.*, 2014). A uniformidade está associada à variabilidade da lâmina de irrigação ao longo da área molhada (FRIZZONE, 1992).

3.2 Uniformidade em sistemas de irrigação por gotejamento

Segundo Perboni *et al.* (2014), com o aumento do uso de água via irrigação agregado ao alto custo desse recurso, torna-se necessário que os sistemas de irrigação proporcionem altos níveis de uniformidade e eficiência.

Para Hássan-Esfahani *et al.* (2015), a eficiência da irrigação é definida com base em indicadores como uniformidade da irrigação, produção agrícola, retorno econômico e sustentabilidade dos recursos hídricos.

A maior uniformidade de sistemas de irrigação está ligada diretamente ao maior custo de instalação inicial, embora esses, a longo prazo, sejam compensados pela alta eficiência, a menor necessidade de manutenções e mudanças no sistema de irrigação (WILDE *et al.*, 2009). O valor econômico de um sistema de irrigação por gotejamento é compensativo, pois proporciona um ótimo retorno para o produtor (JACQUES *et al.*, 2018).

A uniformidade de distribuição representa a variabilidade da vazão dentro de um sistema de irrigação. Existem vários meios de se obter a uniformidade de distribuição de sistemas de irrigação, sendo que o mais difundido é o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) (JUSTI; SAIZAKI, 2015).

A uniformidade da distribuição de água e fertilizantes são considerações importantes para o projeto e operação do sistema de fertirrigação por gotejamento porque aplicações não uniformes de água e fertilizantes podem reduzir o rendimento das culturas (WANG *et al.*, 2014).

Vários fatores, como tipo de injetor, diferença de pressão e layout lateral podem afetar potencialmente a uniformidade de distribuição de água e fertilizantes dos sistemas de fertirrigação por gotejamento (FAN *et al.*, 2017). Para Li *et al.* (2006), diferentes variações na concentração de fertilizantes podem afetar a uniformidade do fertilizante.

Além da uniformidade da vazão dos gotejadores e da pressão, na fertirrigação por gotejamento, as determinações da uniformidade da condutividade elétrica e do pH devem ser consideradas devido à importância desses parâmetros no manejo da fertirrigação (BERNERT *et al.*, 2015).

3.3 Avaliação de sistemas de fertirrigação por gotejamento

A avaliação de um sistema de fertirrigação por gotejamento é um procedimento pelo qual se pode comprovar o correto funcionamento de dito sistema, de forma que possa cumprir o objetivo primordial da fertirrigação: satisfazer as necessidades nutricionais da planta. Ao mesmo tempo, a avaliação permitirá observar se os materiais usados na instalação e suas características estão adequados (VILAS BOAS, 2016).

A avaliação da operação dos sistemas de fertirrigação está ligada a diversos parâmetros no desempenho, como vazão, pressão, condutividade elétrica e pH da solução a ser aplicada (BERNERT *et al.*, 2015). Além dos atributos hidráulicos próprios dos emissores, os seus desempenhos estão sujeitos, dentre inúmeros fatores, à pressão de serviço, que poderá exercer influências para a uniformidade de distribuição de água (GOMES *et al.*, 2008).

Visando a um manejo adequado, o controle da fertirrigação deve ser feito pelo monitoramento do pH e da condutividade elétrica durante todo o ciclo de cultivo (OLIVEIRA *et al.*, 2015). Os fertilizantes, após serem dissolvidos, poderão alterar o pH da solução nos tanques. Esse efeito ocorre em função da reação do íon com a água ou ainda devido à presença de ácidos do processo de fabricação de fertilizantes.

O pH também é um importante indicador de qualidade do solo, ou da solução nutritiva, pois possui efeito sobre a solubilidade dos nutrientes, concentração da solução e forma iônica dos nutrientes, o que, por consequência, afeta a absorção e utilização dos nutrientes pelas plantas (SILVA *et al.*, 2012).

A condutividade elétrica (CE) expressa em números a capacidade de a água conduzir a corrente elétrica. Por depender das concentrações iônicas e da temperatura, é geralmente expressa à temperatura padrão de 25°C e, segundo Opoku-Duah, Kankam-Yeboah & Mensah (1997), os dados de CE indicam a quantidade de sais dissolvidos na forma de íons presentes na massa de água sem diferenciá-los entre si.

Sistemas de irrigação localizada, dimensionados adequadamente e operando com emissores de alta qualidade, quando instalados no campo, podem sofrer a influência de fatores (temperatura, topografia e entupimentos) não considerados na concepção do projeto. Para avaliar o efeito desses fatores na qualidade da distribuição de água do sistema de irrigação, ensaios de campo devem ser executados (PRADO *et al.*, 2014).

Para avaliar a uniformidade de um sistema de irrigação e a uniformidade de aplicação, é comum utilizar coeficientes de uniformidade de distribuição, que expressam a variabilidade de aplicação das lâminas de irrigação (FRIZZONE, 1992).

A literatura apresenta inúmeros coeficientes para monitoramento e avaliação da uniformidade de aplicação para sistemas de fertirrigação por gotejamento, dentre eles,

Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por Christiansen (1942); o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), desenvolvido por Merriam e Keller (1978).

Com base na média dos desvios absolutos, em relação à média, é possível medir a uniformidade de aplicação das lâminas coletadas, segundo a Equação 1:

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - x_{med}|}{n \cdot x_{med}} \right) \quad \text{Eq.(01)}$$

Em que:

q_i – lâmina de cada emissor mm.h-1;

q_a – lâmina média dos emissores mm.h-1; n - número de emissores.

A lâmina de água é coletada em um intervalo de tempo de 3 a 5 minutos para o gotejamento (KELLER; KARMELLI, 1975), por meio de coletores graduados dispostos na linha derivação. Após coletada da lâmina média dos emissores, obtém-se a vazão de cada ensaio. Outro coeficiente importante para irrigação por gotejamento é o coeficiente de uniformidade de irrigação por gotejamento, inicialmente apresentado por Merriam e Keller (1978), baseado na razão entre os 25% das vazões menores e as vazões médias dos gotejadores, sendo expressa pela Equação 2.

$$CUD = 100 \left(\frac{x_{25}}{x_{med}} \right) \quad \text{Eq. (02)}$$

Em que:

q_{25} – lâmina média das 25% menores descargas dos emissores mm.h-1;

q_a – lâmina média dos emissores mm.h-1 .

A coleta da lâmina de cada emissor segue o mesmo padrão mencionado para CUC, sendo a vazão calculada por meio do volume de água de cada coletor, mensurado por método gravimétrico, que consiste na pesagem de um determinado volume de água obtido em um determinado tempo. Isso com o fim de se obter maior precisão à determinação do volume, conforme recomendado pela NBR 9261 (ABNT, 2006), seguindo o tempo de 3 a 5 minutos para o gotejamento (ABNT, 2004).

Existem inúmeras tabelas de classificação para CUC, sendo que a utilizada neste trabalho é proposta por Frizzone *et al.* (2012); ela também evidencia a classificação para CUD; segue Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação do CUC e CUD na irrigação por gotejamento.

Classificação	CUC (%)	CUD (%)
Excelente	> 90	> 90
Bom	90 – 80	90 – 80
REGULAR	80 – 70	80 – 70
RUIM	70 – 60	70 – 60
Inaceitável	<60	<60

Fonte: Frizzone *et al.* (2012).

3.4 Controle Estatístico de qualidade

A demanda pela qualidade em processos, produtos e serviços tem sido a estratégia cada vez mais adotada pelas empresas e requerida pelos consumidores, possibilitando a competitividade no mercado para as empresas, além de contribuir com a escolha por parte dos consumidores na aquisição (FRIGO, 2014; MONTGOMERY, 2009).

Segundo Ribeiro e Caten (2012), o controle estatístico do processo é uma técnica estatística que permite a redução sistemática da variabilidade nas características da qualidade estudada, contribuindo com a melhoria da produtividade, da confiabilidade e custo do que está sendo avaliado. É definido como um sistema de inspeção por amostragem que, ao longo do processo, busca verificar a ocorrência de causas especiais, ou seja, causas que não são naturais e podem prejudicar a qualidade final do produto avaliado.

Para Silva *et al.* (2016), o uso do controle estatístico da qualidade não garante a solução de todos os problemas do processo, mas é um caminho lógico, racional e organizado para determinar onde os problemas estão e para encontrar maneiras de resolvê-los. Para 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.

O gráfico de controle é o método mais usado para monitorar o desempenho de um processo ao longo do tempo (VIEIRA, 2014). Um gráfico de controle é uma representação gráfica dos resultados das medidas amostrais de um processo. Um gráfico de controle é construído a partir dos eixos do sistema de coordenada (x e y), em que são plotados a linha central, os limites de advertência (superior e inferior) e os limites de controle (superior e inferior) (RAMOS; ALMEIDA; ARAÚJO, 2013).

Os gráficos de Shewhart alcançaram sucesso devido à sua simplicidade, na qual a facilidade da regra de decisão se baseia apenas no exame do último ponto observado. Em outras palavras, pode-se dizer que, se ele está além dos limites de controle do gráfico, deve-se investigar a presença de causas especiais no processo. Mas essa é também uma grande desvantagem, pois ignora qualquer informação apresentada pela sequência anterior de

pontos. Diz-se que o gráfico "não possui memória". Isso torna o gráfico do tipo Shewhart relativamente insensível a pequenas mudanças no processo, da ordem de $1,5 \sigma$ (erros padrão) ou menos (MONTGOMERY, 2009).

Werkema (1995) descreve os critérios indicativos da falta de controle de um processo, a saber: pontos fora de controle, que seria a indicação mais evidente da falta de controle de um processo. Dessa maneira, tal ocorrência pode ser resultado principalmente de erros de registro de dados e cálculos de medições, além da utilização incorreta ou defeitos dos equipamentos.

Há, também a Periodicidade, que representa uma tendência para cima e para baixo em intervalos de tempo com aproximadamente a mesma amplitude; pode ocorrer devido a mudanças sistemáticas nas condições ambientais ou a alguma variável dos equipamentos utilizados.

Ademais, há a sequência, em que vários pontos consecutivos do gráfico de controle surgem em apenas um dos lados da linha média. Esse fenômeno indica uma mudança no nível do processo relacionado a novos operadores, matérias-primas ou equipamentos. Ainda, pode-se listar a Tendência, que é um movimento contínuo dos pontos do gráfico de controle em uma direção (ascendente ou descendente), sendo que a existência de sete pontos ou mais indica falta de controle de processo.

Outra ferramenta de controle estatístico do processo (CEP) é a análise da capacidade do processo por meio de índices, que refletem a capacidade de manufaturar produtos, cuja variação inerente esteja dentro da faixa de tolerância especificada no projeto do produto (BORGES *et al.*, 2009). Isso mostra-se como uma ferramenta útil no monitoramento de sistemas de irrigação, como apontam Mercante *et al.* (2014).

A classificação, proposta por Montgomey (2009), segue especificações, as quais podem ser unilaterais ou bilaterais, tanto para processos existentes quanto novos. Para tal, o índice de capacidade calculado precisa ser maior que o tabelado, sendo considerado capaz.

De acordo com Montgomery (2009), a classificação do processo em relação ao índice de capacidade se faz de forma a considerar as especificações do processo, podendo ser bilateral ou unilateral e, para processos existentes ou novos, deve o índice de capacidade calculado ser maior que o tabelado para o processo ser considerado capaz/adequado. A Tabela 2 apresenta os valores mínimos aceitos para a classificação.

Tabela 2 - Valores para classificação do processo

	Processos Bilaterais	Processos Unilaterais
Processos existentes	1,33	1,25
Processos novos	1,50	1,45
Segurança, força ou parâmetro crítico (processos existentes)	1,50	1,45
Segurança, força ou parâmetro crítico (processos novos)	1,67	1,60

Fonte: Montgomery (2009)

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. 2017.

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

BISCARO, G. A. **Sistemas de irrigação localizada**. 1 ed. Dourados: Editora UFGD, 2014.

BORGES, R. C.; FERREIRA, E. B.; OLIVEIRA, M. S. Estudo do padrão de não aleatoriedade sequência no controle estatístico do processo. **Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2. p. 31-35, setembro, 2009.

CHRISTIANSEN, E. J. **Irrigation by sprinkling**. 1 ed. Berkley: University of California, p. 132, 1942.

FREITAS, C. A. S.; NOGUEIRA, L. K. A.; MOREIRA, L. C. J.; FERREIRA, C. S. Desempenho hidráulico de gotejadores sob o tempo de exposição ao esgoto doméstico tratado. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 1, p. 214-219, jan. – mar., 2015.

FRIGO, J. P.; VILAS BOAS, M A. M.; FRIGO, E. P.; HERMES, E.; TESSARO, E. Irrigação diurna e noturna em um sistema de aspersão convencional em Palotina. – PR. **Irriga**, Botucatu, v.18, n.2, p.318-327, abr./jun., 2013.

FRIZZONE, J. A.; FRETAS, P. S. L.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão**. 1 ed. Maringá: EDUEM, 2012.

LOPES, ALLAN & ANTONIO, MARCIO & BOAS, MÁRCIO & PAZUCH, FELIX & CORTE, LUCIANO & OSTROSKI, DIANE & REMOR, MARCELO & BOGONI, FABÍOLA & MOHR, MUNDSTOCK & DOTTO, MARCELO & ZANELLA, ALESSANDRO & FELIPE, ACIR & CARVALHO, GROLLI & FREDDO, ALVARO & BERTOLDO, IVAN & PIROLA, KELLI & GIAROLA, CAMILA. Statistical Quality Control in Uniformity of Drip Irrigation With Different Slopes. **Journal of Agricultural Science**, local, v., n., p., mês, 2019.

MERCANTE, E.; VILAS BOAS, M. A.; SILVA, B. B.; KLEIN, M. R. Utilização de gráficos de controle estatístico na irrigação. **Revista eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, local, v. especial, n., p. 97-108 maio, 2014.

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

OKER, T. E.; KISEKKA, I.; SHESHUKOV, A. Y.; AGUILAR, J.; ROGER, D. H. Evaluation of maize production under mobile drip irrigation. **Agricultural Water Management, Elsevier**, v. 210, n., p.11-21, agosto, 2018.

OMOFUNMI, O. E.; ILESANMI, O. A.; ORISABINONE, T. Performance evaluation of hydraulic parameters of a developed drip irrigation system. **Malaysian Journal of Civil Engineering**, v. 31, n. 2, p. 9-16, julho, 2019.

PEREIRA, F. A. L.; SILVA, S. de L.; MEDEIROS, J. F. de; FIGUEIRÊDO, V. B.; QUEIROZ JÚNIOR, I. de S.; SOUZA NETO, M. P. de. Automação de precisão utilizando arduino e inversor de frequência aplicado a sistemas de irrigação por válvulas. **Irriga**, [s.l.], v. 25, n. 1, p. 27-37, 2020.

PETRY, J. F.; SEBASTIÃO, S. A.; MARTINS, E. G.; BARROS, P. B. A. Inovação e difusão de tecnologia na agricultura de várzea na Amazônia. **Revista de Administração Contemporânea**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 619-635, set-out, 2019.

POLONI, C. M. M.; VIEIRA, G. H. S.; DE FREITAS, J. J. G.; LOSS, J. B.; PETERLE, G.; LO MONACO, P. A. V. Desempenho de emissores aplicando resíduos finos de rochas ornamentais. **Irriga**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 118-126, 2018.

SAAD, J. C. C.; JEFERY, A. P. R. S. Efeito da espessura da parede no desempenho hidráulico de mangueiras gotejadoras. **Irriga**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 139-149, janeiro, 2015.

SUSZEK, F. L.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C.; JUCHEN, C. R.; LIMA, V. L. A. Desobstrução de emissores com ácido fosfórico em fertirrigação com cloreto de potássio vermelho. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 1, p. 9-24, fevereiro, 2019.

SIQUEIRA, M. M. K.; VILAS BOAS, M. A.; SIQUEIRA, J. A. C.; TOKURA, L. K. Techniques for quality control in football field located in agricultural area. **Journal of Agricultural Science**, local, v. 10, n. 9, p. 430-442, agosto, 2018.

TOLENTINO JÚNIOR, J. B.; MARINHO, L. B.; SOUZA, C. F.; FRIZZONE, J. A. Desenvolvimento de um modelo numérico para modelagem do bulbo molhado em irrigação por gotejamento. **Irriga**, Botucatu, v., n., p.11-20, 2014.

TORRES-RUA, ALFONSO F. **Bayesian Data-Driven Models for Irrigation Water Management**. Orientador: Walker Winn, 2011. p 122. Tese de Doutorado, Engenharia Civil. Utah State University, Logan, Utah, 2011.

VILAS BOAS, MARCIO ANTONIO. **Fundamentos de Irrigação localizada**. Cascavel: EDUNIOESTE, 2016.

ZOCOLER, J. L.; RIBEIRO, P. H. P.; SILVA, N. S.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L. Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento com água salina. **Irriga**, v., n., p. 234-247, 2015.

5 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Irrigação e Fertirrigação (LIF), no campo experimental do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel-PR, nas coordenadas geográficas 24° 54' 0" Sul e 53° 31' 48" Oeste.

Para a realização do experimento, foi utilizada uma bancada de irrigação por gotejamento de 5 m com as seguintes características: sistema de roldanas como retorno da linha lateral, obtendo 10 m de comprimento; largura da bancada de 1,55 m, com espaço para quatro linhas; calhas para o retorno de água para um reservatório e uma motobomba Acquapump (Ferrari®); motor de 0,5 cv, vazão máxima (Q) de 1,8 m³ h⁻¹, altura manométrica máxima (Hm) de 22 mca.

A plataforma é constituída de perfis de aço e cabos para a elevação, possibilitando a criação de inclinações para a linha lateral. A Figura 1 mostra o layout da bancada de teste em perspectiva.

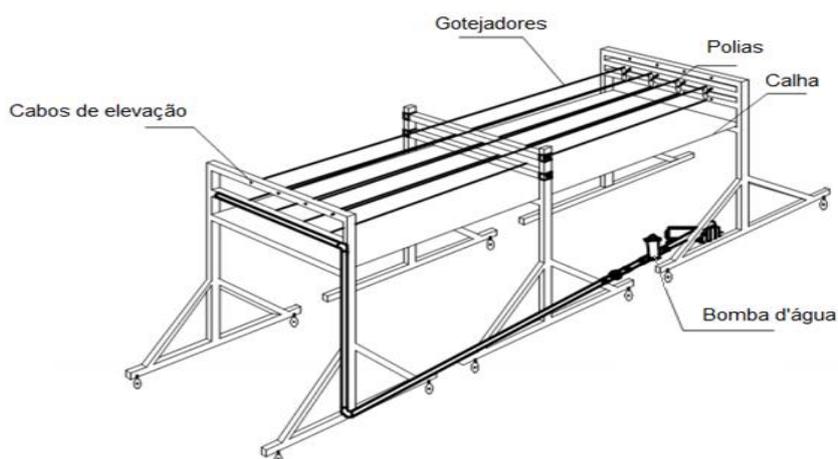


Figura 1 - Ilustração da bancada de teste para sistema de irrigação por gotejamento (Szekut et al, 2018)

O gotejador utilizado foi da marca Brasil Drip®, modelo Pantanal, com função para irrigação superficial e subsuperficial, autocompensante consistida de emissores de fluxo turbulento do tipo labirinto, com espaçamento de 0,20 m entre os gotejadores, que estão presos à parede da tubulação, com um mecanismo contra a sucção de detritos.

Um filtro de disco de 120 mesh da marca Irritec®, modelo FLD e dois manômetros digitais da marca INSTRUTEMP®, modelo 8215 (100 mwc), foram os demais equipamentos do sistema de irrigação.

A verificação da pressão (kPa) foi realizada por manômetros que foram instalados no início da 1ª linha lateral e no final da 4ª linha lateral dois manômetros digitais INSTRUTEMP – Modelo 8215 com precisão de 0,3% a $\pm 25^{\circ}\text{C}$.

O gotejador tem de espessura da parede 0,15 mm, e pressão máxima de trabalho de 78,45 kPa, e vazão de 1,67 L h⁻¹ indicado pelo fabricante, coeficiente de proporcionalidade da equação do emissor (K) de 0,182 e expoente de descarga (x) de 0,52.

O delineamento experimental ocorreu em blocos casualizados em esquema fatorial 4x3 composto de 4 blocos, no qual foi avaliada a concentração de fertilizante em três níveis de declividade, com parcelas divididas em dois fatores, sendo o principal fator o tipo de água, representado por quatro parcelas: água limpa (proveniente do abastecimento público) e água com fertilizante nitrogenado em três concentrações (2 g L⁻¹; 4 g L⁻¹; 6 g L⁻¹) e, como segundo fator, os níveis de declividade, representado pela subparcela: (aclive, nível e declive), portanto, totalizaram 12 tratamentos com 25 repetições, finalizando com 300 ensaios.

As variáveis respostas obtidas foram vazão, pH e condutividade elétrica.

Sendo assim, os tratamentos realizados foram:

- T1: Sistema de irrigação com água limpa e nível (0% inclinação);
- T2: Sistema de irrigação com água limpa e aclive (-2% inclinação);
- T3: Sistema de irrigação com água limpa e declive (+2% inclinação);
- T4: Sistema de fertirrigação com 2 g L⁻¹ de ureia e nível (0% inclinação);
- T5: Sistema de fertirrigação com 2 g L⁻¹ de ureia e aclive (-2% inclinação);
- T6: Sistema de fertirrigação com 2 g L⁻¹ de ureia e declive (+2% inclinação);
- T7: Sistema de fertirrigação com 4 g L⁻¹ de ureia e nível (0% inclinação);
- T8: Sistema de fertirrigação com 4 g L⁻¹ de ureia e aclive (-2% inclinação);
- T9: Sistema de fertirrigação com 4 g L⁻¹ de ureia e declive (+2% inclinação);
- T10: Sistema de fertirrigação com 6 g L⁻¹ de ureia e nível (0% inclinação);
- T11: Sistema de fertirrigação com 6 g L⁻¹ de ureia e aclive (-2% inclinação);
- T12: Sistema de fertirrigação com 6 g L⁻¹ de ureia e declive (+2% inclinação);

A metodologia adotada para a coleta da vazão do sistema de irrigação por gotejamento foi realizada de acordo com Keller e Karmelli (1975), os quais recomendam a obtenção de vazão em quatro pontos ao longo da linha lateral, sendo 16 gotejadores avaliados.

Essa metodologia consiste na determinação da vazão em quatro emissores por linha lateral, ou seja, o primeiro gotejador, os gotejadores situados a 1/3 (17º gotejador) e a 2/3 (34º gotejador) do comprimento da linha lateral e o último gotejador (50º) em quatro linhas. A posição demarcada varia de acordo com o número total de gotejadores presente ao longo do comprimento da linha lateral preestabelecido no projeto.

Os coletores foram posicionados próximo às saídas determinadas pela metodologia de Keller e Karmelli (1975), com o volume coletado nos emissores durante 3 minutos.

Foram realizados 25 ensaios para cada tratamento, em aclive (2%), nível (2%) e declive (2%) (ASABE, 1993); número de amostras apresenta-se dentro do limite ideal para

testes de controle de qualidade, segundo Montgomery (2016). Foi realizada uma retrolavagem do sistema após o término de cada ensaio por inclinação.

Foram medidos, em laboratório, o potencial hidrogeniônico (peagâmetro Tec-3MP) e a condutividade (condutímetro Tec-4MP) da água e do fertilizante, de tal modo que, para cada tratamento, foi coletada uma amostra por ensaio, a fim de otimizar o tempo de análise dessa variável.

A vazão dos gotejadores foi mensurada pelo método gravimétrico, que consiste na pesagem de um determinado volume de água obtido em um determinado tempo, a fim de se obter maior precisão na determinação do volume. Conforme recomendado pela NBR 9261 (ABNT, 2006), determinou-se a vazão dos emissores, com base na Equação 3:

$$q = \frac{V}{1000xt} \times 60 \quad \text{Eq. (02)}$$

Em que:

q – Vazão do gotejador, L h⁻¹;

V – Volume da solução coletada, mL;

t – Tempo de coleta, min.

A partir da vazão, do pH e da condutividade elétrica dos 16 gotejadores por ensaio, foram calculados o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por Christiansen (1942), e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD).

Dessa maneira, com dados de vazão coletados, foram calculados os Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por Christiansen (1942), um dos mais utilizados, pois adota o desvio médio absoluto como medida de dispersão e de Distribuição (CUD), apresentados nas Equações 4 e 5, respectivamente.

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - x_{med}|}{n \cdot x_{med}} \right) \quad \text{Eq. (04)}$$

Em que: CUC: Coeficiente de Uniformidade de Chistiansen (%); xi: Valores individuais do volume de água contido nos coletores (mm); Xmed: média geral do volume de água coletado (mm); n: Número de coletores na área de ensaio.

$$CUD = 100 \left(\frac{x_{25}}{x_{med}} \right) \quad \text{Eq. (05)}$$

Em que: CUD: Coeficiente de Uniformidade de distribuição (%); X_{25} : Média do menor quartil dos volumes de água nos coletores (mm); X_{med} : média geral do volume de água coletado (mm).

Frizzone *et. al* (2012) propuseram a classificação do CUC e CUD de acordo com os valores obtidos a fim de identificar a eficiência do sistema de irrigação, a qual é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação do CUC e CUD para sistemas de irrigação por gotejamento

Classificação	CUC (%)	CUD (%)
Excelente	> 90	> 90
Bom	90 – 80	90 – 80
Regular	80 – 70	80 – 70
Ruim	70 – 60	70 – 60
Inaceitável	<60	<60

Fonte: Frizzone *et al.* (2012).

Para monitorar os valores de coeficiente de uniformidade de distribuição, foram utilizados gráficos de controle, Shewhart.

Para elaboração e interpretação do gráfico de controle de Shewart, foi calculado o Limite Superior de Controle (LSC) e o Limite Inferior de Controle (LIC), por meio da Equação 06 e 07.

$$LSC = \bar{X} + 3 \frac{\bar{R}}{d_2} \quad \text{Eq. (06)}$$

$$LIC = \bar{X} - 3 \frac{\bar{R}}{d_2} \quad \text{Eq. (07)}$$

Em que: \bar{X} : Média do processo; \bar{R} : Amplitude móvel das observações; d_2 : Valor pré-determinado de acordo com o número de repetições.

Com o intuito de avaliar a capacidade do processo, utilizou-se a metodologia proposta por Montgomery (2009), em que se calcula o índice de capacidade do processo (C_p), utilizado quando o processo se encontra estável, ou seja, com controle estatístico, em que a variável apresenta distribuição próxima à normal.

Quando o processo se encontra estável, aplica-se o C_{pk} (processos unilaterais). O índice da capacidade do processo pode ser expresso pela Equações 08 e 09, sendo C_{pk} o menor valor entre C_{ps} e C_{pi} , como demonstrado na Equação 09.

$$C_{pi} = \frac{\bar{x} - LSI}{3\sigma} \quad \text{Eq.(08)}$$

$$C_{ps} = \frac{USI - \bar{x}}{3\sigma} \quad \text{Eq. (09)}$$

$$C_{pk} = \min(C_{pi}; C_{ps})$$

A classificação do processo para valores de uniformidade, quando existentes, estabelece $C_p \geq 1,25$ em capaz ou adequado, já que o gotejador é usado e apresenta especificações unilaterais (MONTGOMERY, 2009). Isso porque o maior interesse de controle, nesta pesquisa, foi unilateral inferior, no caso 80 e 86%, 90 e 94%, para classificação da uniformidade em bom ou excelente, respectivamente; o valor de C_{pi} foi utilizado como referência.

O software MINITAB 16 foi utilizado para a realização dos testes de normalidade, comparação estatística, Gráfico de Shewhart e Índice de capacidade de processo.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta a análise físico-química para água com três concentrações de ureia. O entupimento do emissor tem um impacto direto no desempenho e na vida útil de um sistema de irrigação por gotejamento Zhang *et al.* (2017). Assim, a presença de íons, ferro e manganês em altas concentrações é o principal determinante, visto que reduz a área de contato da água, aumentando a perda de carga e fazendo com que haja perda de pressão no sistema; conseqüentemente, há a redução da vazão nos emissores.

Portanto, a análise da qualidade de água é um fator importante na irrigação para que altos níveis de uniformidade sejam alcançados e o entupimento seja reduzido.

Observando a Tabela 3, verifica-se que apenas o manganês apresentou risco moderado de entupimento para ambas as concentrações analisadas. De acordo com Nakayama & Bucks (1986), Capra e Scicolone (1998), todos os demais parâmetros físico-químicos analisados apresentam baixo risco de entupimento.

Os valores médios obtidos para o pH da água limpa e água com fertilizante apresentaram resultados acima dos limites previstos. Segundo Nakayama *et al.* (2007), valores de pH acima de 7,2 favorecem a precipitação de elementos, como o cálcio e magnésio em filtros, canos e emissores, contribuindo para o entupimento do gotejador. Diante disso, verifica-se que o aumento da concentração de ureia em 6 g L⁻¹ influenciou o acréscimo do pH ao apresentar 7,75. A condutividade elétrica medida nos ensaios permanece dentro dos valores indicados por Nakayama e Bucks (1986), que não aconselham utilizar para a irrigação quando apresentar CE acima de 3,0 dS.m¹.

Tabela 3 - Parâmetros físico-químicos para água limpa e água com ureia em diferentes concentrações.

Parâmetros	Água limpa	Ureia 2 gL ⁻¹	Ureia 4 gL ⁻¹	Ureia 6 gL ⁻¹
Ferro Total (mg L ⁻¹)	1,02*	0*	0*	0*
Manganês (mg L ⁻¹)	-0,06*	0,02**	0,02**	0,04**
Sólidos em suspensão (mg L ⁻¹)	40*	236	60	292
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	0,058	0,070	0,072	0,076
pH	7,41*	7,51*	7,43*	7,75*
Cálcio (mg L ⁻¹)	2,95*	0	0	0
Magnésio (mg L ⁻¹)	0,77*	0,78*	0,79*	0,80*
Nitrogênio Total (mg L ⁻¹)	0,06	8,77	18,19	25,52

Ferro Total (mg L⁻¹): Baixo (< 0,2 mg L⁻¹); Médio (0,2-1,5 mg L⁻¹); Alto (> 1,5 mg L⁻¹). Fonte: NAKAYAMA & BUCKS (1986). *Baixo risco de entupimento, ** Risco moderado de entupimento e ***Risco severo de entupimento.

A avaliação da normalidade da distribuição dos dados é essencial para a adequada descrição da amostra e sua posterior análise. Portanto, foram realizados testes de normalidade de Anderson Darling, executados pelo pacote estatístico Minitab 16. Os testes

foram efetuados para os parâmetros CUC (%) e CUD (%), para todas as concentrações aplicadas na declividade da linha lateral.

Para o conjunto de dados avaliado na Tabela 4, em relação aos parâmetros de CUD e CUC, em diferentes topografias, verifica-se que, pelo menos um apresenta distribuição normal, no entanto, no mesmo conjunto de dados, foram verificados grupos com p-valor abaixo de 0,05. Portanto, aplicou-se Kruskal-Wallis para análise de dados não paramétricos.

Observa-se, na Tabela 4, o p-valor <0,05 pelo Teste de Kruskal-Wallis em todos os níveis de inclinação para ambos os coeficientes de uniformidade, ou seja, houve diferença estatística entre as concentrações e níveis de inclinação. Demonstra-se, assim, que alterações na concentração de ureia modificam a uniformidade de distribuição da solução nitrogenada no sistema de fertirrigação. Desse modo, foram aplicados testes de comparação múltipla por meio do teste de Mann-Whitney, para comparação de dados não paramétricos ao nível de 5% de significância, os quais estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 4 - Análise descritiva dos valores CUD e CUC para as diferentes concentrações de ureia na declividade da linha lateral.

Variável		Normalidade dos dados (p-Valor)	MÍN	1 Quartil	Mediana	3 Quartil	Max	Kruskal Wallis (p-Valor)	
CUD	SISTEMA EM NÍVEL	0	0,009	93,39	95,12	96,31	96,78	97,47	<0,005
		2	0,008	78,95	84,73	86,56	87,59	96,85	
		4	0,756	79,89	83,21	84,49	85,80	87,40	
		6	0,089	63,11	76,98	80,13	85,28	90,83	
CUC	SISTEMA EM NÍVEL	0	0,007	93,39	95,11	96,27	96,80	97,47	<0,005
		2	0,007	88,41	91,97	93,15	93,51	95,11	
		4	0,560	89,76	91,57	92,20	92,95	93,63	
		6	<0,005	64,65	88,29	89,75	92,16	95,07	
CUD	SISTEMA EM ACLIVE	0	<0,005	95,51	96,66	97,26	97,44	97,70	<0,005
		2	<0,005	71,88	86,57	88,38	90,38	93,04	
		4	0,171	86,70	89,16	89,91	92,43	93,73	
		6	0,358	91,80	93,51	94,18	95,07	96,54	
CUC	SISTEMA EM ACLIVE	0	<0,005	92,97	93,99	95,50	95,93	96,32	<0,005
		2	<0,005	85,94	92,86	93,94	94,72	95,66	
		4	0,075	86,70	89,16	89,91	92,43	93,73	
		6	0,879	91,80	93,51	94,18	95,07	96,54	
CUD	SISTEMA EM DECLIVE	0	<0,005	83,59	92,46	93,47	93,78	96,13	<0,005
		2	0,020	83,42	89,09	91,12	92,04	93,11	
		4	0,171	74,33	80,16	81,58	86,12	87,93	
		6	0,011	86,94	90,17	90,70	91,63	92,74	
CUC	SISTEMA EM DECLIVE	0	<0,005	91,70	95,37	96,04	96,26	97,17	<0,005
		2	0,074	91,42	94,09	95,22	95,69	96,44	
		4	0,075	86,70	89,15	89,91	92,43	93,73	
		6	<0,005	93,16	94,97	95,26	95,49	96,19	

Pelo teste de comparação múltipla, o tratamento controle (sem fertilizante) diferiu estatisticamente dos demais tratamentos para o sistema em nível. Dessa maneira, ao analisar a Tabela 5, pode-se verificar que, em nenhuma de suas comparações, o p-valor foi superior a 0,05 para CUD. Na Figura 2, é possível observar com mais clareza os resultados por meio

do box plot, como a uniformidade para CUD é superior, aplicando apenas água, sendo o único tratamento com mediana acima de 90%, de forma que mantém excelência, segundo Frizzone (2012).

Resultados semelhantes foram apresentados por Lopes *et al.* (2019), ao analisarem a uniformidade de aplicação de água em um sistema de irrigação por gotejamento. Portanto, sob diferentes declividades, obtiveram resultados de 99,03%, para CUC, e 98,45%, para CUD.

Considerando os valores de mediana, apresentados na Tabela 4, para CUD, observa-se um comportamento decrescente na uniformidade, conforme a alteração na concentração de ureia e declividade da linha lateral, que pode chegar a 16,18% para o sistema em nível (96,31% a 80,13%), sendo quase seis vezes menor para o sistema em declive, com 2,77% (93,47% a 90,70%). Isso porque apresentou maior semelhança ao sistema em aclave com 3,08% (97,26% a 94,18%), sendo mais sensível na análise, comparado ao CUC, que apresentou menor variação. Portanto, o acréscimo na concentração de fertilizante afetou a uniformidade, apresentando maior variação na uniformidade para o sistema em nível.

Salienta-se, na Tabela 5, para a comparação múltipla de dados, para CUD, a variação na concentração de ureia, que foi estatisticamente diferente para o sistema em nível não apresentando a mesma diferença quando analisado o sistema em declive. Ao comparar 2 g L⁻¹ e 6 g L⁻¹, a uniformidade não diferiu ao apresentar p-valor >0,05, confirmando os resultados apresentados na Tabela 4.

Szekut *et al.* (2018), Lopes *et al.* (2019), estudando a uniformidade de distribuição de aplicação de irrigação em bancada, observaram maior excelência na operação para linhas dispostas em declive, comparado ao nível e aclave.

Tabela 5 - Comparação múltipla de dados para CUC e CUD

Comparação		CUC	CUD	CUC	CUD	CUC	CUD
		NÍVEL	NÍVEL	ACLIVE	ACLIVE	DECLIVE	DECLIVE
P – Valor							
0	2	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,001	<0,005
0	4	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
0	6	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,001	<0,005
2	4	<0,005	<0,005	0,050	0,005	<0,005	<0,005
2	6	0,332	<0,005	<0,005	<0,005	0,938	0,613
4	6	<0,005	<0,005	0,001	0,018	<0,005	<0,005

De modo geral, o melhor desempenho foi observado para sistema em declive nas concentrações 2 g L⁻¹ e 6 g L⁻¹, com valores de uniformidade >90%; no entanto, ao aplicar concentrações de 4 g L⁻¹, o sistema apresentou alteração na uniformidade com valores entre 80 e 85%. Como mostra a Figura 2, a maior queda de uniformidade foi observada ao aplicar 4 g L⁻¹ em aclave quando o sistema apresentou valores de uniformidade <80% para o 1 quartil, o que pode ser observado na Tabela 4.

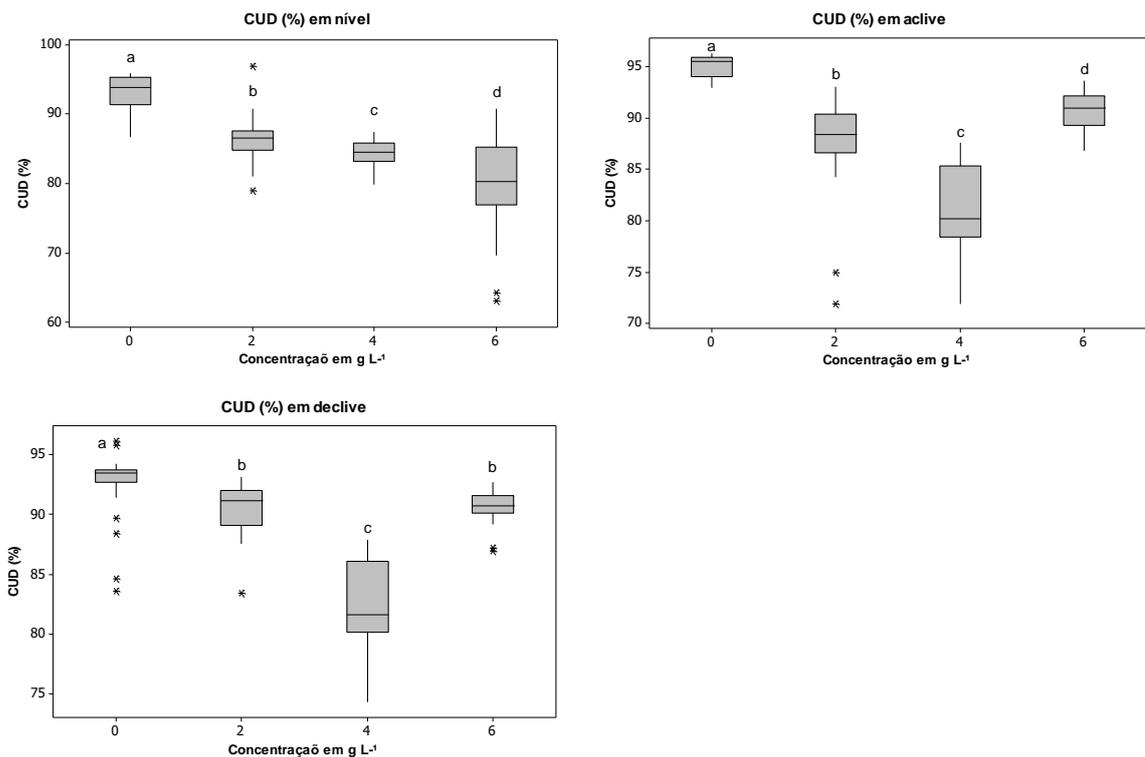


Figura 2 - Box-plot para CUD (%) em nível, active e declive

De modo geral, o melhor desempenho foi observado para sistema em declive nas concentrações 2 g L⁻¹ e 6 g L⁻¹, com valores de uniformidade >90%, no entanto, ao aplicar concentrações de 4 g L⁻¹, o sistema apresentou alteração na uniformidade com valores entre 80 e 85 %. Como mostra a Figura 2, a maior queda de uniformidade foi observada ao aplicar 4 g L⁻¹ em active quando o sistema apresentou valores de uniformidade <80% para o 1 quartil, o que está evidenciado na Tabela 4.

Para verificar se o processo se encontra sob controle estatístico, gráficos de Shewhart foram confeccionados para medidas individuais em relação aos CUC (%) e CUD (%), com a finalidade de identificar a variabilidade da uniformidade de distribuição durante os 25 ensaios para nível, active e declive nas diferentes concentrações de fertilizante. Seguindo Montgomery (2009), para aplicação dos Gráficos de Shewhart, bem como o Índice de capacidade do processo, os dados precisam atender às especificações de normalidade e não apresentar autocorrelação entre eles. Como apresentado na Tabela 6, apenas os tratamentos com p-valor > 0,05 serão considerados na análise, de acordo com o teste de AndersonDarling.

Considerando a autocorrelação entre eles, apenas a concentração 2 g L⁻¹ para CUD em declive não será analisada. Com isso, foram determinados os Gráficos de controle de Shewhart e Índice de capacidade do processo para os tratamentos, seguindo Montgomery (2009).

Tabela 6 - Normalidade e Autocorrelação dos dados

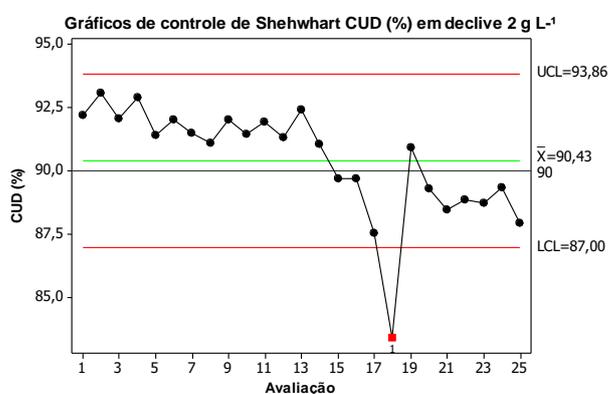
Variável		Normalidade dos dados (p-Valor)		Autocorrelação
CUD	SISTEMA EM NÍVEL	4	0,756	Não
		6	0,089	Não
CUC	SISTEMA EM NÍVEL	4	0,560	Não
CUD	SISTEMA EM ACLIVE	4	0,171	Não
		6	0,358	Não
CUC	SISTEMA EM ACLIVE	4	0,075	Não
		6	0,879	Não
CUD	SISTEMA EM DECLIVE	4	0,075	Não
CUC	SISTEMA EM DECLIVE	2	0,074	Sim
		4	0,075	Não

Dessa maneira, a Figura 3 apresentou a aplicação individual dos gráficos Shewhart, para análise dos índices de uniformidade CUC (%), apenas para o sistema em declive com 2 g L^{-1}

O gráfico possibilita a apresentação de pontos amostrais dentro dos limites de controle, o que equivale a não rejeitar a hipótese de que o processo está sob controle estatístico. Nesse contexto, pontos fora dos limites equivalem a rejeitar essa hipótese, conforme Montgomery (2016).

O sistema em declive apresenta uma sequência de eventos acima da média com queda expressiva da vazão (13 ao 18), excedendo o limite inferior de controle, de maneira que pontos isolados podem ser alarmes falsos.

Frigo *et al.* (2013), estudando a uniformidade para irrigação diurna e noturna, constataram ensaios abaixo do limite inferior de controle (LIC) em todos os tratamentos. Andrade (2017), ao avaliar a influência da inclinação topográfica no processo da fertirrigação, obteve resultados semelhantes ao observar pontos isolados fora dos limites de controle.

**Figura 3** - Gráfico de controle de Shwhart CUC (%) em declive 2 g L^{-1}

Analisando o Gráfico de Shewhart para o CUC (%), em nível para concentração 4 g L^{-1} (Figura 4), verifica-se um ponto fora dos limites de controle, não aleatoriedade em torno da média, bem como linhas de tendência crescente entre as avaliações (11 a 15) e decrescente de (5 a 9), características que configuram um sistema fora dos limites de controle. No entanto, para Zhang *et al.* (2017), o entupimento de cada emissor pode ter aleatoriedade, além da variação da taxa de fluxo de um único emissor, que pode não representar totalmente o quadro completo do grau de entupimento do emissor do sistema de irrigação, o qual é de interesse. Ainda, para o sistema nível, embora os pontos não obedeçam às características de controle de qualidade, todos os pontos apresentaram altos índices de uniformidade $>90\%$.

Já para o sistema em aclave com a mesma concentração, os pontos mantiveram-se entre os limites de controle, além de permanecerem na aleatoriedade em torno da média, ao longo dos primeiros 8 pontos avaliados. Todavia, observa-se queda na uniformidade entre os pontos (9 a 14) e (16 a 21) e linha de tendência (21 a 25). Comparado ao sistema em nível, seu desempenho não foi satisfatório, visto que, entre os ensaios (12 a 19), verifica-se a maior queda na uniformidade.

Discutindo a irrigação por gotejamento por meio do Gráfico de Shewhart Hermes *et al.* (2013; 2014; 2015), também observaram eventos abaixo do limite inferior de controle.

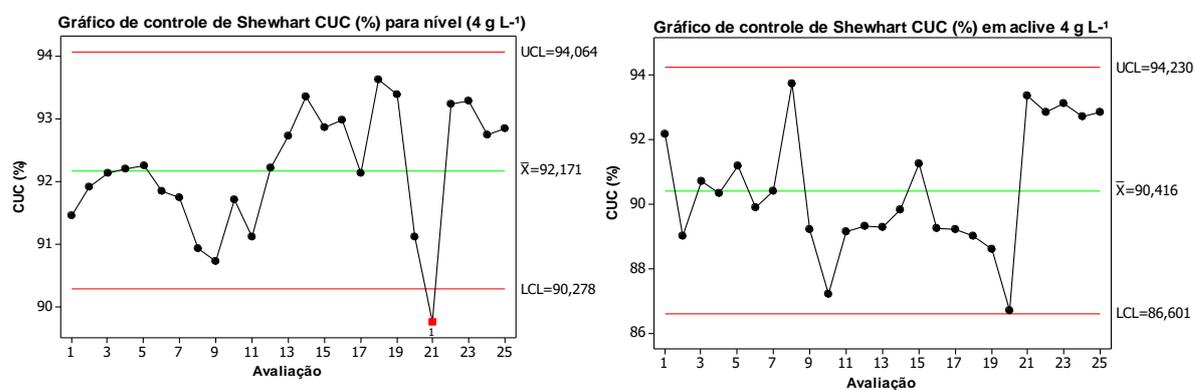


Figura 4 - Gráfico de controle de Shewhart CUC (%) em nível, aclave para 4 g L^{-1}

Para os sistemas em nível e aclave, são observados pontos seguidos abaixo ou acima da linha média; com isso, verifica-se uma tendência de dados. Para Montgomery (2009), quando sete valores apresentam esse comportamento, por suposição, há uma provável falta de controle estatístico. Apenas o sistema em declive manteve-se dentro dos limites de controle, no entanto, foi identificada sequência decrescente de (8 a 12). Szekut *et al.* (2018) relatam que linhas posicionadas em declive indicam melhores condições de trabalho comparadas com sistema em nível e aclave.

Em relação aos valores de uniformidade, todos os níveis de inclinação apresentaram valores <90%, quando comparados aos resultados encontrados para CUC (%), presentes na Figura 5. Ribeiro *et al.* (2012) também obtiveram valores de CUD menor que o CUC, justificando que esse fato é inerente às variáveis das equações para o cálculo do CUD, na qual se consideram 25% da área que recebeu as menores lâminas, mas não é uma regra para conjunto de dados Zhang e Merkle (2012). O pior desempenho foi verificado para o sistema em aclave com valores inferiores a 75%, para CUD, classificado como regular, segundo Frizzone *et al.* (2012).

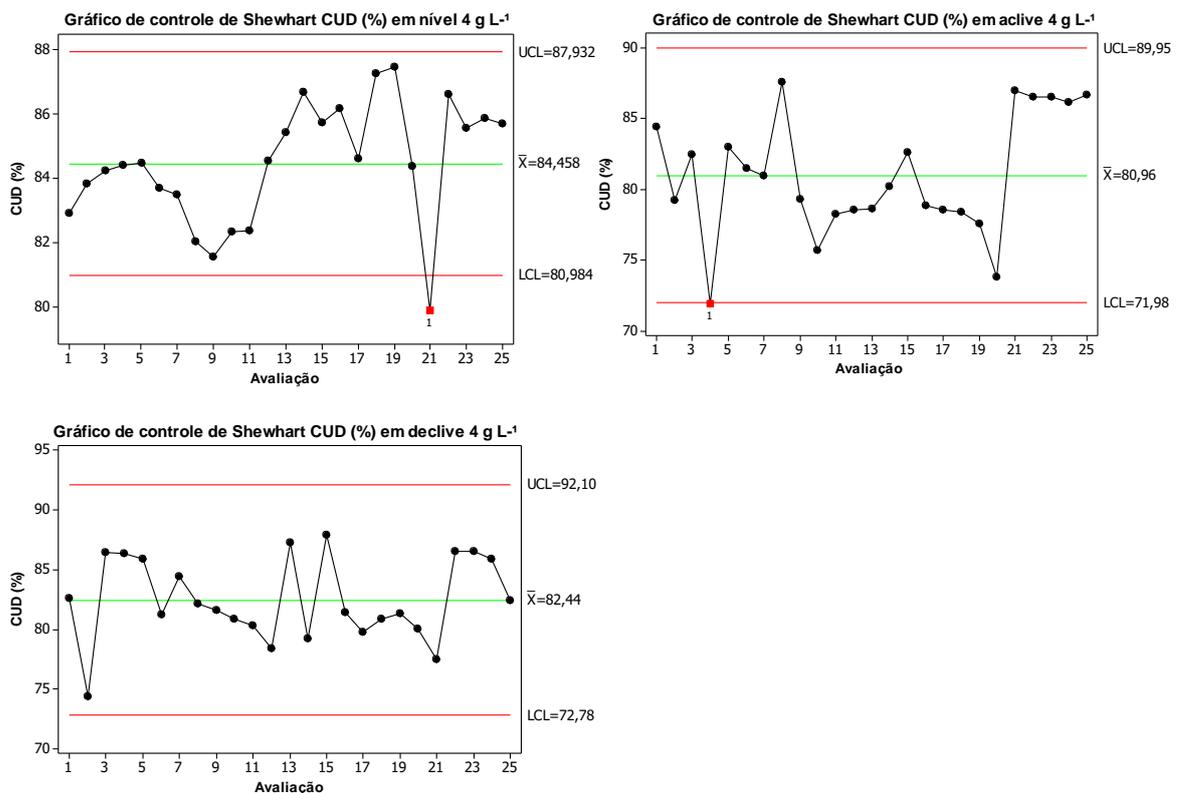


Figura 5 - Gráficos de controle de Shewhart CUD (%) em nível, aclave e declive para 4 g L⁻¹

Analisando a distribuição de dados em relação à linha do valor 70% (Figura 5), de acordo com Frizzone *et al.* (2012), valor mínimo de uniformidade de irrigação é classificado como ruim. Dessa maneira, os pontos 9, 17 e 23 apresentam valores abaixo dessa linha. Estando assim, são os espaçamentos menos adequados em relação à uniformidade de distribuição para o parâmetro CUD (%), de acordo com o gráfico de controle. O aumento da concentração de ureia em 6 g L⁻¹ afetou a uniformidade do sistema em nível, com valores para CUD < 70%, observados no Gráfico de controle de Shewhart (Figura 6).

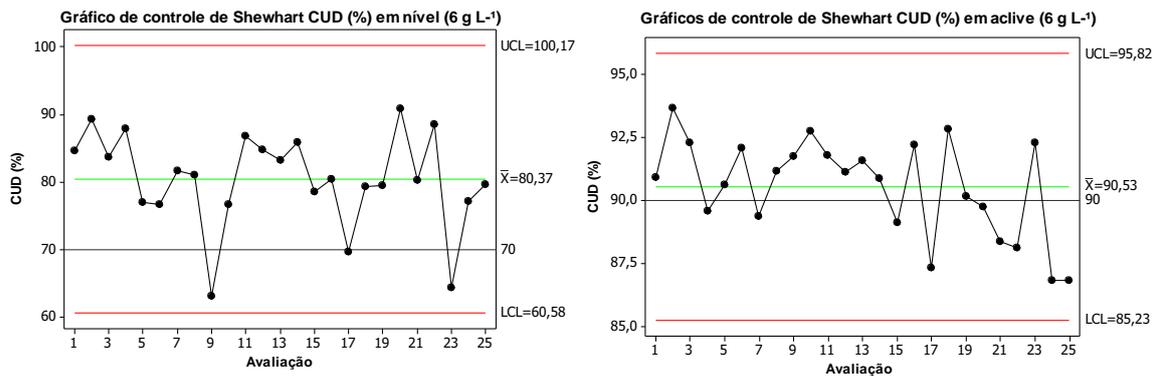


Figura 6 - Gráfico de controle de Shewhart CUD (%) em nível para 6 g L⁻¹

Já para o sistema em active (Figura 7), não houve o mesmo comportamento, visto que os valores de uniformidade atenderam ao mínimo (>90%). Segundo classificação de Frizzone *et al.* (2012), para CUC (%), os pontos mantiveram-se aleatórios na média, bem como no gráfico para CUD (%), ainda que os ensaios (17 ao 25) possuam valores abaixo da linha média; isso não é considerado como uma tendência, de acordo com Montgomery (2009). Diante disso, resultado semelhante foi obtido por Andrade (2017), que observou pontos acima da linha média ao estudar a utilização de gráficos de controle de Shewhart no espaçamento de microaspersores.

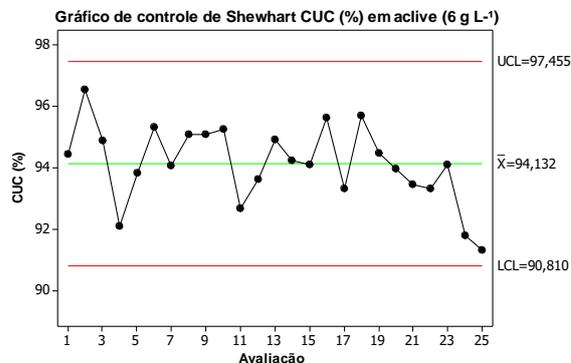


Figura 7 - Gráficos de controle de Shewhart CUC e CUD (%) em active para 6 g L⁻¹

No que se refere ao Índice de capacidade do processo (Tabela 7), foi considerado apenas o limite inferior de controle. Assim, o valor 80% foi adotado como bom e 90%, como excelente, de acordo com a classificação de Frizzone *et al.* (2012), para os parâmetros de CUC e CUD. Ressalta-se que, segundo Montgomery (2009), para processos existentes e com especificações unilaterais, os valores iguais ou acima de 1,25 são capazes de se manter sob controle. Dessa maneira, na Tabela 5, o parâmetro CUC para LIC = 90%, considera o sistema em nível adequado; quando aplicado para LIC = 80%, não apresentou médias dentro dos limites pré-estabelecidos; para CUD, não houve avaliação, pois, os valores não apresentaram normalidade e não correlação, seguindo Montgomery (2009).

Hermes *et al.* (2015) obtiveram Cpl = 2,04, para o CUC, acima de 80%. Juchen *et al.* (2013) também trabalharam com irrigação por gotejamento, aplicação de efluentes de laticínios e abatedouros, de maneira que obtiveram 2,87 Cpl, indicando a capacidade do processo.

Tabela 7 - Índice de capacidade do processo 2 g L⁻¹

Tratamento	CUC		CUD	
	Cpl LIC = 90%	Cpl LIC = 80%	Cpl LIC = 90%	Cpl LIC = 80%
Nível	2,86	*	*	*

* Não se pode calcular o índice de capacidade do processo, não apresentaram médias dentro dos limites pré-estabelecidos.

De acordo com a Tabela 8, no índice de capacidade do processo, também foi considerado apenas o limite inferior de controle, de maneira que o valor de 80% foi adotado como bom e 90%, como excelente, seguindo a classificação de Frizzone *et al.* (2012). De acordo com as especificações de Montgomery (2009), para LIC = 80%, tanto os sistemas em aclave quanto em declive são adequados para CUC, enquanto, para CUD, com LIC = 80%, somente o sistema em nível está dentro das especificações. Sendo assim, o melhor desempenho foi verificado para o sistema em aclave, no entanto, nenhum sistema apresentou-se capaz com LIC = 90%, valor mínimo de uniformidade de irrigação classificado como excelente de acordo com Frizzone *et al.* (2012).

Tabela 8 - Índice de capacidade do processo 4 g L⁻¹

Tratamento	CUC		CUD	
	Cpl LIC = 90%	Cpl LIC = 80%	Cpl LIC = 90%	Cpl LIC = 80%
Nível	1,15	*	*	1,28
Aclave	0,11	2,73	*	0,11
Declive	0,06	1,33	*	0,11

* Não se pode calcular o índice de capacidade do processo, não apresentaram médias dentro dos limites pré-estabelecidos.

No que se refere à Tabela 9, considera-se somente o limite inferior de controle, o valor 80%, como bom, e 90%, como excelente, classificação estabelecida por Frizzone *et al.* (2012) para CUC e CUD.

O parâmetro CUC, para LIC = 80%, apenas aclave, apresentou média dentro dos limites estabelecidos e mostrou-se capaz, com 4,25. Analisando o parâmetro CUD para LIC = 80%, considera-se que o aclave é adequado, enquanto, em relação a LIC = 90%, nenhum dos níveis se mostrou adequado.

Tabela 9 – Índice de capacidade do processo 6 g L⁻¹

Tratamento	CUC		CUD	
	Cpl LIC = 90%	Cpl LIC = 80%	Cpl LIC = 90%	Cpl LIC = 80%
Nível	*	0,50	*	*
Active	1,24	4,25	0,10	1,99

* Não se pode calcular o índice de capacidade do processo, não apresentaram médias dentro dos limites pré-estabelecidos.

7 CONCLUSÕES

O aumento da concentração de ureia em 6 g L⁻¹ influenciou o acréscimo do pH, ao apresentar 7,75 acima dos limites previstos para irrigação.

A condutividade elétrica medida nos ensaios permaneceu dentro dos valores indicados, não ultrapassando 3,0 dS.m¹.

O acréscimo da concentração de ureia em 4 g L⁻¹ afetou a uniformidade em todos os níveis de inclinação, ao apresentar valores para CUD inferiores a 90%, observados no Gráfico de controle de Shewhart.

O aumento da concentração de ureia em 6 g L⁻¹ afetou a uniformidade distribuição do sistema em nível, com valores para CUD < 70%, observados no Gráfico de controle de Shewhart.

O CUD foi mais rigoroso na análise de controle estatístico para os Gráficos de Shewhart, comparado ao CUC.

O sistema mostrou-se capaz de aplicar concentrações até 2 g L⁻¹ em nível, ao apresentar Cpl = 2,86.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS – ASABE. **Field evaluation of micro-irrigation systems**. St. Joseph, 1996.

ANDRADE, E.M.; ARAÚJO, L.F.P.; ROSA, M.F.; DISNEY, W.; ALVES, A.B. Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 683- 690, set-dez, 2007.

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

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.

CASTELLANO, G.R.; MORENO, L.X.; MENEGÁRIO, A.A.; GOVONE, J.S.; GASTMANS, D. Quantificação das emissões de CO₂ pelo solo em áreas sob diferentes estádios de restauração no domínio da Mata Atlântica. **Química Nova**, São Paulo, v. 40, n. 4, p. 407-412, mar, 2017.

CHIERICE, R.A.F. & LANDIM, P.M.B. Variabilidade espacial e temporal de precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu. **Geociências**, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 157-171, 2014.

CUNHA, D. A. da; COELHO, A. B.; FÉRES, J. G.; BRAGA, M. J.; SOUZA, E. C. de. Irrigação como estratégia de adaptação de pequenos agricultores às mudanças climáticas: aspectos econômicos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, São Paulo v.51, n.2, p.369-386, abril-jun, 2013.

FRIZZONE, J. A.; FRETAS, P. S. L.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão**. 1 ed. Maringá: EDUEM, 2012.

FOLEGATI, M. **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 2001.

FREITAS, J.C.; ANDRADE, A.R.S.; BRAGA, C.C.; NETO, A.H.G.; ALMEIDA, T.F. Análise de agrupamentos na identificação de regiões homogêneas de índices climáticos no estado da Paraíba, PB - Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Campina Grande, v. 6, n. 4, p. 732-748, maio, 2013.

FRIGO, J. P.; VILAS BOAS, M. A.; FRIGO, J. P.; FRIGO, E. P. Comparação entre gráficos de controle de Shewhart, Cusum e MMEP no processo de irrigação por aspersão convencional. **Irriga**, Botucatu v. 01, p. 56-70, novembro, 2016.

HERMES, E.; VILAS BOAS, M. A.; RODRIGUES, L. N.; MELLO, E. L.; GONCALVES, M. P.; LINS, M. A.; BERGER, J. S. Process capacity index in drip irrigation with cassava wastewater processing. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 10 (12) p. 1427- 1433, ma, 2015.

HERMES, E.; VILAS BOAS, M. A.; FRIGO, E. P.; BERGER, J. S.; LINS, M. A.; FRIGO, J. P. Irrigation with wastewater from cassava processing with different concentrations of suspended solids. **International Journal of Food, Agriculture and Environment (Print)**, Helsinque, v.12, p. 487-490, agosto, 2014.

HERMES, E.; VILAS BOAS, M. A.; GOMES, S. D.; GOMES, B. M.; REIS, C. F. Quality control in irrigation and fertigation with cassava processing wastewater into drip system. **International Journal of Food, Agriculture and Environment**, Helsinque, v. 11, p. 841- 845, janeiro, 2013.

JUCHEN, C.R.; SUZEK, F.L.; VILAS BOAS, M.A. Irrigação por gotejamento para produção de alface fertirrigada com águas residuárias agroindustriais. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 1, p.243-256, abril-jun, 2013.

LOPES, ALLAN & ANTONIO, MARCIO & BOAS, MÁRCIO & PAZUCH, FELIX & CORTE, LUCIANO & OSTROSKI, DIANE & REMOR, MARCELO & BOGONI, FABÍOLA & MOHR, MUNDSTOCK & DOTTO, MARCELO & ZANELLA, ALESSANDRO & FELIPE, ACIR & CARVALHO, GROLLI & FREDDO, ALVARO & BERTOLDO, IVAN & PIROLA, KELLI & GIAROLA, CAMILA. Statistical Quality Control in Uniformity of Drip Irrigation With Different Slopes. **Journal of Agricultural Science**, v., 11 n. 16, p., setembro, 2019.

MALFATTI, M.G.L.; CARDOSO, A.O.; HAMBURGER, D.S. Identificação de regiões pluviométricas homogêneas na bacia hidrográfica do Rio Paraná. **Geociências**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 409- 421, 2018.

MONTGOMERY, D.C. **Introdução ao controle estatístico de qualidade**. Tradução: FARIAS, A. M. L., FLORES, V. R. L. F., LAURENCEL, L. C. 4. Ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2009.

ORTEGA-REIG, M.; SANCHIS-IBOR, C.; PALAU-SALVADOR, G.; GARCÍA-MOLLÁ, M.; AVELLÁ-REUS, L. Institutional and management implications of drip irrigation introduction in collective irrigation systems in Spain. **Agricultural Water Management**, Espanha, v.187, p.164-172, jun, 2017.

SAMOHYL, R. W. **Controle estatístico da qualidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

SZEKUT, F. D.; AZEVEDO, C. A. V.; VILAS BOAS, M. A.; ZUCULOTTO, T. Hydraulic performance of drippers with different waters and lateral line slopes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Paraíba, v. 22, n. 12, p. 813-818, out, 2018.

SIQUEIRA, M. M. K.; VILAS BOAS, M. A.; SIQUEIRA, J. A. C.; TOKURA, L. K. Techniques for quality control in football field located in agricultural area. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 9, p. 430-442, 2018.

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

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

ZOCOLER, J. L.; RIBEIRO, P. H. P.; SILVA, N. S.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L. Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento com água salina. **Irriga**, Botucatu, v.7, n.1, p. 234-247, set 2015.