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

UNIFORMIDADE DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO USANDO EFLUENTE TRATADO DE ABATEDOURO DE AVES

JAMES MORAIS

CASCAVEL – Paraná - Brasil
Julho – 2017

JAMES MORAIS

UNIFORMIDADE DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO USANDO EFLUENTE TRATADO DE ABATEDOURO DE AVES

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.

Orientador: Prof. Dr. Ralpho Rinaldo dos Reis

CASCAVEL – Paraná - Brasil

Julho – 2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Ficha catalográfica elaborada por Sandra Regina Mendonça CRB-9/1090

Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas - UNIOESTE – Campus Cascavel

Morais, James
M827u Uniformidade de irrigação por gotejamento usando efluente tratado de abatedouro de aves. / James Morais. – Cascavel, 2017.
87 f.

Orientador: Profº. Drº. Ralpho Rinaldo dos Reis.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus de Cascavel, 2017.

1. Água - Reutilização. 2. Resíduos industriais. 3. Irrigação por gotejamento. I. Reis, Ralpho Rinaldo dos. II. Título.

CDD – 628.1683

Sandra Regina Mendonça CRB – 9/1090

Revisor de português, de inglês e de normas: José Carlos da Costa.
Data das revisões: 01 de setembro de 2017.

JAMES MORAIS

Uniformidade de irrigação por gotejamento usando efluente tratado de abatedouro de aves

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

Orientador: Prof. Dr. Ralpho Rinaldo dos Reis
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Prof. Dr. Laercio Mantovani Frare
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais – UTFPR

Prof. Marcio Antonio Vilas Boas
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Prof. Dr. Silvio César Sampaio
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

BIOGRAFIA

James Morais nasceu em 4 de setembro de 1987, na cidade de Matelândia – PR. Graduou-se em Tecnologia em Gerenciamento Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *campus* de Medianeira. Especializou-se em Auditoria, Perícia e Gestão Ambiental pela Faculdade Assis Gurgacz (FAG). Possui também MBA em Energias Renováveis com Ênfase no Biogás pela Fundação Getúlio Vargas (FGV). Em 2015, ingressou como aluno regular do curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEAGRI), na Universidade Estadual do Oeste do Paraná na área de concentração de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, sob orientação do Professor Dr. Ralpho Rinaldo dos Reis. Atua, desde 2008, como Supervisor de Gestão Ambiental da Unidade Industrial de Aves da Lar Cooperativa Agroindustrial, no município de Matelândia – PR.

Entrega o teu caminho ao Senhor, confia Nele e Ele tudo fará.

Salmo 37: 5.

À minha esposa Ana Carolina de Albuquerque Pisarro Morais, por todo o apoio prestado durante a realização do curso.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e Jesus Cristo, por terem me guiado e dado forças para a conclusão de mais esta etapa.

À minha esposa, pela compreensão nos momentos que estive ausente e que não pude dar a atenção necessária.

Aos meus pais por, terem me dado a educação necessária para me colocar no caminho do bem.

A minha amiga e companheira de projeto Izabela Regina Costa Araújo, por toda a prestatividade e auxílio dado na realização deste projeto.

À Unioeste, por ter me dado a oportunidade de ingressar no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

Ao Professor Ralpho Rinaldo dos Reis, pela orientação, compreensão e confiança prestada na realização deste trabalho.

À Professora Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa, por ter cedido uma de suas vagas de orientados para o meu ingresso no curso.

Ao professor Silvio César Sampaio, pela orientação e atenção dada em boa parte do trabalho.

Ao Professor Marcio Antonio Vilas Boas, pelo auxílio na realização do trabalho, orientação técnica, atenção e por ter cedido parte dos materiais utilizados na realização deste experimento.

À Lar Cooperativa Agroindustrial, por ter dado todo o suporte financeiro necessário para a realização do experimento.

Ao Gerente da Unidade Industrial de Aves e amigo Rafael Franco de Camargo, por ter apostado neste experimento e autorizado a minha ausência da unidade sempre que necessário.

Ao Supervisor de Manutenção Givanildo Vargas por todo o apoio dado durante a realização do curso.

Aos meus colegas de trabalho Alexsander Mucelin, Alan Rosso, Lucas Gustavo Grosso, Alessandra Pitol, Bruna Hinterholz, que auxiliaram na realização deste projeto e se esforçaram para manter as atividades em dia durante as minhas várias ausências no trabalho.

Aos operadores da gestão ambiental da Unidade Industrial de Aves da Lar Cooperativa Agroindustrial que auxiliaram na montagem de peças e na instalação do experimento.

Finalmente, a todos que possibilitaram a concretização desta pesquisa e a minha conclusão do curso de mestrado em Engenharia Agrícola.

UNIFORMIDADE DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO USANDO EFLUENTE TRATADO DE ABATEDOURO DE AVES

RESUMO

Os processos inerentes ao abate de aves respondem por um grande consumo de água e, consequentemente, a geração de grandes volumes de efluentes que, em geral, são dispostos no solo sem qualquer controle de uniformidade sobre a distribuição. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar um sistema de irrigação por gotejamento, aplicado à disposição de efluente tratado de abatedouro de aves no solo, utilizando três taxas de aplicação de efluente: 100, 200 e 300 m^3 ha^{-1} dia^{-1}. Além do sistema de irrigação, a qualidade do efluente também foi avaliada em função das características físico-químicas. A avaliação dos resultados foi dada pelos Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC), de Uniformidade de Distribuição (CUD), de Uniformidade Estatístico (CUE), bem como pelas técnicas de controle de qualidade. O experimento foi realizado na área de reflorestamento com eucalipto da Unidade Industrial de Aves da Lar Cooperativa Agroindustrial, em Matelândia, PR. De acordo com os dados obtidos neste trabalho, concluiu-se que o sistema de irrigação por gotejamento, utilizando-se as taxas propostas, pode ser considerado apropriado, pois apresentou uniformidade na distribuição das vazões, do pH e da condutividade elétrica. Para o pH e a condutividade elétrica, todos os coeficientes de uniformidade avaliados, CUC, CUD e CUE, foram estimados em mais de 90%, considerados excelentes. Para as vazões, todos os coeficientes foram estimados acima dos 90% para o tratamento de 100 m^3 ha^{-1} dia^{-1} e acima dos 80% para os tratamentos de 200 e 300 m^3 ha^{-1} dia^{-1}. Em geral, as distribuições apresentaram maior coeficiente de uniformidade, para os três parâmetros avaliados, nos três tratamentos, para a maior taxa de aplicação testada. Em relação à caracterização do efluente, concluiu-se que suas principais características são as concentrações de nitrogênio, fósforo e carbono. E, durante o experimento, a indústria manteve os padrões de lançamento no ambiente, determinados pelos órgãos ambientais. Por fim, concluiu-se que o controle estatístico de processo é adequado à avaliação, tanto de efluentes quanto de uniformidade na irrigação, em testes a campo.

Palavras-chave: reuso de água residuária; qualidade de efluente; coeficiente de Christiansen.

UNIFORMITY IN DRIP IRRIGATION FOR TREATED WASTEWATER APPLICATION FROM POULTRY SLAUGHTERHOUSE

ABSTRACT

The processes that take part of poultry slaughter are responsible for a great amount of water consumption and, consequently, a generation of large volumes of wastewater, which are usually disposed on soil without any control of uniformity regarding its distribution. Thus, this study aimed at evaluating a drip irrigation system, applied to dispose treated poultry slaughterhouse effluent on soil, using three effluent application rates of 100, 200 and 300 m^3 ha^{-1} day^{-1}. Besides the irrigation system, the effluent quality was also evaluated according to its physical-chemical characteristics. The evaluation of the results was given by the following coefficients: Christiansen Uniformity (CUC), Uniform Distribution (UDC), the Statistical Uniformity Coefficient (SUC) as well as quality control techniques. This trial was carried out in an eucalyptus reforestation area from the Industrial Poultry Slaughterhouse of Lar Agroindustrial Cooperative, in Matelândia city, PR. According to data obtained in this research, it was concluded that drip irrigation system, using the proposed rates, can be considered adequate, since it has shown uniformity in distribution of flows, pH and electrical conductivity. For pH and electrical conductivity, all the evaluated uniformity coefficients, CUC, UDC and SUC, were estimated in more than 90% and considered excellent. For the flow rates, all the coefficients were estimated as superior to 90% for 100 m^3 ha^{-1} day^{-1} treatment and above 80% for treatments of 200 and 300 m^3 ha^{-1} day^{-1}. Usually, the distributions showed the highest coefficient of uniformity for the three parameters evaluated in the three studied treatments, for the highest tested rate of application. Regarding the effluent characterization, it was concluded that its main characteristics are the concentrations of nitrogen, phosphorus and carbon. And during the experiment, the industry kept the standards of disposal in the environment, which were determined by the environmental agencies. Finally, it was concluded that the statistical process control is adequate to evaluate the effluents as well as irrigation uniformity in tests area.

Keywords: wastewater reuse; effluent quality; Christiansen coefficient.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS ..... **xi**

LISTA DE FIGURAS ..... **xiii**

1 INTRODUÇÃO **1**

2 OBJETIVOS **2**

2.1 Objetivo Geral 2

2.2 Objetivos Específicos 2

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **3**

3.1 Efluentes de abatedouros industriais 3

3.2 Irrigação 4

3.2.1 Irrigação por gotejamento 5

3.3 Uniformidade na irrigação e parâmetros de controle 7

3.3.1 Fatores que interferem na uniformidade da irrigação 8

3.4 Controle estatístico de qualidade 10

3.4.1 Gráficos de controle 10

3.4.2 Índice de capacidade do processo 12

3.5 Uniformidade da irrigação com efluente 12

4 MATERIAL E MÉTODOS **15**

4.1 Localização do experimento e informações sobre a unidade industrial 15

4.1.1 Caracterização do efluente industrial 16

4.2 Instalação do experimento 17

4.2.1 Sistema de irrigação 17

4.3 Operação do sistema de irrigação 21

4.4 Tratamentos e delineamento experimental 21

4.5 Ensaios de uniformidade 22

4.6 Avaliação dos dados 24

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO **277**

5.1 Caracterização do efluente industrial 27

5.2 Uniformidade da Irrigação 31

5.2.1 Coeficientes de uniformidade 34

5.3 Controle estatístico de qualidade 40

6 CONCLUSÕES **57**

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS **58**

REFERÊNCIAS **59**

APÊNDICES **64**

APÊNDICE A FORMULÁRIO DO MONITORAMENTO DIÁRIO DO SISTEMA **65**

APÊNDICE B PROCEDIMENTO OPERACIONAL DO MONITORAMENTO DIÁRIO DO SISTEMA **66**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Classificação do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) 8

Tabela 2 Classificação das águas de irrigação 9

Tabela 3 Parâmetros analisados e monitorados do efluente industrial 16

Tabela 4 Tratamentos e alocação das parcelas 22

Tabela 5 Características físico-químicas do efluente tratado do abatedouro da Unidade Industrial de Aves - UIA, resultante das 20 coletas realizadas quinzenalmente na lagoa de fertirrigação 27

Tabela 6 Resultados dos índices de capacidade inferiores para os parâmetros avaliados 28

Tabela 7 Resultados da estatística exploratória dos dados obtidos para os parâmetros avaliados 31

Tabela 8 Resultados obtidos para os coeficientes de uniformidade aplicados aos dados de vazão, pH e condutividade elétrica 35

Tabela 9 Análise de variância para os dados obtidos de coeficiente de uniformidade de Christiansen - CUC, das vazões 36

Tabela 10 Análise de variância para os dados obtidos de coeficiente de uniformidade estatístico - CUE, das vazões 37

Tabela 11 Análise de variância para os dados obtidos de coeficiente de uniformidade de distribuição - CUD, das vazões 37

Tabela 12 Teste de comparação de médias para as variáveis CUC, CUE e CUD das vazões 37

Tabela 13 Análise de variância para os dados obtidos de coeficiente de uniformidade de Christiansen - CUC, do pH 38

Tabela 14 Análise de variância para os dados obtidos de coeficiente de uniformidade estatístico - CUE, do pH 38

Tabela 15 Análise de variância para os dados obtidos de coeficiente de uniformidade de distribuição - CUD, do pH 38

Tabela 16 Teste de comparação de médias para as variáveis CUC, CUE e CUD do pH ... 38

Tabela 17 Análise de variância para os dados obtidos de coeficiente de uniformidade de Christiansen - CUC, da condutividade elétrica 39

Tabela 18 Análise de variância para os dados obtidos de coeficiente de uniformidade estatístico - CUE, da condutividade elétrica 39

Tabela 19 Análise de variância para os dados obtidos de coeficiente de uniformidade de distribuição - CUD, da condutividade elétrica..... 39
Tabela 20 Teste de comparação de médias para as variáveis CUC, CUE e CUD da condutividade elétrica 39
Tabela 21 Resultados dos índices de capacidade inferiores para os parâmetros avaliados no teste preliminar 40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Fluxograma da Estação de Tratamento de Efluentes da Unidade Industrial de Aves. 15
Figura 2 Mapa da área de estudo e alocação das parcelas. 17
Figura 3 Travessia não destrutiva da rodovia para transposição do efluente. 18
Figura 4 Motobomba, registro de gaveta e derivação da linha principal de irrigação. 18
Figura 5 Sistema de filtração do efluente, com filtros de disco e hidrômetro. 19
Figura 6 Esquema do cabeçal de irrigação e transporte do efluente. 19
Figura 7 Esquema da irrigação nas parcelas. 20
Figura 8 Sistema de irrigação montado nas parcelas. 20
Figura 9 Modelo de gotejador utilizado. 21
Figura 10 Pontos de coleta para a avaliação de um sistema de irrigação por gotejamento, recomendado por de Keller e Karmeli (1975). 23
Figura 11 Instalação do protótipo do sistema de irrigação para avaliação da uniformidade da irrigação utilizando água limpa. Caixa de água utilizada como reservatório, tubos gotejadores e coletores de água e filtro. 24
Figura 12 Gráficos de controle de Shewhart para os resultados obtidos nas análises dos parâmetros de monitoramento do efluente tratado da UIA. 30
Figura 13 Distribuição das médias de vazões nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente. 32
Figura 14 Distribuição das médias de pH nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente. 33
Figura 15 Distribuição das médias de condutividade elétrica nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente. 34
Figura 16 Gráfico de controle de Shewhart para o CUC das vazões dos tratamentos T1, T2 e T3. 41
Figura 17 Gráfico de controle de Shewhart para o CUE das vazões dos tratamentos T1, T2 e T3. 41
Figura 18 Gráfico de controle de Shewhart para o CUD das vazões dos tratamentos T1, T2 e T3. 42
Figura 19 Gráficos de controle de Shewhart para as observações de CUC da vazão nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente. 43
Figura 20 Gráficos de controle de Shewhart para as observações de CUE da vazão nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente. 44
Figura 21 Gráficos de controle de Shewhart para as observações de CUD da vazão nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente. 46

Figura 22 Gráfico de controle de Shewhart para o CUC das médias de pH dos tratamentos T1, T2 e T3. 47
Figura 23 Gráfico de controle de Shewhart para o CUD das médias de pH dos tratamentos T1, T2 e T3. 47
Figura 24 Gráfico de controle de Shewhart para o CUE das médias do pH dos tratamentos T1, T2 e T3. 48
Figura 25 Gráficos de controle de Shewhart para as observações de CUC do pH nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente. 49
Figura 26 Gráficos de controle de Shewhart para as observações de CUE do pH nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente. 50
Figura 27 Gráficos de controle de Shewhart para as observações de CUD do pH nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente. 51
Figura 28 Gráfico de controle de Shewhart para o CUC das médias da condutividade elétrica dos tratamentos T1, T2 e T3. 52
Figura 29 Gráfico de controle de Shewhart para o CUD das médias da condutividade elétrica dos tratamentos T1, T2 e T3. 52
Figura 30 Gráfico de controle de Shewhart para o CUE das médias da condutividade elétrica dos tratamentos T1, T2 e T3. 53
Figura 31 Gráficos de controle de Shewhart para as observações de CUC da condutividade elétrica nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente. 54
Figura 32 Gráficos de controle de Shewhart para as observações de CUE da condutividade elétrica nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente. 55
Figura 33 Gráficos de controle de Shewhart para as observações de CUD da condutividade elétrica nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente. 56

1 INTRODUÇÃO

A avicultura é um dos componentes mais importantes do agronegócio mundial e vem se consolidando mediante inovação tecnológica em grandes escalas. No entanto, tal expressão na produção implica o gerenciamento de seus impactos no que tange às questões ambientais, principalmente em relação ao uso da água.

Os abatedouros de aves consomem um grande montante de água e, consequentemente, produzem efluentes oriundos das diversas etapas de seus processos e da higienização das plantas frigoríficas. Geralmente, os efluentes desta atividade são tratados por processos físicos, químicos e biológicos e, posteriormente, dispostos no solo ou em corpos d'água.

A aplicação no solo para irrigação de culturas vem sendo amplamente difundida, pois, além de resolver o problema de despejo de grandes volumes de efluentes em cursos de água, em que a capacidade de depuração nem sempre comporta as demandas industriais, proporciona o aproveitamento dos nutrientes que não são eliminados por completo no tratamento, como o nitrogênio.

As áreas de reflorestamento são uma excelente opção para essa disposição, pois além das altas demandas nutricional e hídrica das árvores, são áreas com pouca movimentação de solo e manejos de médio e longo prazo. Entretanto, as indústrias, em especial os abatedouros, têm disposto o efluente tratado em áreas de reflorestamento sem nenhum tipo de controle, o que pode impactar severamente no aproveitamento da água e dos nutrientes e causar danos ambientais como erosão ou contaminação de corpos de água.

Os sistemas de irrigação localizada, como o gotejamento, poderiam promover a distribuição dos efluentes no solo com maior eficiência no uso dos recursos hídricos e, consequentemente, menores riscos ambientais. Segundo Silva et al. (2012), um sistema de irrigação por gotejamento bem projetado, permite que se obtenha uniformidade de aplicação de água acima de 90%, considerado um índice excelente, embora as características físico-químicas da água utilizada possam afetar seu desempenho.

Assim, a demanda por pesquisas na área de irrigação localizada aplicada à disposição de efluentes industriais, sobretudo em escala, torna-se evidente, principalmente no que tange à uniformidade da distribuição da água e nutrientes. Essas pesquisas poderão contribuir no planejamento dos sistemas, evitando a distribuição inadequada da água e a concentração de nutrientes sob o risco de prejuízos ambientais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo avaliar, por meio de experimento a campo, um sistema de irrigação por gotejamento, para disposição de efluente tratado de abatedouro de aves no solo, utilizando diferentes taxas de aplicação.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- caracterizar e avaliar as características físico-químicas do efluente tratado da unidade industrial ao longo do tempo;
- instalar o sistema de irrigação por gotejamento na área experimental e estabelecer um procedimento operacional para a operação diária;
- avaliar a uniformidade da distribuição da vazão, pH e condutividade no sistema de irrigação por gotejamento, em função das taxas de aplicação.
- aplicar técnicas de controle de qualidade aos dados de uniformidade da distribuição.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Efluentes de abatedouros industriais

Além do alto consumo de água para a criação dos animais e para a manutenção das instalações de criação e engorda, são consumidos milhares de litros de água nas diversas etapas do abate, resultando em geração de massiva de efluentes. A inspeção federal do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) recomenda o consumo de até 30 litros de água para cada animal abatido em um frigorífico, considerando todas as etapas do abate, desde a entrada até a expedição (BRASIL, 1998).

Bellaver e Oliveira (2009) estimaram em 16,03 litros de água consumidos por quilograma de carne de frango expedida, considerando um rendimento de 78% de carcaça para aves de peso médio de 2,4 kg.

Em termos globais, Bustillo-Lecompte e Mehrvar (2015) estimam que o abate de animais responda por aproximadamente 29% do consumo de água doce pela indústria agrícola e Mekonnen e Hoekstra (2012) apresentam a pegada hídrica média estimada para a produção de carne de frango em 4.325 m^3 ton^{-1}.

A composição dos efluentes pode variar de acordo com a tecnologia e a operação dos abatedouros. Em geral, estes efluentes são caracterizados pelas altas concentrações de fósforo total, nitrogênio total e carbono orgânico total, demandas química e bioquímica de oxigênio e sólidos suspensos. Mees et al. (2013), avaliando a qualidade do efluente do abatedouro de aves objeto deste estudo, determinou a concentração máxima de sólidos totais em 589 mgL^{-1}, de nitrogênio total variando em 175 mgL^{-1} e DQO total de 384 mgL^{-1}, para efluente proveniente do tratamento secundário, depois de lagoas anaeróbias.

Para o tratamento dos efluentes, Bustillo-Lecompte e Mehrvar (2015) apontam a necessidade da utilização de sistema primário, secundário e, em muitos casos, terciários, antes da disposição final. No tratamento preliminar são removidos os sólidos grosseiros do processo, que, juntamente com os subprodutos do abate, como sangue e vísceras, em geral são encaminhados a usinas de processamento de subprodutos (AMORIM; NARDI; DEL NERY, 2007).

O tratamento pode ser completado por sistemas secundários, em reatores biológicos, cujo objetivo é remoção da carga orgânica. Esses processos podem alcançar mais de 90% de eficiência na remoção (MITTAL, 2006). As lagoas de estabilização podem complementar e equalizar o tratamento, antes da disposição final.

3.2 Irrigação

A irrigação é uma técnica milenar que tem como finalidade disponibilizar água às plantas, corrigindo o déficit hídrico do solo e permitindo à planta manter um contínuo fluxo de água e nutrientes do solo para as raízes e parte aérea, favorecendo os processos fisiológicos e, consequentemente, aumentando a produtividade. A técnica, ao longo dos séculos, vem sendo aprimorada até os sistemas pontuais atuais, nos quais a água é gotejada no momento, local e quantidade correta ao desenvolvimento das plantas (BRAGA; CALGARO, 2010).

O uso da irrigação em áreas de sequeiro ou como forma complementar ao regime pluviométrico pode configurar uma alternativa para a produção agrícola, frente a um dos maiores desafios para as futuras gerações: alimentar a população mundial crescente, considerando as mudanças climáticas e os limites impostos pela sustentabilidade dos sistemas produtivos. Para Siebert e Döll (2010), a irrigação é um componente chave da agricultura, considerando que a produção mundial de cereais seria 20% menor sem irrigação. Mukherji et al. (2009) estimam que, aproximadamente, 80% dos produtos necessários para satisfazer as necessidades da população mundial, nos próximos 25 anos, serão providos pelos cultivos irrigados.

De acordo com OCDE-FAO (2015), a área irrigada praticamente dobrou nos últimos 50 anos, e sua produção equivale a quase 2,5 vezes a produção de alimentos das áreas de sequeiro. Atualmente, cerca de 24% do total das área plantada é irrigada, respondendo por mais de 40% da produção global de cereais (PAULINO et al., 2006). Em 2010, a produção agrícola mundial sob irrigação necessitou de 3.100 km^3 de água, para irrigar cultivos em 304 milhões de hectares (CHRISTOFIDIS, 2013).

Christofidis (2015), analisando os dados da *International Commission on Irrigation and Drainage* (ICID), destaca que nos 169 países que mais irrigam existem 299 milhões de hectares sob irrigação. De acordo com esse autor, aproximadamente, 16% da área total irrigada está nos países desenvolvidos, 80% nos países emergentes e o restante nos países menos desenvolvidos. Os países que mais irrigam são a Índia, a China e os Estados Unidos, respectivamente. O Brasil ocupa a nona posição entre os maiores irrigadores do mundo.

Os projetos de irrigação no Brasil são bastante recentes. O primeiro data de 1881, com início de operação em 1903, no Rio Grande do Sul. Foi realizado pela iniciativa privada, para permitir o suprimento de água a ser utilizada na lavoura de arroz, irrigada por inundação. Posteriormente, nos anos 1960 e 1970, houve a popularização do uso de irrigação em São Paulo e também no Nordeste (BRASIL, 2008).

Atualmente, a área irrigada no Brasil está estimada em mais de 5,8 milhões de ha, sendo que os maiores irrigadores são: São Paulo (1,03 milhões de ha), Rio Grande do Sul (1,03 milhões de ha) e Minas Gerais (0,82 milhões de ha). O Paraná ocupa a décima posição no ranking, com uma área irrigada de 115.826 ha (ROCHA; CHRISTOFIDIS, 2015). Dada abundância de pluviosidade e recursos hídricos, a importância da irrigação no Brasil é pequena, com apenas em torno de 2% da terra agrícola é cultivada com irrigação (OCDE-FAO, 2015).

Com base na área de solos aptos e no desenvolvimento anual da agricultura, Christofidis (2013) aponta o potencial de expansão da agricultura no Brasil em aproximadamente de 110 milhões de hectares, ao passo que o potencial brasileiro para desenvolvimento da agricultura irrigada de modo sustentável é estimado em 29,6 milhões de hectares.

3.2.1 Irrigação por gotejamento

A irrigação localizada consiste na aplicação de água sobre a superfície ou abaixo do solo, utilizando tubulações pressurizadas e emissores, de maneira a molhar apenas uma região próxima à planta, denominada bulbo úmido (VILAS BOAS, 2016).

O sistema de irrigação por gotejamento é o mais popular entre os sistemas de irrigação localizada e são empregados, geralmente, em cultivos com espaçamento amplo. Nesse sistema a água circula com pressão até chegar aos emissores cuja função é reduzir a velocidade da água e permitir a saída gota a gota (VILAS BOAS, 2016).

Os gotejadores podem ser instalados sobre a linha, na linha, em uma extensão da linha, ou serem manufaturados junto com o tubo da linha lateral, formando o que popularmente se denomina "tripa" (ANDRADE; BRITO, 2010).

No Brasil, a irrigação por pivô central é a forma mais usual para a aplicação de água no solo, com uma área anual irrigada de 126 mil ha. A irrigação localizada ocupa uma área de 72,5 mil ha ano^{-1} (CHRISTOFIDIS, 2015).

A opção pela irrigação localizada, sobretudo por gotejamento, é atribuída, principalmente, à sua eficiência no uso da água, bem como à facilidade na automatização da operação (SILVA et al., 2013). Além disso, a facilidade de operação, eficiência e uniformidade de distribuição de água promovem o uso mais eficaz dos recursos hídricos.

A irrigação por gotejamento aplica lenta e regularmente a água e/ou fertilizantes diretamente na zona da raiz das plantas, através de uma rede de tubulações plásticas economicamente projetadas e com baixa descarga de emissores, que são fixados em tubulações dispostas na superfície do solo ou enterradas, acompanhando as linhas de plantio (BERNARDO, 2005). Vilas Boas (2016) aponta a aplicação de água e fertilizantes

através de irrigação localizada como conveniente, em função da baixa quantidade e alta frequência na aplicação, que evita grandes variações na umidade do solo, proporcionando ótimas condições para o desenvolvimento das plantas.

Andrade e Brito (2010) descrevem, ainda, como vantagens em relação à irrigação por aspersão, o fato da água ser aplicada diretamente na superfície do solo, evitando a umidificação das folhas ou caule das plantas. Comparado com o sistema de irrigação subsuperficial, os autores citam como vantagens a facilidade de instalação, inspeção, limpeza e reposição, além da possibilidade de medição da vazão de emissores e avaliação da área molhada.

A irrigação localizada ainda pode ser uma opção para a aplicação de efluentes e substância nocivas para a saúde humana, apresentando como vantagem a minimização de contato do agricultor com essas substâncias (CARARO et al., 2006).

Duran-Ros et al. (2009) apontam o método de irrigação localizada como forma de aplicação de efluentes no solo, principalmente devido à redução de risco de contaminação para os operadores e dos produtos.

Como principal desvantagem deste sistema, Andrade e Brito (2010) apontam os entupimentos que, para serem evitados, requerem excelente filtragem da água e a manutenção do sistema. Essa situação é agravada na aplicação de efluentes, pois o entupimento é influenciado pela qualidade da água e seus aspectos físicos, químicos e biológicos (SILVA et al., 2013).

Os principais componentes da irrigação localizada são: cabeçal de irrigação, composto por um sistema de bombeamento; um sistema de filtração e, opcionalmente, um sistema de fertirrigação; rede de distribuição, formada pelas tubulações e emissores que, no caso do gotejamento, são os gotejadores. Um sistema de irrigação por gotejamento é composto por bomba, filtros e reguladores de pressão (CAMP; LAMM, 2003; VILAS BOAS, 2016).

O suprimento de água pode ser fornecido à baixa pressão, de modo que, em relação a outros sistemas, as bombas utilizadas podem ser de menor potência. A filtração é fundamental, pela susceptibilidade dos emissores ao entupimento, sendo que o uso da água de qualidade inferior como efluentes implica a necessidade de um sistema e filtração mais elaborado e eficiente. A regulação de pressão dependerá das características do emissor. Quando são utilizados emissores não-compensantes, a pressão é regulada dentro do sistema de abastecimento de linhas, usando válvulas de regulação de pressão. Quando são usados emissores autocompensantes, a pressão dentro das linhas de abastecimento do sistema é controlada sob pressões mais elevadas, porém mais variável em faixas inferiores (CAMP; LAMM, 2003).

Vilas Boas (2016) afirma que as tubulações mais comuns nas linhas laterais, terciárias e secundárias são as de polietileno, enquanto que nas linhas primárias podem ser

de PVC ou polietileno. O autor destaca que os principais problemas relativos ao sistema de distribuição são as obstruções dos emissores, em especial, em sistemas com baixas vazões, inferiores a 16 L h^{-1} que podem ser de ordem física, química e biológica.

Em relação à manutenção das linhas, Vilas Boas (2016) recomenda a prevenção de entrada no sistema de partículas grosseiras por meio da filtração. Quando os emissores já apresentam o entupimento, há que se buscar as causas para o devido tratamento. O autor recomenda a limpeza à pressão, quando o sistema permitir. Porém, se a origem do entupimento for por acúmulo de cálcio, ferro ou fertilizantes mal dissolvidos, recomenda-se a limpeza com solução ácida, quando for de origem biológica, a limpeza com solução de cloro e algicidas.

3.3 Uniformidade na irrigação e parâmetros de controle

Em um sistema de irrigação localizada, é muito importante determinar se a água e os demais produtos incorporados estão sendo distribuídos uniformemente ao longo do sistema. Os problemas derivados da baixa uniformidade se traduzem na disponibilização inadequada de água para as plantas, ora em excesso, ora em déficit (VILAS BOAS, 2016). A uniformidade de aplicação de água é um parâmetro importante no projeto, manutenção e gestão de sistemas de irrigação por gotejamento (ZHAO, 2012).

Segundo Bernardo (1995), a uniformidade pode ser expressa por índices de coeficientes, sendo o mais utilizado o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC). São também utilizados em menor escala o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e o coeficiente estatístico de uniformidade (CUE).

Os coeficientes de distribuição diferem na variação, o que pode influenciar a avaliação da ocorrência de distúrbios de vazão e, consequentemente, no manejo do sistema de irrigação (CUNHA et al., 2014).

De acordo com Oliveira et al. (2015), o pesquisador Christiansen (1942) foi o primeiro a determinar o efeito da pressão de serviço, espaçamento, rotação e velocidade do vento sobre a uniformidade de distribuição da água para aspersores rotativos, estabelecendo o parâmetro conhecido como coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC). Ainda de acordo com os mesmos autores, o *Soil Conservation Service* (1968) propôs a equação para cálculo do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), que considera a média dos 25% menores valores de precipitação em relação à média total. Para a classificação dos coeficientes de uniformidade, foram propostas as escalas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 Classificação do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e coeficiente de uniformidade estatístico (CUE)

Classificação	CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)
Excelente	90 -100	>90	95 -100
Bom	80 – 90	80 - 90	85 – 95
Razoável/ Regular	70 - 80	70 - 80	75 – 85
Ruim	60 - 70	< 70	65 - 75
Inaceitável	< 60	---	< 65

Fontes: Bralts (1986); Mantovani (2002).

De acordo com Favetta e Botrel (2001), a uniformidade estatística foi primeiramente apresentada por Wilcox e Swailes (1947) na avaliação de equipamentos de irrigação por aspersão, baseada no coeficiente de variação (CV) da lâmina de água aplicada. Mais tarde, Bralts et al. (1987) utilizaram a mesma abordagem estatística para sistemas de irrigação localizada, substituindo as lâminas de água pela vazão dos emissores. Essa metodologia permite a avaliação da uniformidade de distribuição tanto de sistemas já implantados como também para efeito de dimensionamento (FAVETTA; BOTREL, 2001). Em sistemas de gotejamento, o ideal é que a uniformidade atinja um valor de CUC superior a 90% e CUD entre 85 a 90% (ZOCOLER, 2016).

A irrigação desuniforme resulta em área super ou subirrigada, de modo que um sistema com baixa uniformidade de distribuição teria que aplicar mais água na área irrigada. O excesso de água diminui a porosidade do solo e pode reduzir ou causar variabilidade na produção (FRIGO, 2012).

3.3.1 Fatores que interferem na uniformidade da irrigação

A avaliação de sistemas de irrigação é um tema que os agricultores pouco têm dado importância. Mesmo tendo acesso à tecnologia, muitos não a utilizam de forma adequada por falta de orientação e conhecimento (SILVA, 2005). O uso contínuo dos sistemas, sem a devida manutenção da motobomba ou substituição dos reguladores de pressão, reduz significativamente sua vida útil (GUERRA, 2004).

Em sistemas pressurizados, a motobomba deve ser checada constantemente, pois, geralmente, ocorre o desgaste de suas partes internas, causado por pedregulhos em função da qualidade da água de irrigação. Outra situação comumente encontrada é a falta de pressão no final das linhas de distribuição, devido ao envelhecimento e corrosão das paredes internas das tubulações, o que provoca aumento da perda de carga (GUERRA, 2004).

Além desses fatores, vários outros podem afetar a uniformidade de distribuição da água nos sistemas de irrigação localizada, como pressão de serviço do emissor, velocidade da água na tubulação, alinhamento da linha lateral e entupimento dos emissores (SILVA, et al. 2012).

Resende et al. (2001), avaliando um sistema de irrigação por gotejamento após cinco anos de uso, concluíram que a causa mais provável da baixa uniformidade de aplicação de água foi o entupimento de origem biológica.

Segundo Ribeiro *et al*. (2005), as razões para obstrução podem ser classificadas em 3 tipos: de ordem física, causada pelo suspendido de partículas inorgânicas (areia, sedimentos, argila, plásticos); química, devida a materiais sólidos dissolvidos que interagem uns com os outros, como precipitados de carbonatos e bicarbonatos de cálcio; biológica, causada por algas, limos de ferro e enxofre.

É de fundamental importância a avaliação da qualidade da água para que o funcionamento dos sistemas de irrigação não seja comprometido, tornando-se necessário caracterizar parâmetros como: condutividade elétrica, pH, sólidos dissolvidos e em suspensão, DBO e DQO. Na Tabela 2 é apresentada classificação das águas de irrigação em relação ao risco de entupimento.

Tabela 2 Classificação das águas de irrigação

	Níveis de risco		
Fatores de entupimentos	Baixo	Moderado	Severo
Sólidos suspensos totais (mg L^{-1})	< 50	50 – 100	> 100
Condutividade elétrica (dS m^{-1})	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
pH	< 7	7 – 8	> 8

Fonte: adaptado de Nakayama (1986).

Capra e Scicolone (2007), realizando testes de campo com águas residuárias de diferentes qualidades, observou que, em relação à concentração de sólidos suspensos totais (SST), a concentração de 50 mg L^{-1} já pode causar problemas na uniformidade de emissão de água.

Ribeiro et al. (2004) citam que a condutividade elétrica (CE) é a variável mais aplicada para o monitoramento do nível de salinidade na água de irrigação. Pode-se dizer que uma água com CE < 0,7 dS m^{-1} não apresenta nenhuma restrição para o uso na irrigação e fertirrigação. Porém, valores de CE acima de 3,0 dS m^{-1} passam a apresentar certa restrição de uso, sendo desaconselhável a aplicação desta água para irrigação (NAKAYAMA, 1986).

O valor do potencial hidrogeniônico (pH) não indica a quantidade de ácidos das amostras de águas ou efluentes, mas a intensidade de acidez ou de alcalinidade da amostra, sendo um parâmetro que pode contribuir para obstrução de tubulações e

emissores (FOLEGATTI, 2001). O mesmo autor cita que valores de pH ideais na faixa de 6,5 a 8,4 para possibilitar o uso do efluente para a fertirrigação.

3.4 Controle estatístico de qualidade

A busca pela melhoria na qualidade de produtos e serviços oferecidos deve ser contínua e concentrada em atitudes que permitam identificar problemas e executar ações corretivas por meio de técnicas de controle. O controle estatístico de qualidade busca prevenir e corrigir eventuais problemas no processo e é obtido através do controle estatístico da qualidade (CEQ) que procura manter variáveis dentro de limites ou padrões pré-estabelecidos (FRIGO, 2012).

O CEQ é um conjunto de ferramentas para monitoramento da qualidade, a fim de que determinado processo se comporte adequadamente, permitindo a tomada de decisões e conclusões baseadas em dados obtidos anteriormente. Esses dados são chamados de variáveis de entrada e podem ser controláveis, como pressão e vazão; não controláveis, como fatores ambientais. A variável de saída é uma medida de qualidade do processo e pode ser mais bem visualizada com os chamados gráficos de controle (MONTGOMERY, 2009). Segundo o mesmo autor, em um processo existem diversos fatores que podem alterar suas características de qualidade, sendo que quando estas satisfazem certa especificação o processo é considerado bom.

De acordo com Vilas Boas (2016), um processo de medida está sob controle estatístico de qualidade quando a exatidão e a precisão dos resultados são mantidas, produzindo resultados cuja média e desvio padrão são previsíveis, quando aplicados a um mesmo padrão ao longo do tempo.

3.4.1 Gráficos de controle

Os gráficos de controle foram propostos por Walter Shewhart em 1920, com a finalidade de avaliação de processos industriais, aplicados ao monitoramento de operários com pouca instrução (MONTGOMERY, 2009). Desde então os gráficos de controle vêm sendo aplicados às mais diversas áreas, com o intuito de avaliar a qualidade de processos.

Segundo Vilas Boas (2005), o gráfico de controle é uma importante técnica para detectar se falta controle em um processo e seu uso sistemático é um importante modo de detectar e reduzir a variabilidade dos produtos. Na aferição da vazão na irrigação, por

exemplo, é possível observar se as variações são causadas por múltiplas causas comuns inerentes ao sistema ou por uma causa especial de erro (VILAS BOAS, 2016).

O gráfico de controle é uma das principais técnicas de controle estatístico do processo, pois demonstra as médias das medidas de uma característica de qualidade em amostras do processo em relação ao tempo ou número de amostras. As medições são realizadas em pontos espaçados no tempo e registradas nos gráficos (BORGES; FERREIRA; OLIVEIRA, 2008).

Os gráficos de controle de Shewhart são constituídos plotando-se os valores da média, ou individuais, obtidos em cada ocasião, em um gráfico delimitado por linhas horizontais denominadas limites de controle. Se o valor obtido numa ocasião estiver fora do limite de controle, há uma grande possibilidade que seja oriundo de uma causa de erro especial, que deve ser identificada e eliminada (VILAS BOAS, 2016).

O gráfico de controle é composto de três linhas paralelas: uma linha média que reflete o nível de operação do processo e duas linhas externas denominadas limite superior de controle (LSC) e limite inferior de controle (LIC), calculados em função do desvio padrão de alguma variável do processo (BORGES; FERREIRA; OLIVEIRA, 2008).

Werkema (2006) menciona como critérios indicativos da falta de controle de um processo:

- pontos fora de controle: indicação mais evidente da falta de controle de um processo. Essa ocorrência pode ser resultado principalmente dos erros de registros de dados, cálculos de medições, além da utilização incorreta ou defeitos de equipamentos;
- periodicidade: tendência para cima e para baixo em intervalos de tempo com, aproximadamente, a mesma amplitude. Pode acontecer, devido a mudanças sistemáticas nas condições ambientais ou em alguma variável dos equipamentos utilizados;
- sequência: vários pontos consecutivos do gráfico de controle aparecem 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;
- tendência: movimento contínuo do gráfico de controle em uma direção (ascendente ou descendente), sendo que a existência de sete pontos ou mais indica a falta de controle de processo;
- aproximação dos limites de controle: ocorrência de dois ou três pontos consecutivos fora dos limites 2σ, apesar de estes ainda estarem dentro dos limites de controle 3σ. Podem existir duas diferentes distribuições sobrepostas, gerando o resultado do processo. Nesse caso, recomenda-se construir separadamente os gráficos para os dois processos que estejam gerando os resultados da característica da qualidade de interesse;

- aproximação da linha média: se grande parte dos pontos estão muito próximos da linha média, dentro das linhas centrais de 1,5σ, apresentando uma variabilidade menor do que a esperada, observa-se a possibilidade de erros nos cálculos dos limites de controle.

Segundo Montgomery (2009), o gráfico de controle de Shewhart é uma regra de decisão estatística tomada com base nas observações de um processo, para determinar se a característica de qualidade desejada desviou-se de seu valor alvo ao longo do tempo.

3.4.2 Índice de capacidade do processo

As técnicas estatísticas podem ser úteis em todo o ciclo da irrigação, inclusive no desenvolvimento de atividades como a montagem do sistema, para quantificar e analisar a variabilidade do processo em relação às exigências ou especificação do sistema. Também podem auxiliar o desenvolvimento da atividade, eliminando ou reduzindo as causas de variabilidade. Tais atividades recebem o nome de análise da capacidade do processo (FRIGO, 2012).

A análise da capacidade de um processo é um estudo de engenharia da qualidade cujas técnicas de controle estatístico foram desenvolvidas para avaliar a variabilidade ao longo do tempo do processo. A análise da capacidade de um processo é uma parte vital de um programa de melhoria da qualidade (FRIGO, 2012).

O índice de capacidade de um processo é um parâmetro adimensional que mede, indiretamente, o quanto um processo consegue atender às especificações. Assim, quanto maior é o seu valor, melhor o processo atende às exigências (MONTGOMERY, 2009).

3.5 Uniformidade da irrigação com efluente

Diversos trabalhos encontrados na literatura relatam avaliações da uniformidade de irrigação em sistemas submetidos à aplicação de efluentes. Gris, Hermes e Vilas Boas (2012), avaliando a uniformidade da irrigação, em um sistema de gotejamento com vazão nominal de 1,49 $L \cdot h^{-1}$ (85 kPa) por gotejador, comparando água com efluente tratado de fecularia, obtiveram médias acima dos 90%, para CUD e CUC. Para esses autores, não houve diferença expressiva entre a utilização de água ou de efluente no sistema, demonstrando que o efluente testado poderia ser aplicado sem prejuízo ao sistema.

Batista et al. (2013) analisaram a utilização da água residuária da suinocultura na produção de mudas de *Eucalyptus urophylla*, com um composto de resíduos sólidos

urbanos (SRSU) como substrato. Para tanto, as mudas foram irrigadas diariamente com uma lâmina média de 5 mm, parcelada em três vezes, nos horários de 10, 13 e 16 horas. A irrigação foi realizada por microaspersores que apresentaram vazão média de 56,3 L h^{-1}. Para as condições testadas, os autores encontraram uma uniformidade de emissão de 95%.

Gonçalves et al. (2013), aplicando água residuária de amidonaria por um sistema de irrigação por gotejamento, concluíram que a utilização deste tipo de efluente por fertirrigação é uma alternativa eficiente para o reaproveitamento e descarte desse resíduo, desde que as técnicas de tratamento sejam aperfeiçoadas, para assim reduzir os problemas de entupimento. Foram utilizados tubos gotejadores com vazão nominal de 1,49 L h^{-1} (85 kPa) por gotejador. Os dados foram coletados em duas ocasiões, sendo a segunda coleta um ano após a primeira. As médias de CUC obtidas foram para vazão, utilizando água foram de 95% e 88% para o primeiro e o segundo ano, respectivamente; utilizando água residuária as médias foram de 94% e 85%, para o primeiro e o segundo ano, respectivamente. Com isso, determinaram que os tratamentos com aplicação de água apresentaram melhor uniformidade, quando comparados aos tratamentos com efluente.

Juchen, Suszek e Vilas Boas (2013) avaliaram a uniformidade da fertirrigação por sistema de gotejamento utilizando efluente tratado de agroindústrias de processamento de carne e leite. Os autores utilizaram os efluentes diluídos, ambos com concentração de 60 kg ha^{-1} de nitrogênio, e estabeleceram a lamina d'água de 17,7 mm dia^{-1}. O sistema foi operado numa pressão de 70 kPa. Os autores obtiveram CUC de 90% utilizando efluente de laticínio e 97% com efluente de frigorífico. Os autores atribuíram os menores índices de uniformidade à baixa qualidade do efluente de laticínio, que apresentava carga orgânica superior ao efluente de abatedouro.

Salatiel et al. (2013) avaliaram o potencial de entupimento de um sistema de irrigação por gotejamento operando com esgoto doméstico primário e água de abastecimento. Os autores variaram a proporção de esgoto em relação à água de abastecimento em 100%, 75%, 50%, 25% e 0%. Os tubos gotejadores eram dotados de emissor não autocompensante com vazão nominal de 1,6 L h^{-1}. Os resultados indicaram que o esgoto doméstico representa risco de obstrução para emissores, principalmente em relação à população de microrganismos; a aplicação de esgoto doméstico proporcionou redução da uniformidade de aplicação e da vazão dos emissores na ordem de 69% para o CUC e 99% para o CUD.

Hermes et al. (2013) avaliaram a uniformidade da irrigação com água e da fertirrigação, utilizando água residuária do processamento da mandioca em sistema de gotejamento. O fluxo foi controlado em 0,65 L h^{-1} a cada 0,3 m. O fluxo total médio das linhas laterais era de 240 L h^{-1}. A linha de derivação para conduzir a água e o efluente foi constituída por um tubo de 1,2 mm e utilizou-se um filtro de tela plástica, juntamente com o reservatório, visando um pré-tratamento em termos de sólidos. Na irrigação todos os dados

de CUC foram obtidos acima de 90% de uniformidade, porém, na fertirrigação, o CUC variou de 80 a 90%.

Cunha et al. (2014) identificaram os principais fatores causadores de entupimento em gotejadores tipo fita, quando utilizados para a aplicação de água residuária bruta da despolpa dos frutos do cafeeiro e a água residuária filtrada em filtro orgânico. Para tanto, utilizaram gotejadores não autocompensantes, com pressão de serviço no início das linhas laterais em 101 kPa. A cada 36 horas quantificaram as vazões dos gotejadores, até a obtenção de um tempo total de 144 horas de operação do sistema. No caso da água residuária bruta, valores de CUC e CUD foram reduzidos a zero após 36 horas de operação do sistema e para a água residuária filtrada foram obtidas reduções de 76% e 100%, após 144 horas de funcionamento.

Hermes et al. (2014) avaliaram o desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento com a aplicação de águas residuais de processamento de mandioca com diferentes concentrações de sólidos em suspensão, determinando o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC). Os sistemas foram compostos de uma linha de gotejamento, com vazão de 1,49 L h^{-1} a cada 0,30 m. Os sistemas apresentaram 7 linhas laterais com um total aproximado de 373 gotejadores, totalizando uma vazão média de 555 L h^{-1}. Em geral, os sistemas de irrigação demonstraram um excelente desempenho em relação à uniformidade de distribuição das águas residuais, para o qual todos os coeficientes foram superiores a 90%.

Hermes et al. (2015), utilizando o mesmo sistema descrito anteriormente, compararam o desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento com aplicação de água limpa e águas residuais do processamento de mandioca, determinando o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e o índice de capacidade do processo (Cpl), considerando uma segunda coleta de dados após um ano. Assim, as mesmas condições que foram estabelecidas no primeiro ano ainda foram consideradas. Os tratamentos com efluentes apresentaram médias de vazões próximas às obtidas com o uso de água limpa. Somente no tratamento com água residuária, no segundo ano de coleta, o CUD foi classificado como bom, enquanto os outros foram excelentes. Assim, com base nessa técnica, foi possível verificar se o sistema é capaz de manter níveis de uniformidade adequados.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização do experimento e informações sobre a unidade industrial

O trabalho foi realizado na Unidade Industrial de Aves (UIA) da Lar Cooperativa Agroindustrial, localizada às margens da BR 277, no Km 653 na cidade de Matelândia, Paraná, entre as Bacias do Paraná III e a Bacia do Iguaçu.

A UIA abate atualmente trezentos e quarenta mil aves por dia e gera, aproximadamente, 7.500 m³ de efluentes diariamente. Esses efluentes são tratados em três etapas (Figura 1).

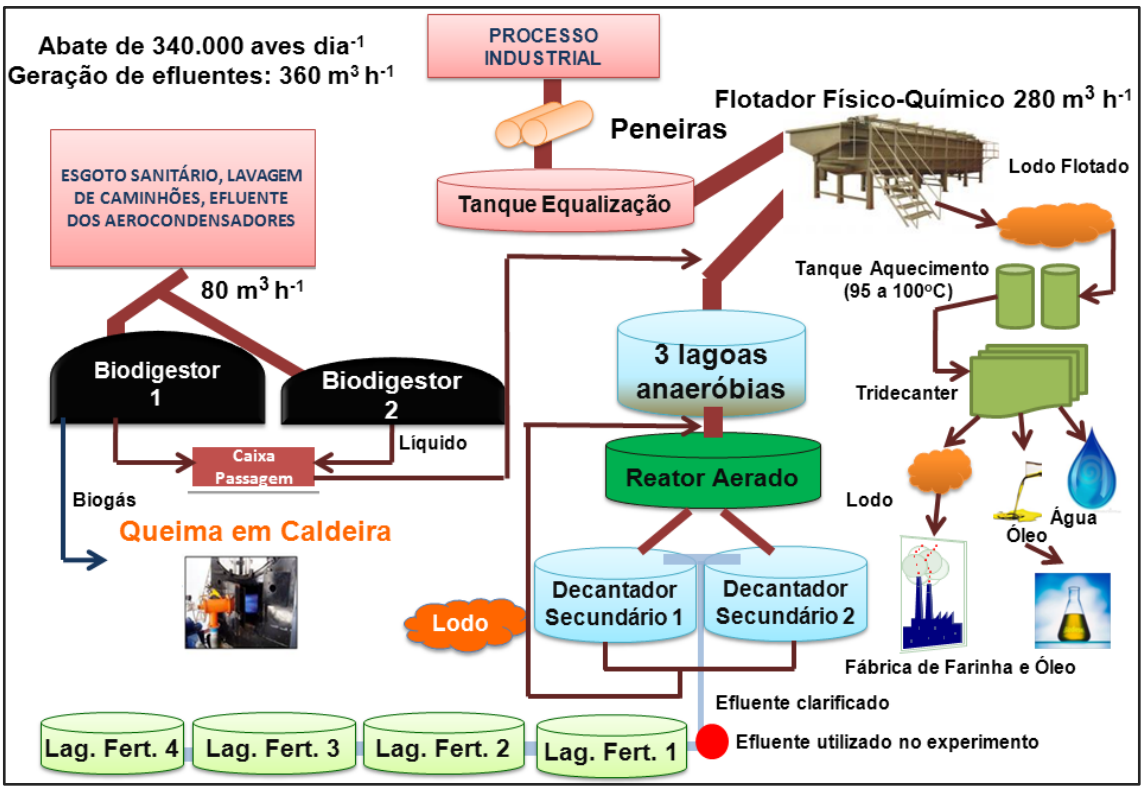

Figura 1 Fluxograma da Estação de Tratamento de Efluentes da Unidade Industrial de Aves.

A primeira, que corresponde ao tratamento preliminar, consiste em processos de separação de sólidos grosseiros como ossos, vísceras e carcaças rejeitadas em peneiras rotativas.

Na segunda etapa, que é o tratamento primário, é feita a remoção de sólidos suspensos, matéria orgânica e óleos e graxas por meio de flotador de ar dissolvido (FAD).

Os sólidos são utilizados para a produção de farinha para *pet food*. O óleo separado neste processo é destinado para a produção de biodiesel.

Na terceira etapa, que é o tratamento biológico, o efluente é tratado em dois biodigestores, seguindo para três lagoas anaeróbias sequenciais, um reator aerado e dois decantadores secundários constituem o sistema de lodo ativado. Na sequência, o efluente passa por quatro lagoas de fertirrigação (Lag. Fert. 1, 2, 3 e 4). Nessas lagoas, o efluente tratado é armazenado para o reuso na fertirrigação das áreas de reflorestamento da unidade. A fertirrigação á feita tanto por bombeamento para cotas mais altas, assim como por gravidade para as cotas mais baixas. Neste experimento, utilizou-se o efluente tratado proveniente da primeira lagoa de fertirrigação.

Atualmente a empresa aplica 100 m^3 ha^{-1} dia^{-1}, definidos com base nos ensaios de infiltração de água no solo realizados em 2013, utilizando infiltrômetro de anéis, segundo a metodologia descrita por Bernardo, Soares e Mantovani (2006). A velocidade de infiltração básica obtida foi de 109 $mm.h^{-1}$, considerada alta, segundo esses autores.

4.1.1 Caracterização do efluente industrial

O efluente aplicado no solo foi coletado quinzenalmente, de junho de 2016 a março de 2017, na Lagoa de Irrigação Indicadora 1, de acordo com a NBR 9898/1987 (ABNT, 2014) e caracterizado em função das suas características físico-químicas (Tabela 3). Os resultados obtidos foram avaliados utilizando-se gráficos de controle e índice de capacidade de processo.

Tabela 3 Parâmetros analisados e monitorados do efluente industrial

Parâmetro	Referência
DBO	APHA; AWWA; WPCF (2005)
DQO	APHA; AWWA; WPCF (2005)
pH	APHA; AWWA; WPCF (2005)
Condutividade elétrica	APHA; AWWA; WPCF (2005)
Sólidos suspensos totais	APHA; AWWA; WPCF (2005)
Sólidos suspensos fixos	APHA; AWWA; WPCF (2005)
Sólidos suspensos voláteis	APHA; AWWA; WPCF (2005)
Óleos e graxas	APHA; AWWA; WPCF (2005)
Nitrogênio Total Kjeldahl	APHA; AWWA; WPCF (2005)
Fósforo Total	APHA; AWWA; WPCF (2005)

Notas: DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO: Demanda Química de Oxigênio; pH: Potencial Hidrogeniônico.

4.2 Instalação do experimento

As parcelas experimentais foram alocadas em frente à UIA, em um talhão de, aproximadamente, 98 ha, plantada com *Eucaliptus Urophylla*, com espaçamento planejado de 2 m entre plantas e 3 m entre linhas. O plantio foi realizado em julho de 2015 e está atualmente com 2 anos. O plantio foi realizado em nível e as parcelas foram alocadas em uma mesma curva de nível.

Foram demarcadas e georreferenciadas a campo 12 parcelas, considerando-se 6 linhas por 9 árvores, portanto, cada uma delas previu 54 indivíduos. As áreas das parcelas variaram de 292 m^2 até 323 m^2 e as variações ocorreram em função do plantio em curva de nível e também em função da qualidade da operação silvicultural.

Os tratamentos foram sorteados inteiramente ao acaso nas parcelas. Na Figura 2 é apresentado o mapa da área experimental e as parcelas alocadas.

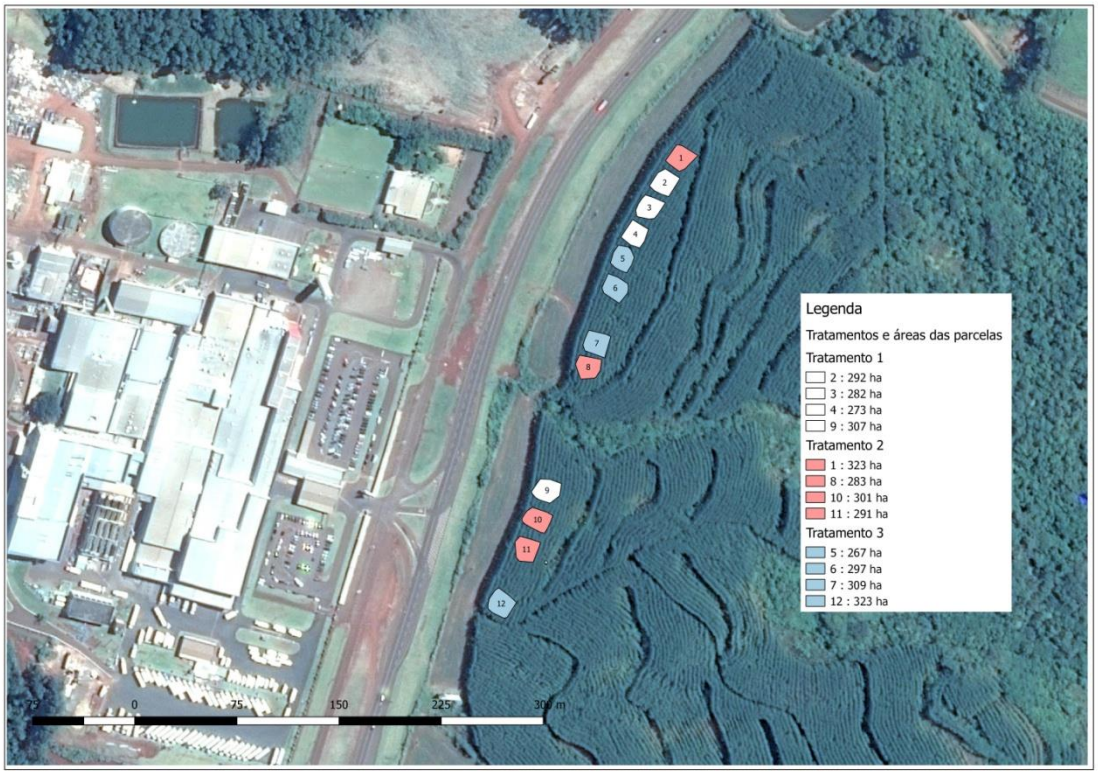

Figura 2 Mapa da área de estudo e alocação das parcelas.

4.2.1 Sistema de irrigação

Instalou-se o sistema de irrigação cuja função foi a de fazer o recalque do efluente desde a lagoa de fertirrigação 1 até as parcelas e distribuí-lo. Como o experimento foi

montado de um lado da rodovia federal BR 277 e a unidade industrial é alocada no lado oposto, foi necessária a realização de uma travessia não destrutiva da rodovia. Essa travessia consistiu em um túnel de 1,2 m de diâmetro, revestido com chapas cilíndricas de alumínio, conforme se visualiza na Figura 3.

Figura 3 Travessia não destrutiva da rodovia para transposição do efluente.

O cabeçal de irrigação (Figuras 4, 5 e 6) foi composto por: (a) uma motobomba centrífuga, da marca Schneider, com motor de 25 cv de potência, monobloco com capacidade de recalque de 50 m^3 h^{-1}; b) um registro do tipo gaveta, de bronze, com 3”, instalado depois do sistema de recalque para regulagem da vazão; (c) dois registros do tipo esfera para desviar o fluxo de efluentes da fertirrigação da área de reflorestamento com eucalipto adulto da UIA para a área experimental; (d) mangueira de polietileno de 3” para o recalque do efluente tratado até a área experimental; (e) dois filtros de disco tipo “Y”, com capacidade de filtragem de 50 m^3 h-1, para remoção de sólidos suspensos, com capacidade de filtragem de 120 Mesh; (f) hidrômetro de 4” multijato, para verificação da vazão geral do sistema.

Figura 4 Motobomba, registro de gaveta e derivação da linha principal de irrigação.

Figura 5 Sistema de filtração do efluente, com filtros de disco e hidrômetro.

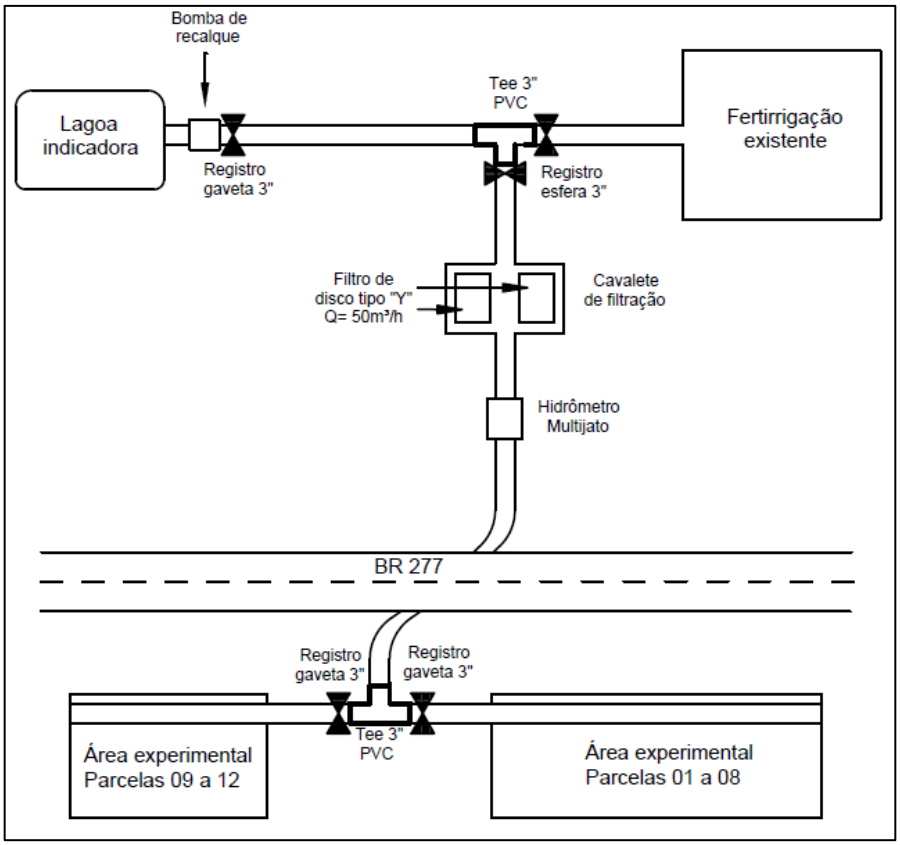

Figura 6 Esquema do cabeçal de irrigação e transporte do efluente.

Dentro das parcelas, o sistema de irrigação foi estruturado com um ramal de mangueira de polietileno de ¾". Desse ramal, derivaram 7 mangueiras gotejadoras também de ¾", instaladas paralelamente às curvas de nível. Os controles de vazão de irrigação em cada parcela foram feitos com registros do tipo gaveta em bronze e com hidrômetros multijato com sensibilidade de 0,001 $m^3\ h^{-1}$. Para verificação da pressão no início e no fim de cada parcela foram utilizados manômetros analógicos com glicerina, com precisão de 1 mca. Na Figura 7 é apresentado o esquema da irrigação nas parcelas e na Figura 8 o sistema já instalado em uma das parcelas.

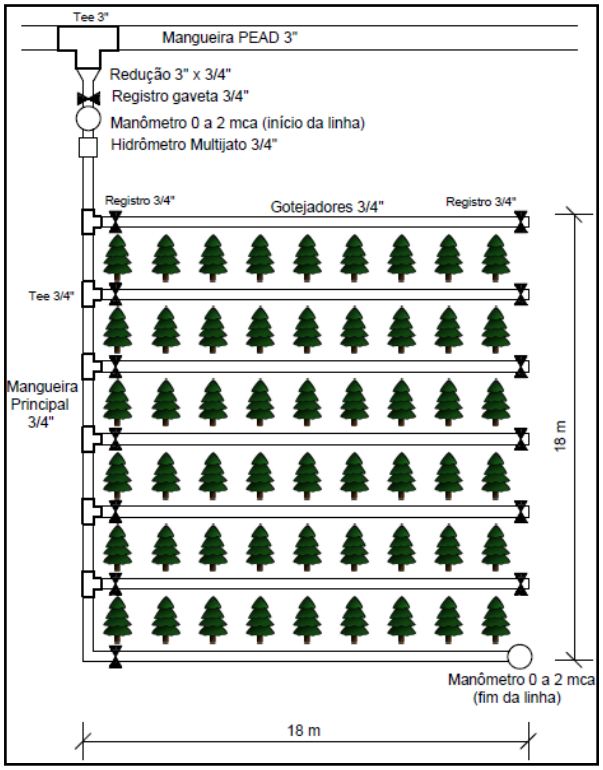

Figura 7 Esquema da irrigação nas parcelas.

Figura 8 Sistema de irrigação montado nas parcelas.

As mangueiras gotejadoras utilizadas foram polietileno da marca Silplast, modelo P1. O diâmetro interno é de ¾” e o espaçamento entre os gotejadores de 0,5 m. A vazão de cada gotejador é de 3,2 L h^{-1} sob uma pressão de 0,7 bar (7,13 mca). A pressão máxima de operação é de 0,8 bar (8,14 mca). As mangueiras gotejadoras foram instaladas a, aproximadamente, 0,25 m de distância das árvores. Na Figura 9, apresenta-se um exemplo da abertura da mangueira gotejadora.

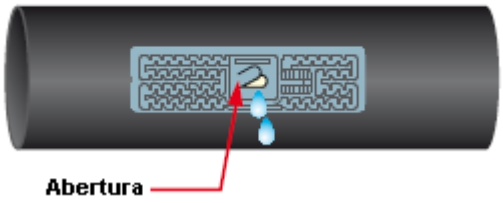

Figura 9 Modelo de gotejador utilizado.

4.3 Operação do sistema de irrigação

O sistema de irrigação foi acionado manualmente, na derivação do fluxo de efluentes da irrigação das áreas de florestas irrigadas da unidade.

A irrigação foi realizada durante 15 horas diárias, das 08:00 às 23:00, durante cinco dias na semana, totalizando 75 horas por semana.

No início de cada dia de operação, os dois filtros de discos foram lavados com água corrente, para eliminar os sólidos suspensos retidos. O controle da saturação dos filtros foi realizado com manômetros instalados antes e depois do sistema de filtração. De acordo com a indicação do fabricante, uma diferença de pressões de 7 mca ou mais, apresentadas entre o primeiro e o segundo manômetro, indica a necessidade de limpeza dos filtros de disco.

O volume total de efluentes destinada às parcelas foi verificado diariamente no hidrômetro. Os dados de volume e tempo foram anotados em um formulário específico (APÊNDICE A) e com esses dados procedeu-se o cálculo das vazões. Além disso, o período de operação do sistema, as pressões iniciais e finais nas parcelas, precipitações no dia e a temperatura ambiente foram monitorados diariamente.

Para que houvesse uma padronização no monitoramento do sistema, desenvolveu-se um procedimento operacional (PO), apresentado no Apêndice B.

4.4 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram avaliados em três diferentes taxas de irrigação: 100, 200 e 300 m^3 ha^{-1} dia^{-1}, com quatro repetições cada. As taxas foram definidas com base no ensaio de infiltração realizado pela empresa, cuja outorga de disposição de água no solo se baseia,

com permissão para disposição de 100 m³ de efluente por ha por dia. Então, propôs-se, além da avaliação do impacto da taxa outorgada, a avaliação do dobro e do triplo dessa taxa, sobre o sistema de irrigação.

O experimento foi implantado de forma inteiramente casualizada, com sorteio para alocação dos tratamentos nas parcelas. Na Tabela 4, são apresentados os tratamentos e a alocação nas parcelas.

Tabela 4 Tratamentos e alocação das parcelas

Tratamento	Taxas diárias de aplicação (m^3 ha^{-1} dia^{-1})	Taxas anuais de aplicação (m^3 ha^{-1} ano^{-1})	Pressão de trabalho (mca)	Parcelas
T1	100	26000	0,5	2, 3, 4 e 9
T2	200	52000	1,5	1, 8, 10 e 11
T3	300	78000	2,5	5, 6, 7 e 12

4.5 Ensaios de uniformidade

Para cada uma das condições testadas, foram realizados 24 ensaios, 6 em cada parcela, totalizando 72 ensaios de uniformidade no experimento. Os ensaios foram realizados quinzenalmente, entre os meses de janeiro e abril de 2017. Foram realizados 12 ensaios por quinzena, um em cada uma das parcelas.

A coleta de dados foi realizada com base no método proposto por Keller e Karmeli (1975), que recomenda o monitoramento da vazão e de outras variáveis em quatro pontos ao longo da linha lateral, ou seja, o primeiro gotejador, dos gotejadores situados a 1/3 e a 2/3 do comprimento e o último gotejador. As linhas laterais selecionadas ao longo da linha de derivação devem ser a primeira, as situadas a 1/3 e 2/3 do comprimento e a última linha lateral (Figura 10).

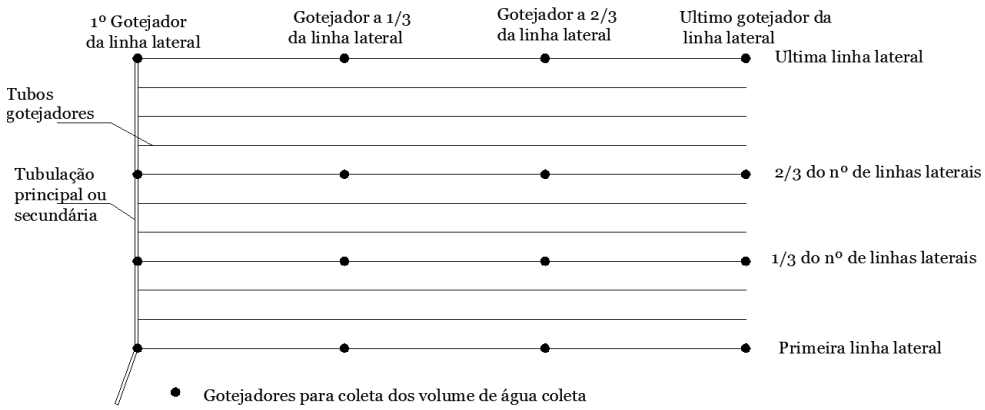

Figura 10 Pontos de coleta para a avaliação de um sistema de irrigação por gotejamento, recomendado por de Keller e Karmeli (1975).

Para a estimativa da uniformidade da irrigação, coletou-se o efluente nos pontos descritos, com um copo coletor. As coletas duraram 3 minutos em cada gotejador e o volume foi medido com auxílio de uma proveta.

Além do volume gotejado em 3 minutos e das vazões calculadas posteriormente, avaliaram-se, no efluente coletado nos gotejadores, o pH e a condutividade elétrica, utilizando-se um pHmetro e um condutivímetro portátil.

Para fins comparativos, além das taxas avaliadas a campo, Araújo et al. (2016) avaliaram a uniformidade da irrigação utilizando água limpa, em protótipo instalado no campo experimental da Unioeste. As linhas não foram pressurizadas e a carga hidráulica foi de 1,3 m, sendo que o reservatório utilizado tinha capacidade de 200 L.

Figura 11 Instalação do protótipo do sistema de irrigação para avaliação da uniformidade da irrigação utilizando água limpa. Caixa de água utilizada como reservatório, tubos gotejadores e coletores de água e filtro.

A perda de energia hidráulica foi estimada em 0,000348 mca, calculada pelo método de Hazen Williams, podendo ser considerada desprezível uma vez que o sistema de irrigação é muito pequeno e próximo ao reservatório. No protótipo avaliado com água, realizaram-se 20 ensaios de uniformidade, nos mesmos moldes dos ensaios realizados a campo.

4.6 Avaliação dos dados

Para a avaliação da uniformidade da irrigação utilizaram-se os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) (Equação 1), de uniformidade de distribuição (CUD) (Equação 2) e de uniformidade estatístico (CUE) (Equação 3), para os dados obtidos relativos à vazão, pH, condutividade elétrica no efluente e no solo:

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}}\right) 100 \quad (1)$$

em que:

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen (%);

x_i = vazão no coletor de ordem i (L h^{-1});

$\bar{x}$ = média aritmética das vazões (L h^{-1});

N = número de coletores na área experimental.

$$CUD = \left(\frac{\bar{x}_{25}}{\bar{x}}\right) 100 \quad (2)$$

em que:

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição (%);

$\bar{x}_{25}$ = valor médio de 25% das menores vazões i (L h^{-1});

$\bar{x}$ = média aritmética, considerando todas as vazões (L h^{-1}).

$$CUE = \left(1 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} |x_i - \bar{x}|^2}{(n-1)\bar{x}}}\right) 100 \quad (3)$$

em que:

CUE = coeficiente de uniformidade estatístico (%);

x_i = vazão no coletor de ordem i (L h^{-1});

$\bar{x}$ = média aritmética das vazões (L h^{-1});

N = número de coletores na área experimental.

Para avaliação da estabilidade e qualidade do processo, tanto para o monitoramento dos parâmetros do efluente quanto para a uniformidade da irrigação, utilizaram-se gráficos individuais de controle de Shewhart. Os limites inferior e superior para medidas individuais foram calculados a partir das Equações 4 e 5.

$$LIC = \bar{x} - 3\frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (4)$$

$$LSC = \bar{x} + 3\frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (5)$$

em que:

LIC = limite inferior de controle;

LSC = limite superior de controle;

$\bar{x}$ = média dos dados;

$\overline{MR}$ = média da amplitude móvel dos dados

d_2 = constante, quando usada uma amplitude móvel de n = 2, observações (d_2 = 1,128) (MONTGOMERY, 2009).

A capacidade de processo foi estimada com base na Equação 6, pelo método descrito por Montgomery (2009).

$$Cp = \frac{LSC - LIC}{6\sigma} \quad (6)$$

em que:

C_p = índice de capacidade do processo;

LSC = limite superior de controle;

LIC = limite inferior de controle;

σ = desvio padrão populacional da variável em estudo, como é, geralmente, desconhecido, é comumente substituído por uma estimativa, tipicamente utilizado o desvio padrão amostral s.

A capacidade do processo pelo limite inferior é dada pela Equação 7.

$$Cpi = \frac{\bar{x} - LIC}{3\sigma} \quad (7)$$

em que:

C_{pi} = capacidade do processo pelo limite inferior;

$\bar{x}$ = média dos dados;

LIC = limite inferior de controle;

σ = desvio padrão populacional da variável em estudo, como é, geralmente, desconhecido, é comumente substituído por uma estimativa, utilizando-se o desvio padrão amostral.

Segundo Montgomery (2009), para processos novos e especificações unilaterais, a classificação do processo se faz da seguinte forma: C_{pi} > 1,50, o processo é capaz ou

adequado segundo as especificações; $1 < C_{pi} < 1{,}50$, o processo é aceitável; $C_{pi} < 1$, o processo é incapaz ou inadequado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização do efluente industrial

Para a caracterização do efluente industrial, realizaram-se 20 coletas, com periodicidade quinzenal, ao longo de 10 meses. As amostras foram avaliadas em relação às suas características físico-químicas. Na Tabela 5 são apresentados os resultados da análise estatística exploratória dos dados obtidos.

Tabela 5 Características físico-químicas do efluente tratado do abatedouro da Unidade Industrial de Aves - UIA, resultante das 20 coletas realizadas quinzenalmente na lagoa de fertirrigação

Variável	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)	Mín.	Máx.
pH	7,00	0,09	1,28	6,83	7,24
Condutividade (dS cm^{-1})	0,99	62,90	6,35	0,90	1,11
SST(mg L^{-1})	72,13	11,58	16,05	52,44	91,63
SSF (mg L^{-1})	27,96	9,80	35,05	4,12	57,18
SSV (mg L^{-1})	44,17	9,50	21,51	19,78	62,38
NTK (mg L^{-1})	48,71	11,49	23,59	23,92	68,45
Fósforo total (mg L^{-1})	20,27	5,52	27,23	9,40	31,00
DBO (mg L^{-1})	32,94	10,44	31,69	14,42	51,00
DQO (mg L^{-1})	80,95	14,68	18,13	51,00	102,00
Óleos e graxas (mg L^{-1})	6,32	1,86	29,48	3,20	9,70

Notas: Mín.: Mínimo; Max: Máximo; SST: Sólidos suspensos totais; SSF: Sólidos suspensos fixos; SSV: Sólidos suspensos voláteis; NTK: Nitrogênio total Kjeldahl; DBO: Demanda bioquímica de oxigênio; DQO: Demanda química de oxigênio.

Embora não trate especificamente sobre as disposições de efluentes lançados no solo, a Resolução 430, de 13 de maio de 2011, do CONAMA, vem sendo utilizada como referência pelos órgãos ambientais fiscalizadores no estado do Paraná. A referida Resolução determina que os efluentes, dispostos em corpos de água, devem conter, no máximo, a concentração de 60 mg L^{-1} de DBO, 200 mg L^{-1} de DQO, pH entre 6,5 e 9,5 e concentração de óleos e graxas inferior a 20 mg L^{-1} (BRASIL, 2011). Observa-se na Tabela 1 que os parâmetros observados não excederam os limites, mesmo nos valores máximos obtidos.

Mees et al. (2013), caracterizando o efluente deste mesmo abatedouro de aves, encontrou variações maiores de pH (6,93 até 9,58), além de concentrações médias de nitrogênio total e DQO superiores (143 até 175 mg L^{-1} para nitrogênio e 385 mgL^{-1} para DQO). A diferença entre as médias desses parâmetros e os dados observados no presente

estudo pode estar relacionada a recentes melhorias operacionais no sistema de tratamento de efluentes da UIA, com a utilização de um sistema de flotação físico-química no sistema primário, bem como a implantação do sistema de lodo ativado no sistema secundário, reduzindo substancialmente a carga orgânica do efluente.

Em relação aos sólidos suspensos totais, a média obtida para as amostras do efluente, de 72,13 mg L^{-1}, pode ser considerada como risco moderado de entupimento (50 - 100 mg L^{-1}) para os gotejadores, de acordo com Nakayama e Bucks (1991). No entanto, o sistema de filtração instalado no decorrer da linha consegue reter boa parte desses sólidos, fazendo-se necessário apenas o aumento da frequência de lavagem deste sistema. Já, em relação à condutividade elétrica que teve como valor médio 0,99 dS m^{-1}, de acordo com a classificação de Nakayama e Bucks (1991), pode-se considerar que o efluente também oferece risco moderado de entupimento (0,7 – 3,0 dS m^{-1}).

As coletas foram realizadas ao longo de 10 meses, com o intuito de verificar variações representativas na qualidade do efluente, influenciadas pela sazonalidade da indústria, para tanto, os gráficos de controle apresentam um panorama das variações ao longo do tempo em relação aos limites de controle. São apresentados na Tabela 6, os resultados dos índices de capacidade de processo e na Figura 12, os gráficos de controle de Shewhart para as médias dos resultados das análises.

Tabela 6 Resultados dos índices de capacidade inferiores para os parâmetros avaliados

Parâmetro	C_{pi}	Classificação*
DQO	2,7	Adequado
DBO	0,86	Inadequado
Fósforo total	4,82	Adequado
Nitrogênio total	1,49	Aceitável
Condutividade elétrica	1,1	Aceitável
Óleos e graxas	2,45	Adequado
pH	9,52	Adequado
Sólidos suspensos totais	2,24	Adequado

Fonte: *Montgomery (2009).

Observa-se na Tabela 6 que, pelos índices de capacidade de processo, a DQO, fósforo total, óleos e graxas, pH e sólidos suspensos totais estão adequados. Em relação à condutividade elétrica e ao nitrogênio total, os processos são considerados aceitáveis. Já, em relação à DBO, o processo é considerado inadequado.

Conforme se observa na Figura 12, o gráfico de controle da DQO apresentou 8 resultados acima da linha média (81,0 mg L^{-1}) entre as coletas 5 e 11, o que pode indicar a falta de controle. O gráfico de controle da DBO apresentou os resultados das coletas 1 e 3 abaixo do LIC e a coleta 10 acima do LSC. No dia anterior, ocorreu uma precipitação de 50 mm, o que acarretou aumento do valor da DBO, mesmo que ainda dentro dos padrões

de lançamento. Ocorreu também uma sequência de 6 resultados abaixo da linha média (32,94 mg L^{-1}), entre as coletas 11 e 16. Além disso, observa-se uma tendência de aumento das concentrações, com o passar do tempo. Todos estes fatores refletem a falta de controle no parâmetro DBO. No gráfico de controle do nitrogênio total, verifica-se que entre as coletas 1 e 6 os resultados ficaram abaixo da linha média (48,71 mg L^{-1}). Já entre as coletas 15 e 20 os valores ficaram acima da linha média. Houve também a ocorrência de dois pontos abaixo do LIC nas coletas 13 e 14, o que indica a falta de controle no parâmetro nitrogênio total. No parâmetro gráfico de controle da condutividade elétrica, verificam-se 8 resultados consecutivos abaixo da linha central (0,99 dS cm^{-1}) entre as coletas 1 e 8 e mais 6 pontos acima da linha média entre as coletas 15 e 20. Além disso, ocorreu 1 ponto acima do LSC na décima coleta. Os gráficos de controle dos parâmetros fósforo total, óleos e graxas, pH e sólidos suspensos totais retratam um processo totalmente controlado.

Silva et al. (2014) sugerem o controle estatístico de processo para avaliação do efluente nas agroindústrias, porém, recomendam que os processos com erros anômalos sejam investigados. Os autores ainda ressaltam que, perante a existência de padrões de não aleatoriedade, deve-se realizar um controle mais preciso na operação da estação de tratamento de efluentes, a fim de evitar um desequilíbrio ambiental que possa afetar o ecossistema local.

Figura 12 Gráficos de controle de Shewhart para os resultados obtidos nas análises dos parâmetros de monitoramento do efluente tratado da UIA.

5.2 Uniformidade da Irrigação

Na Tabela 7 é apresentada a estatística exploratória para os dados obtidos para vazão, pH e condutividade elétrica, para os três tratamentos.

Tabela 7 Resultados da estatística exploratória dos dados obtidos para os parâmetros avaliados

Parâmetro	Tratamento	Média	Desvio padrão	Coeficiente de variação	Mínimo	Máximo
Vazão (L h^{-1})	T1	0,83	0,059	7,11	0,72	0,90
	T2	1,54	0,053	3,45	1,45	1,64
	T3	2,54	0,052	2,07	2,45	2,64
Ph	T1	7,38	0,099	1,34	7,29	7,56
	T2	7,43	0,080	1,09	7,28	7,51
	T3	7,49	0,059	0,79	7,39	7,56
Condutividade elétrica (µS cm^{-1})	T1	0,86	35,39	4,11	0,79	0,89
	T2	0,85	24,03	2,82	0,81	0,88
	T3	0,86	9,88	1,14	0,84	0,87

Nas figuras 13, 14 e 15, são apresentados os gráficos de contorno e de superfície, que demonstram a distribuição das médias das vazões, pH e condutividade elétrica, para os tratamentos T1, T2 e T3.

Na distribuição das médias de vazão, observa-se uma clara tendência crescente em relação às últimas linhas de gotejadores. Isto se dá em função da declividade do terreno. Como as primeiras mangueiras gotejadoras estão em cotas mais altas, a pressão sobre os gotejadores é menor, mesmo com os registros instalados em cada uma das linhas de mangueiras gotejadoras, abertas de modo a compensar o efeito da declividade. Resende et al. (2001) também atribuem as altas diferenças de pressão entre as linhas de gotejadores à declividade, entretanto, por utilizarem gotejadores autocompensantes, os autores não constataram diferença significativa na vazão dos emissores.

Em relação à distribuição das médias do pH, além das variações serem muito baixas (<2%), não é possível observar uma tendência clara na distribuição de médias. Já as médias da condutividade elétrica apresentam-se crescentes no sentido do distanciamento dos gotejadores ao ramal de alimentação. Este fato pode ser atribuído à concentração de sais nos fins de curso das linhas de irrigação. Batista et al. (2010) verificaram que o entupimento de gotejadores acentua-se no final das linhas laterais e recomenda como boa prática a abertura das linhas para a limpeza a cada ciclo de irrigação.

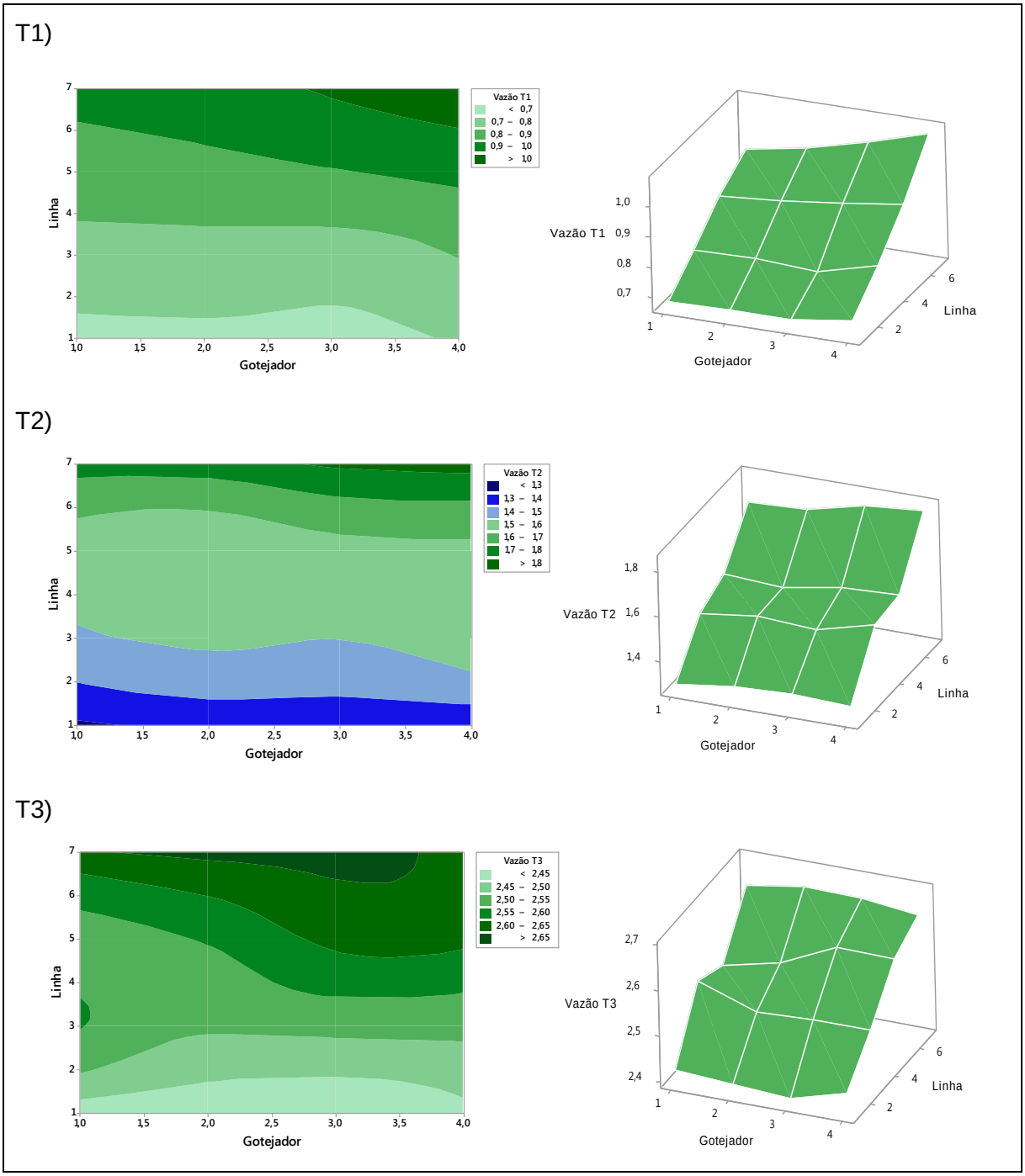

Figura 13 Distribuição das médias de vazões nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente.

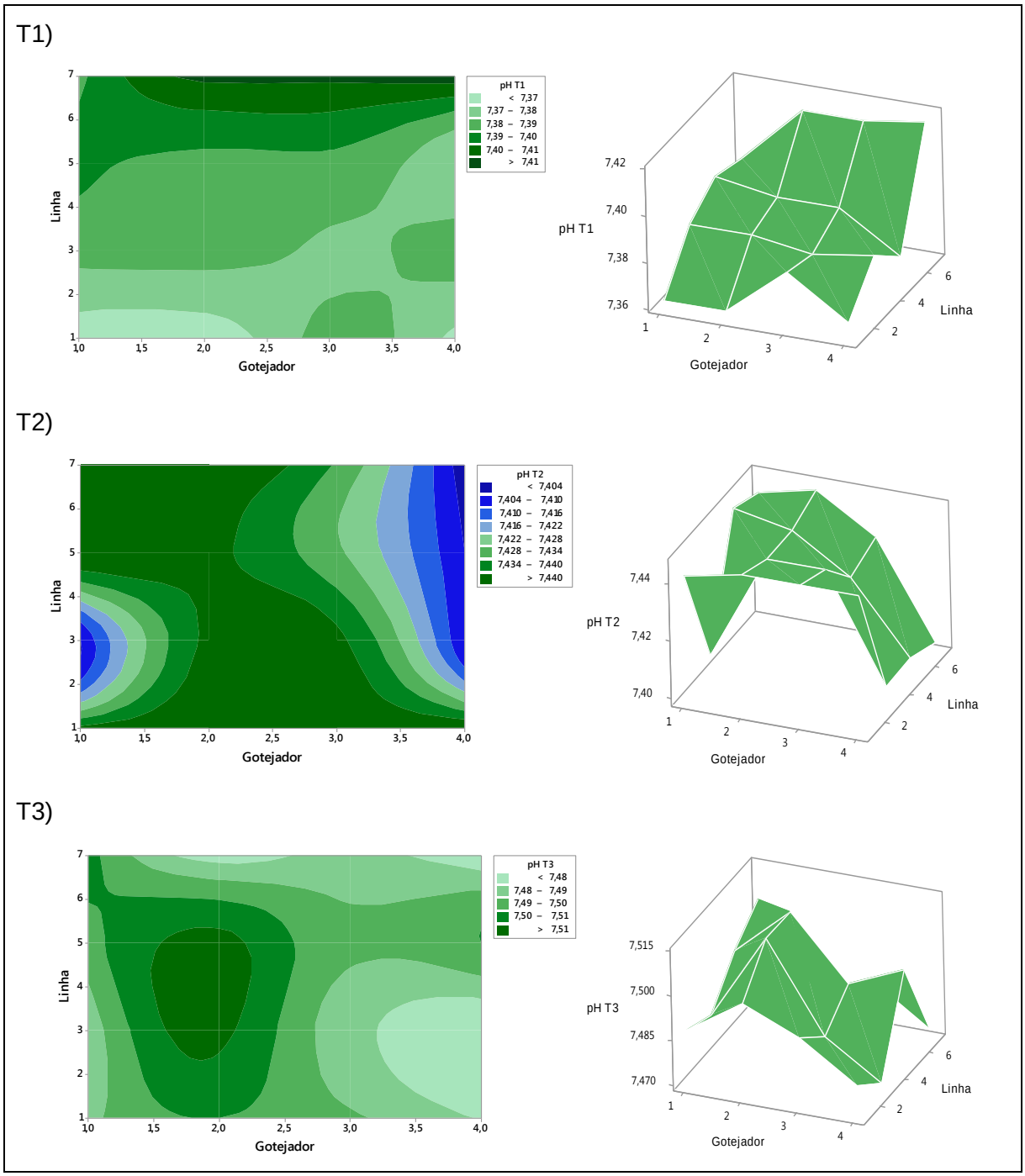

Figura 14 Distribuição das médias de pH nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente.

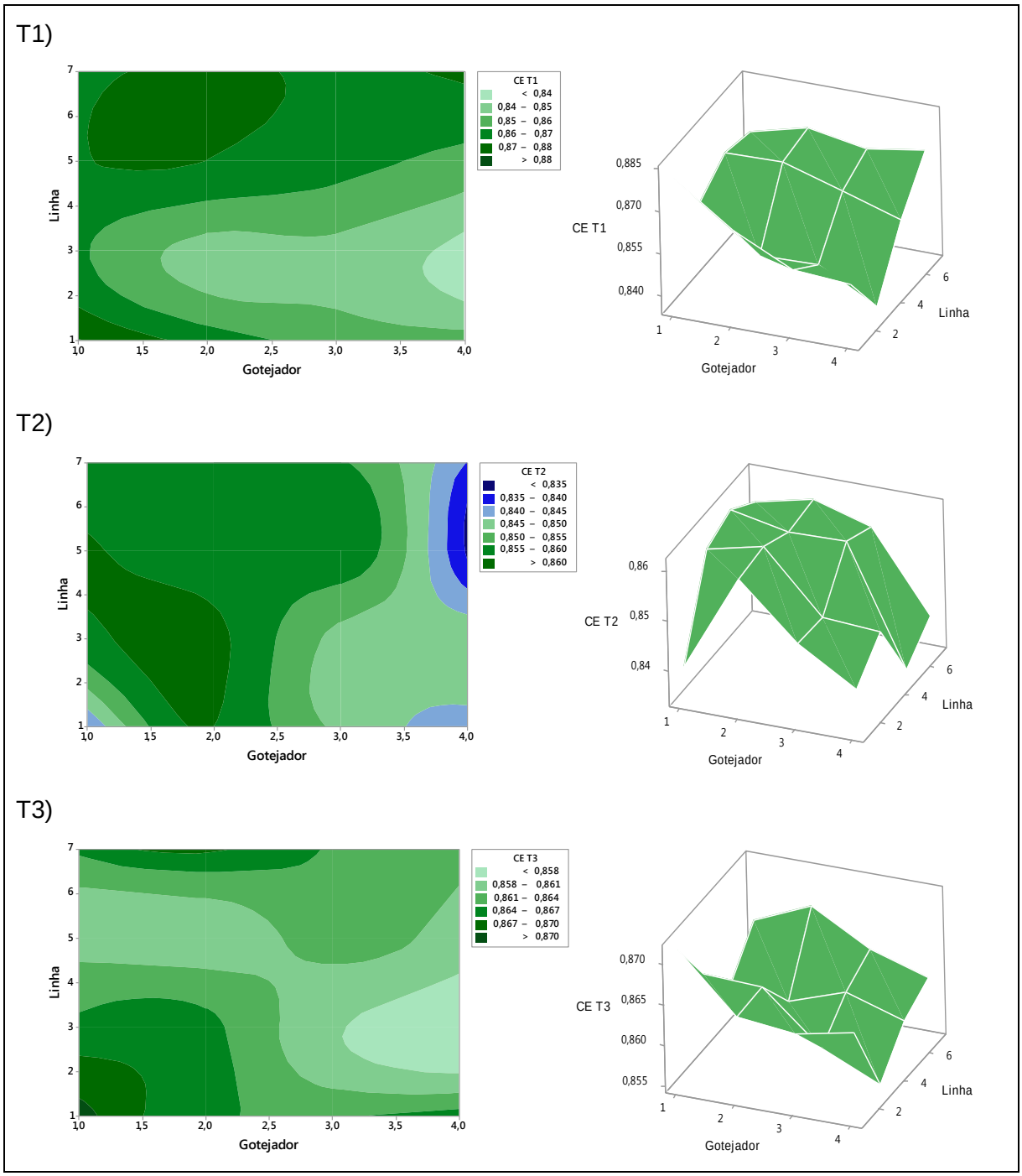

Figura 15 Distribuição das médias de condutividade elétrica nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente.

5.2.1 Coeficientes de uniformidade

Os resultados da análise exploratória dos dados obtidos de CUC, CUE e CUD, para a vazão, pH e condutividade elétrica são apresentados na Tabela 8. Observa-se que, para

todos os parâmetros avaliados e para todas as variáveis CUC, CUE e CUD, as médias foram maiores no tratamento T3, com taxa de aplicação de efluente de 300 m^3 ha^{-1} dia^{-1}.

Tabela 8 Resultados obtidos para os coeficientes de uniformidade aplicados aos dados de vazão, pH e condutividade elétrica

Parâmetro	Coeficiente (%)	Tratamento	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Vazão	CUC	T1	86,5	2,4	82,0	89,6
		T2	90,2	1,8	86,3	93,7
		T3	96,1	1,0	94,1	97,7
	CUE	T1	83,7	2,9	77,1	87,3
		T2	87,6	2,4	82,4	92,0
		T3	95,4	1,0	93,6	97,4
	CUD	T1	80,4	2,4	74,4	85,0
		T2	84,5	4,7	74,7	91,7
		T3	94,5	1,3	92,3	97,1
pH	CUC	T1	99,4	0,1	99,1	99,6
		T2	99,4	0,1	99,0	99,6
		T3	99,5	0,1	99,3	99,8
	CUE	T1	99,2	0,1	98,9	99,4
		T2	99,2	0,1	98,8	99,4
		T3	99,3	0,1	99,1	99,6
	CUD	T1	99,3	0,2	98,4	99,7
		T2	99,1	0,2	98,4	99,5
		T3	99,3	0,2	98,9	99,9
Condutividade elétrica	CUC	T1	98,2	0,9	95,6	99,3
		T2	98,5	0,7	95,6	99,5
		T3	98,9	0,3	98,2	99,3
	CUE	T1	97,4	1,5	92,6	99,0
		T2	97,9	1,6	90,8	99,3
		T3	98,6	0,5	96,9	99,2
	CUD	T1	97,0	1,9	91,3	98,8
		T2	97,5	1,6	91,2	99,4
		T3	98,5	0,4	97,7	99,1

A uniformidade da distribuição do pH e da condutividade elétrica, para os três coeficientes (CUC, CUD e CUE), pode ser considerada excelente para todos os tratamentos.

Em relação à vazão, podem se considerar excelentes as uniformidades observadas no tratamento T3 e também para o CUC no tratamento T2, para os quais se observaram coeficientes com valor superior a 90% (BRALTS, 1986; MANTOVANI, 2002).

Para o CUE e CUD do tratamento T2, foram observados coeficientes muito bons, superiores a 80%, assim como para o tratamento T1 (BRALTS, 1986; MANTOVANI, 2002).

Para o tratamento T3, mesmo quando comparado a outros trabalhos que utilizaram efluentes em sistemas de irrigação por gotejamento, como os de Gris, Hermes e Vilas Boas

(2012), Batista et al. (2013), Gonçalves et al. (2013), Juchen, Suszek e Vilas Boas (2013), Salatiel et al. (2013) e Hermes et al. (2013), a distribuição das vazões apresenta-se altamente uniforme, já para os tratamentos T1 e T2 os resultados ficaram aquém de outros trabalhos.

Hermes et al. (2014) e Hermes et al. (2015) obtiveram, utilizando água residuária do processamento da mandioca, resultados semelhantes aos obtidos neste estudo, para CUC e CUD para o tratamento T3.

Para fins comparativos, Araújo et al. (2016), utilizando o mesmo tubo gotejador usado neste trabalho, em ensaio com protótipo de irrigação, utilizando água limpa, com linhas não pressurizadas, carga hidráulica de 1,3 m e reservatório de 80 L, obtiveram vazão média 1,21 L h^{-1}. Os autores obtiveram valores de CUC, CUD e CUE de 95,7, 96,8 e 95,4%, respectivamente. Fato importante observado é que, em comparação com os resultados obtidos para o tratamento T3, para o CUC, verificaram-se melhores resultados de uniformidade com efluente do que com água e valores muito próximos de uniformidade para CUD e CUE (2% e 0% de variação, respectivamente). Em relação aos tratamentos T1 e T2, obtiveram-se resultados inferiores a Araújo et al. (2016). A maior diferença foi observada entre o CUD obtido para os ensaios no protótipo e o CUD obtido no tratamento T1 (diferença de 17%).

Deus et al. (2015) avaliaram a variabilidade temporal das características hidráulicas de um sistema de irrigação familiar por gotejamento; na avaliação com água limpa, os emissores novos apresentaram 98,01 e 96,84% de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD), respectivamente. Na avaliação de campo, os coeficientes foram menores que os encontrados inicialmente (CUC=90,30% e CUD=85,79%), resultado da disposição dos equipamentos na área experimental, com declividade média de 10%, e do entupimento observado (GE=6,79%), após 24 eventos de irrigação.

Para comprovar se os tratamentos diferiam em relação às suas médias, com tendências ao aumento da uniformidade com o aumento das taxas de aplicação, procedeu-se a análise de variância e comparação de médias para todos os parâmetros avaliados. Nas Tabelas 9, 10 e 11, são apresentados, respectivamente, os resultados das análises de variância para o CUC, CUE e CUD das vazões.

Tabela 9 Análise de variância para os dados obtidos de coeficiente de uniformidade de Christiansen - CUC, das vazões

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Valor de F	P-valor
Tratamento	2	1111,7	555,852	157,49	<0,05
Erro	69	243,5	3,529		
Total	71	1355,2			

Tabela 10 Análise de variância para os dados obtidos de coeficiente de uniformidade estatístico - CUE, das vazões

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Valor de F	P-valor
Tratamento	2	1718,3	859,145	163,05	<0,05
Erro	69	363,6	5,269		
Total	71	2081,9			

Tabela 11 Análise de variância para os dados obtidos de coeficiente de uniformidade de distribuição - CUD, das vazões

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Valor de F	P-valor
Tratamento	2	2504,1	1252,07	121,87	<0,05
Erro	69	708,9	10,27		
Total	71	3213			

Para os 3 coeficientes, pela análise de variância, a 5% de significância, rejeita-se a hipótese de igualdade dos tratamentos, indicando que pelo menos um dos tratamentos diferiu dos demais. Para identificar essas diferenças entre os tratamentos, aplicou-se o teste de médias de Tukey. Os resultados são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 Teste de comparação de médias para as variáveis CUC, CUE e CUD das vazões

Variável	Tratamento	Média	Resultado Tukey
CUC	T3	96,1	a
	T2	90,2	b
	T1	86,5	c
CUE	T3	95,4	a
	T2	87,6	b
	T1	83,7	c
CUD	T3	94,5	a
	T2	84,5	b
	T1	80,4	c

Os resultados do teste de Tukey apontam que todas as médias dos tratamentos diferiram entre si, ou seja, para a distribuição da vazão, tanto o CUC quanto o CUE e o CUD apresentam diferenças significativas a 5% de significância entre as médias dos tratamentos T1, T2 e T3. Para os 3 coeficientes, as médias dos tratamentos foram maiores no tratamento T3, com taxa de aplicação de 300 m^3 $ha^{-1}dia^{-1}$, seguidas pelo tratamento T2, com taxa de aplicação de 200 m^3 $ha^{-1}dia^{-1}$.

É possível que a maior uniformidade das vazões nas taxas de aplicação maiores, seja atribuída à pressão superior nesses tratamentos. Hernandez (2010) verificou a redução do coeficiente de variação da vazão com o aumento da pressão nas linhas, assim como Deus et al. (2015), que operaram em pressões muito próximas às deste trabalho. Considerando que, no tratamento T3, a pressão de operação é superior, pode-se afirmar

que foram obtidos melhores resultados de uniformidade nesse tratamento em função de uma pressão de operação mais favorável à utilização do efluente.

Além da distribuição das vazões, aplicaram-se os coeficientes de uniformidade ao pH do efluente. Os resultados são apresentados nas Tabelas 13, 14 e 15.

Tabela 13 Análise de variância para os dados obtidos de coeficiente de uniformidade de Christiansen - CUC, do pH

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Valor de F	P-valor
Tratamento	2	0,07144	0,03572	1,53	0,223
Erro	69	1,60915	0,02332		
Total	71	1,68058			

Tabela 14 Análise de variância para os dados obtidos de coeficiente de uniformidade estatístico - CUE, do pH

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Valor de F	P-valor
Tratamento	2	0,174	0,08698	5,38	0,007
Erro	69	1,1158	0,01617		
Total	71	1,2897			

Tabela 15 Análise de variância para os dados obtidos de coeficiente de uniformidade de distribuição - CUD, do pH

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Valor de F	P-valor
Tratamento	2	0,7294	0,36468	5,16	0,008
Erro	69	4,8773	0,07069		
Total	71	5,6066			

De acordo com os resultados das análises de variância, não se pode afirmar que os tratamentos diferem entre si, em relação à distribuição do pH para o CUC. Já para o CUD e CUE, as análises de variância apontaram diferenças entre os tratamentos, confirmadas pelo teste de médias (Tabela 16), no qual se pode verificar que o tratamento T2 difere de T3 para o CUE e o tratamento T2 difere de T3 e de T1 para o CUD.

Tabela 16 Teste de comparação de médias para as variáveis CUC, CUE e CUD do pH

Variável	Tratamento	Média	Resultado Tukey
CUC	T3	99,5	a
	T2	99,4	a
	T1	99,4	a
CUE	T3	99,3	a
	T1	99,2	ab
	T2	99,2	b
CUD	T3	99,3	a
	T1	99,3	a
	T2	99,1	b

Em relação aos coeficientes de distribuição da condutividade elétrica, as ANOVAS apresentadas nas Tabelas 17, 18 e 19 também não apontam diferenças significativas entre os tratamentos, a 5% de significância, embora o teste de Tukey também aponte que as médias do tratamento T3 diferem das médias do tratamento T1 para CUC e CUE e diferem de T1 e T2 para o CUD (Tabela 20).

Tabela 17 Análise de variância para os dados obtidos de coeficiente de uniformidade de Christiansen - CUC, da condutividade elétrica

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Valor de F	P-valor
Tratamento	2	5,803	2,9013	5,38	0,007
Erro	69	37,234	0,5396		
Total	71	43,037			

Tabela 18 Análise de variância para os dados obtidos de coeficiente de uniformidade estatístico - CUE, da condutividade elétrica

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Valor de F	P-valor
Tratamento	2	16,85	8,425	4,79	0,011
Erro	69	121,33	1,758		
Total	71	138,18			

Tabela 19 Análise de variância para os dados obtidos de coeficiente de uniformidade de distribuição - CUD, da condutividade elétrica

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Valor de F	P-valor
Tratamento	2	29,32	14,66	6,9	0,002
Erro	69	146,62	2,125		
Total	71	175,94			

Tabela 20 Teste de comparação de médias para as variáveis CUC, CUE e CUD da condutividade elétrica

Variável	Tratamento	Médias	Resultado Tukey
CUC	T3	98,9	a
	T2	98,5	ab
	T1	98,2	b
CUE	T3	98,6	a
	T2	97,9	ab
	T1	97,4	b
CUD	T3	98,5	a
	T2	97,5	b
	T1	97,0	b

Assim como para a distribuição das vazões e do pH, a tendência é o aumento da uniformidade da distribuição da condutividade elétrica com o aumento das taxas de irrigação aplicadas, muito embora, as médias de uniformidade para os três coeficientes e para os três tratamentos tenham sido muito próximas.

5.3 Controle estatístico de qualidade

Os resultados de índices de capacidade de processo para os coeficientes CUC, CUD e CUE, para os parâmetros analisados são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 Resultados dos índices de capacidade inferiores para os parâmetros avaliados no teste preliminar

Parâmetro	Coeficiente (%)	Tratamento	Cpi	Classificação
Vazão	CUC	T1	2,98	Adequado
		T2	1,89	Adequado
		T3	1,87	Adequado
	CUE	T1	0,43	Inadequado
		T2	1,03	Aceitável
		T3	1,67	Adequado
	CUD	T1	0,88	Inadequado
		T2	0,32	Inadequado
		T3	1,36	Aceitável
pH	CUC	T1	47,50	Adequado
		T2	40,5	Adequado
		T3	40,52	Adequado
	CUE	T1	53,19	Adequado
		T2	43,67	Adequado
		T3	57,86	Adequado
	CUD	T1	21,56	Adequado
		T2	25,37	Adequado
		T3	26,35	Adequado
Condutividade elétrica	CUC	T1	6,43	Adequado
		T2	12,43	Adequado
		T3	17,56	Adequado
	CUE	T1	3,89	Adequado
		T2	6,18	Adequado
		T3	11,02	Adequado
	CUD	T1	4,90	Adequado
		T2	5,51	Adequado
		T3	14,22	Adequado

Os índices de capacidade de processo encontrados para os coeficientes da vazão foram considerados adequados, com exceção dos índices obtidos para o CUE do tratamento T1 e o CUD dos tratamentos T1 e T2, que foram classificados como inadequados; para o CUE do tratamento T1 e o CUD do tratamento T3, foram classificados como aceitáveis.

Na Figura 16 é apresentado o gráfico de controle para o CUC das vazões, dos tratamentos T1, T2 e T3. Embora todos os coeficientes obtidos em todas as observações dos três tratamentos tenham sido classificados como excelentes, quando analisados conjuntamente, num mesmo gráfico de controle, podem ser entendidos como processos sem controle, em função da diferença significativa entre as vazões aplicadas ao sistema. Porém, quando avaliados separadamente, Figura 17, pode-se verificar que os processos

apresentam poucos pontos que extrapolam os limites de controle estatístico, corroborando a classificação obtida pela análise do índice de capacidade do processo. Para os gráficos de controle dos coeficientes CUE e CUD, constatou-se um comportamento semelhante.

Entretanto, verifica-se nos gráficos que apresentam os três tratamentos conjuntamente a evidência do aumento da uniformidade da irrigação com o aumento da vazão/taxas de aplicação no sistema.

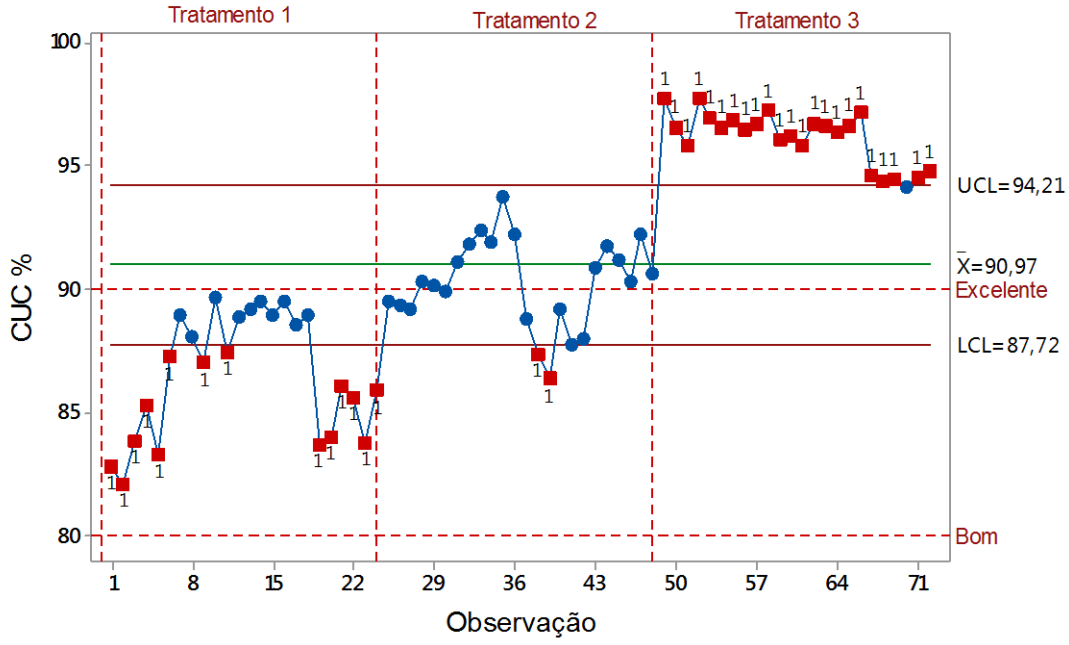

Figura 16 Gráfico de controle de Shewhart para o CUC das vazões dos tratamentos T1, T2 e T3.

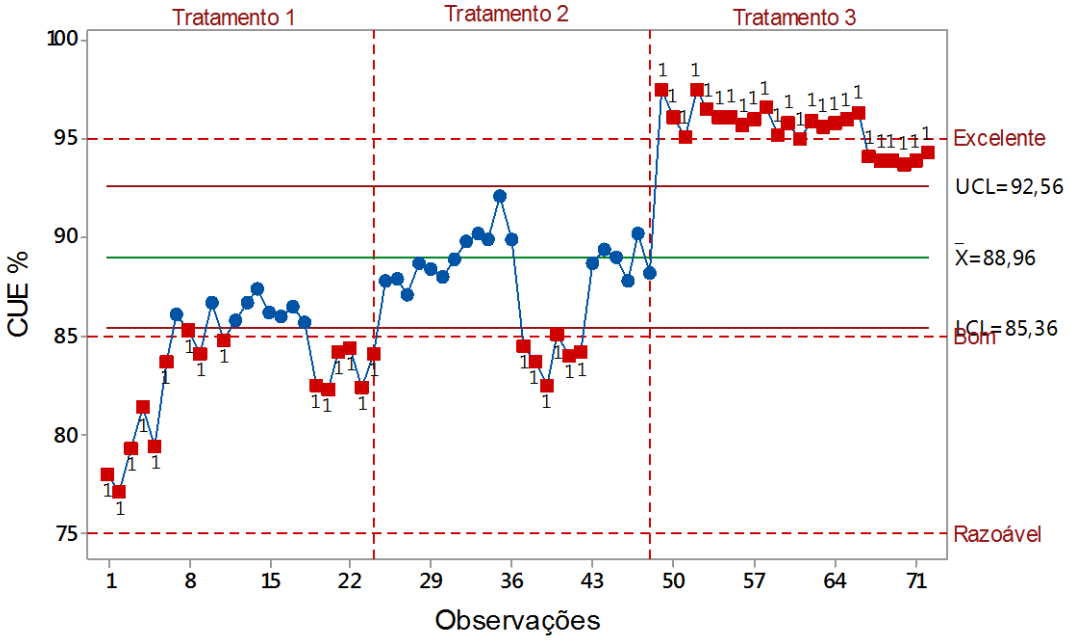

Figura 17 Gráfico de controle de Shewhart para o CUE das vazões dos tratamentos T1, T2 e T3.

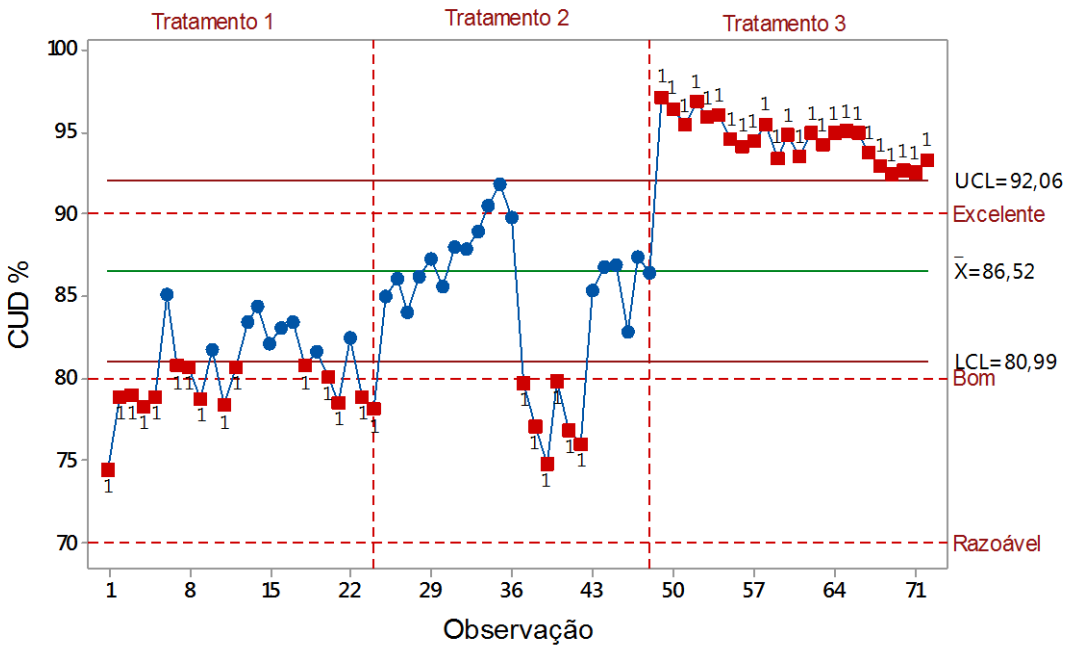

Figura 18 Gráfico de controle de Shewhart para o CUD das vazões dos tratamentos T1, T2 e T3.

Conforme se visualiza na Figura 19, para o CUC, no tratamento T1 há um ponto abaixo do LIC no ensaio 2. Além disso, há uma sequência do ensaio 6 ao 8 acima da linha média (86,56%) e uma sequência do ensaio 18 ao 24 acima da linha média, o que configura a falta de controle. No tratamento T2, observa-se um ponto acima do LSC e um ponto abaixo do LIC nos ensaios 11 e 15 respectivamente. Há também uma sequência acima da linha média (90,22%) entre o ensaio 7 a 12, o que pode apresentar indícios de falta de controle. No tratamento T3 verifica-se o ensaio 4 acima da LSC e os ensaios 20, 21 e 22 abaixo da LIC. Também ocorreu uma sequência entre os ensaios 5 a 10 com coeficientes acima da linha média (96,10%).

Portanto, os três tratamentos apresentaram indícios de falta de controle para o CUC da vazão, embora tenham apresentado Cpi considerada adequada para todos os tratamentos, bem como uniformidade boa para o tratamento T1 e excelente para os tratamentos T2 e T3.

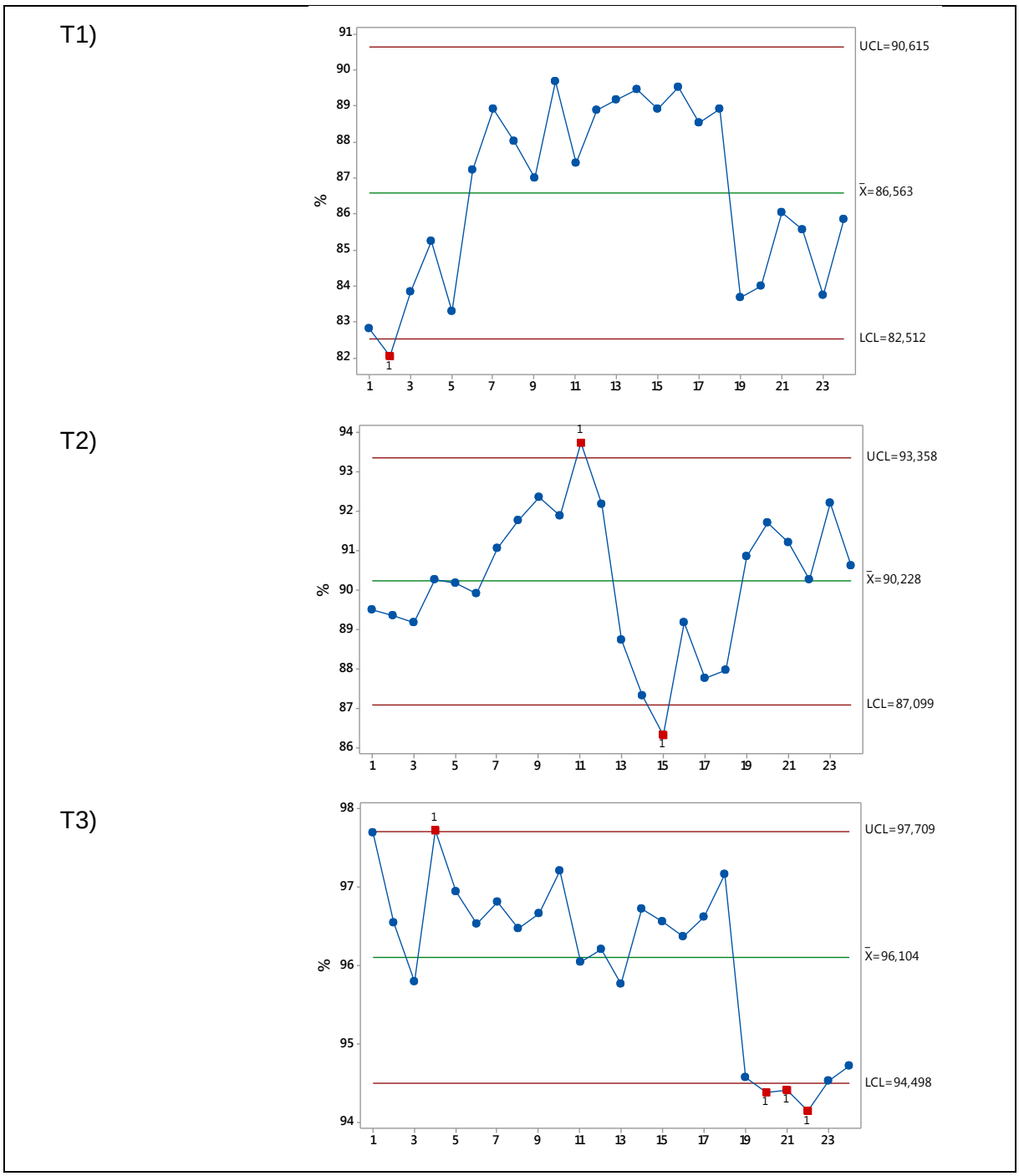

Figura 19 Gráficos de controle de Shewhart para as observações de CUC da vazão nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente.

Na Figura 20 são apresentados os gráficos de controle individuais para o CUE. Para o CUE, no tratamento T1 foram identificados 4 pontos abaixo do LIC nos ensaios 1,2 3 e 5, além de uma sequência acima da linha média (83,71%) entre os ensaios 7 e 18, o que configura a falta de controle nesse tratamento. No tratamento T2, verifica-se um ponto acima do LSC no ensaio 11 e dois pontos abaixo do LIC nos ensaios 14 e 15. Também há uma sequência de pontos acima da linha média (87,69%) entre os ensaios 1 e 12, o que configura a falta de controle neste tratamento. No tratamento T3 foram observados 2 pontos acima do LSC nos ensaios 1 e 4 e 6 pontos abaixo do LIC nos ensaios 19 a 24. Também se

observa uma sequência de pontos acima da linha média (95,47%) entre os ensaios 5 a 10. Isso retrata a falta de controle também no tratamento 3.

Portanto, os três tratamentos apresentaram indícios de falta de controle para o CUE da vazão. A Cpi foi considerada adequada apenas para o tratamento T3 e a uniformidade boa para os tratamentos T1 e T2 e excelente para o tratamento T3.

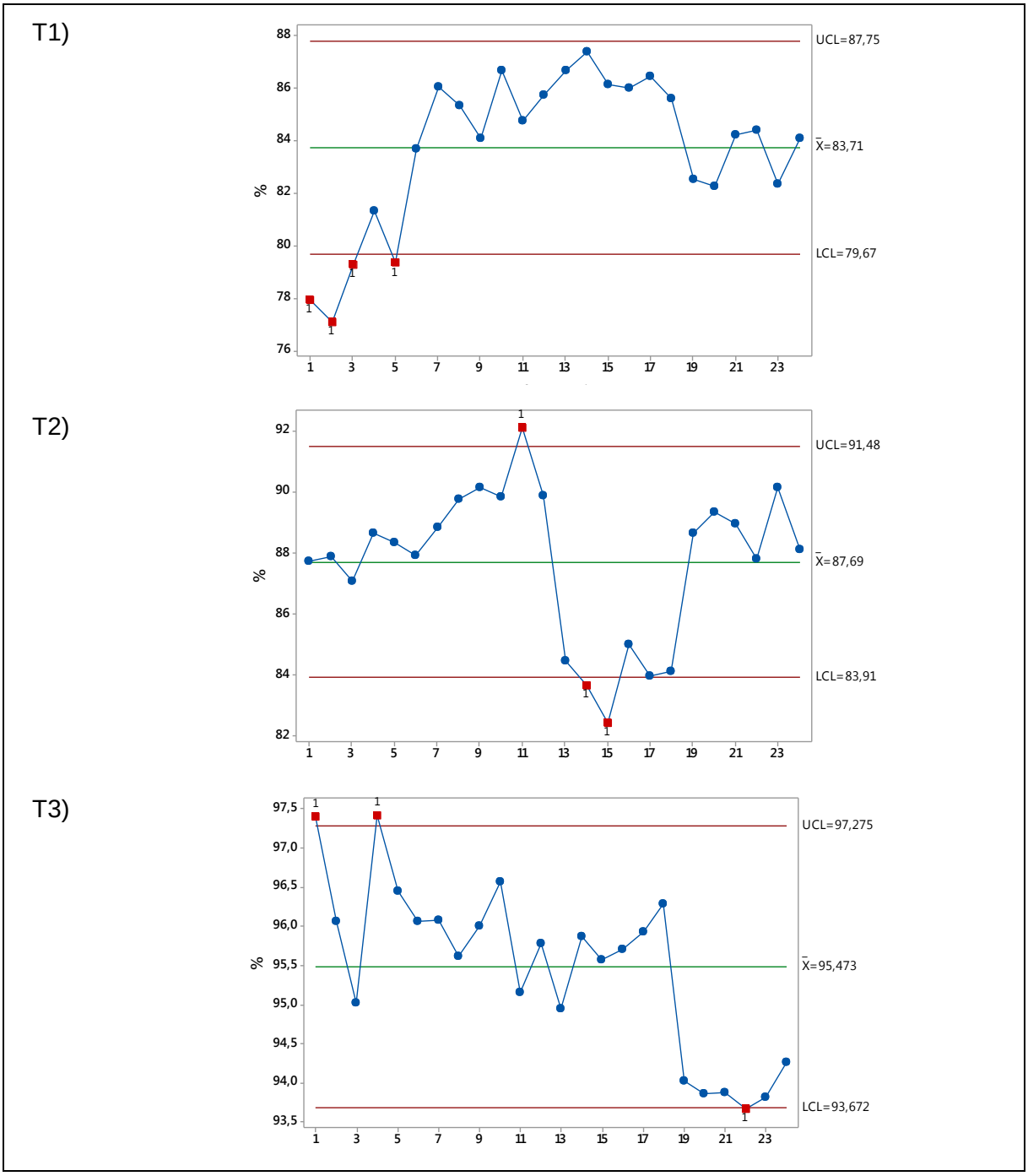

Figura 20 Gráficos de controle de Shewhart para as observações de CUE da vazão nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente.

Os dados obtidos para os CUD da vazão foram os que apresentaram os piores índices de capacidade de processo, sendo o processo considerado aceitável para o tratamento T1 e incapaz para os tratamentos T2 e T3. Verifica-se na Figura 21 que gráfico de controle do tratamento T1 apresenta 1 ponto abaixo do LIC no ensaio 1 e uma sequência de pontos acima da linha média (80,47%) entre os ensaios 13 a 20, o que demonstra a falta de controle neste tratamento. No tratamento T2, há um ponto acima do LSC no ensaio 11 e 4 pontos abaixo do LIC nos ensaios 14, 15, 17 e 18. Além disso, há uma sequência de pontos acima da linha média entre dos ensaios 2 a 12. Há também uma tendência decrescente dos dados com o decorrer dos ensaios, o que reflete a falta de controle neste tratamento. No tratamento T3, observam-se 2 pontos acima do LSC nos ensaios 1 e 4. Verifica-se também uma tendência decrescente dos dados com o decorrer dos ensaios, o que também resulta na falta de controle do tratamento T3.

A tendência decrescente dos dados, observada nos gráficos de CUD da vazão nos tratamentos T2 e T3, pode apontar um processo de entupimento dos tubos gotejadores e os pontos fora de controle são um alerta para a revisão e manutenção do sistema.

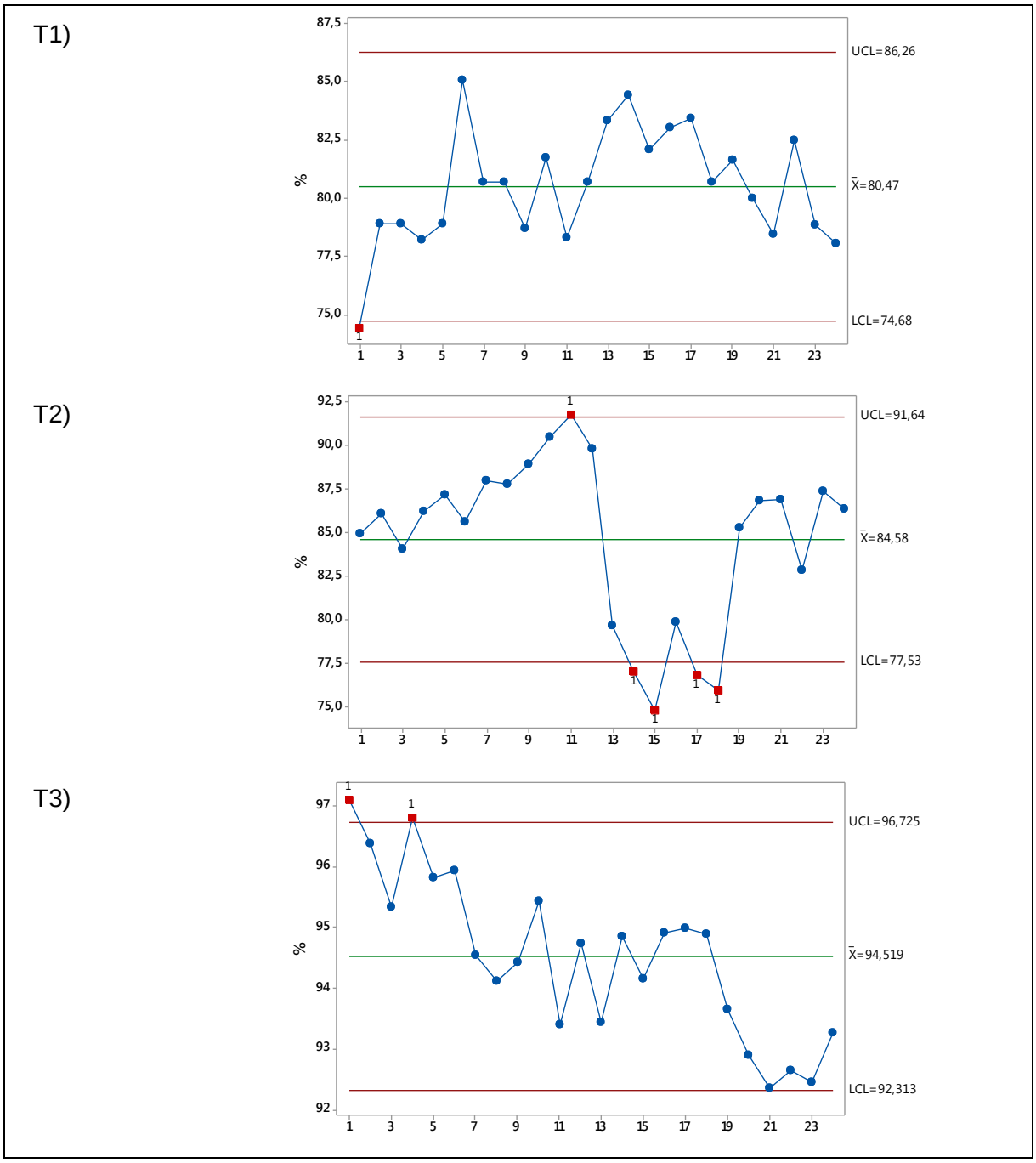

Figura 21 Gráficos de controle de Shewhart para as observações de CUD da vazão nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente.

Os gráficos de controle do pH para o CUC, CUD e CUE, respectivamente, como a análise dos três tratamentos de forma conjunta são apresentados nas figuras 22, 23 e 24.

O conhecimento da uniformidade da distribuição do pH é uma ferramenta de gestão do sistema que pode apontar os problemas econômicos pelas incrustações das tubulações com pH irregular, que favorecem a precipitação de metais pesados, além de influenciarem em ecossistemas aquáticos a fisiologia de algumas espécies.

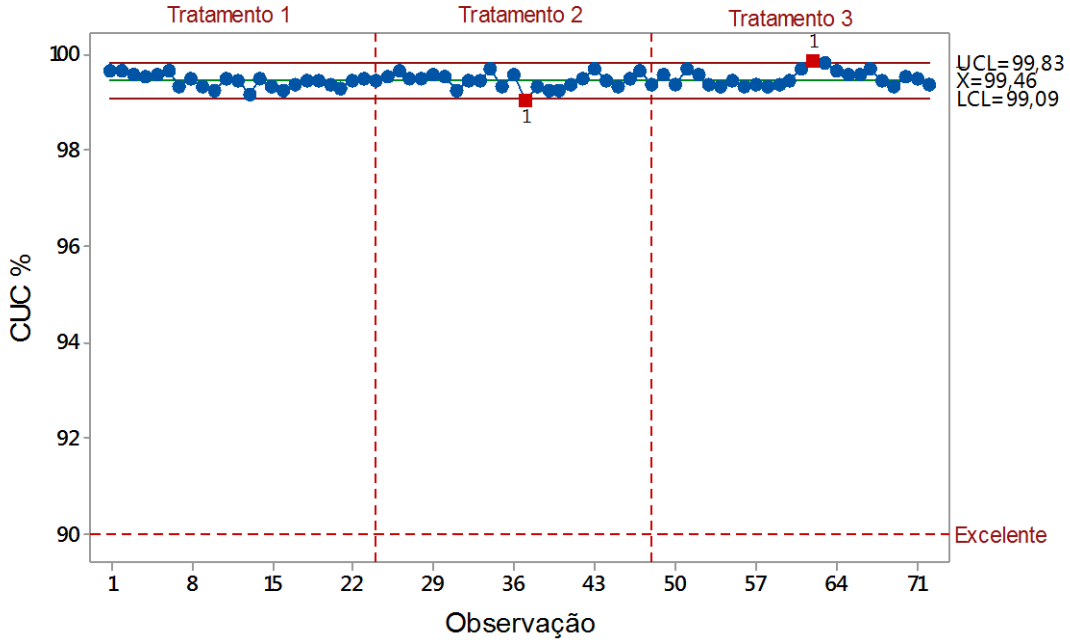

Figura 22 Gráfico de controle de Shewhart para o CUC das médias de pH dos tratamentos T1, T2 e T3.

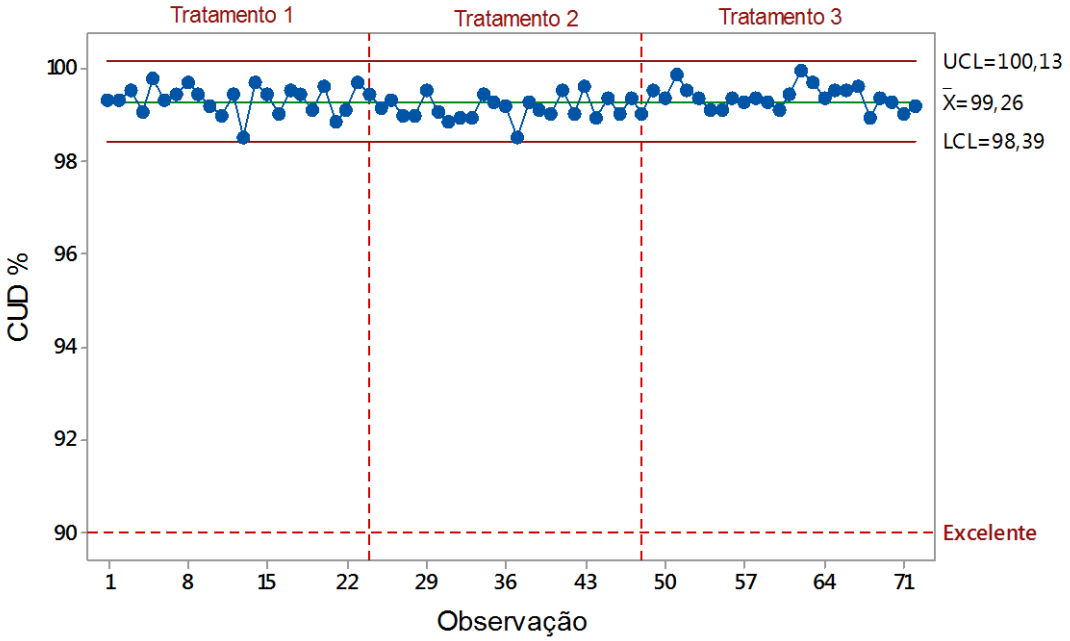

Figura 23 Gráfico de controle de Shewhart para o CUD das médias de pH dos tratamentos T1, T2 e T3.

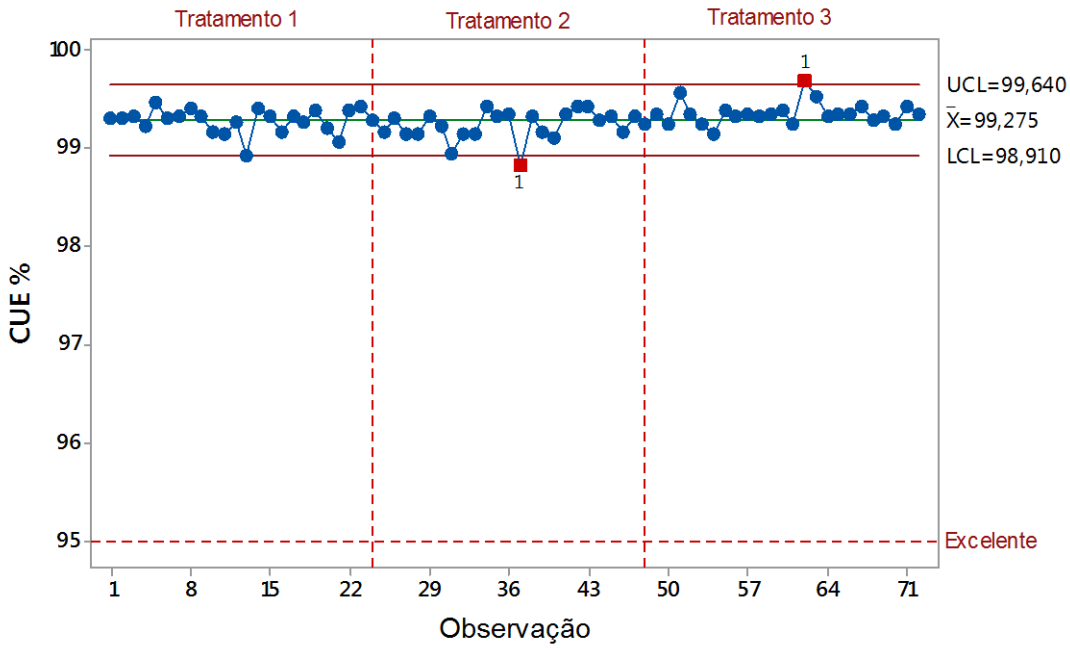

Figura 24 Gráfico de controle de Shewhart para o CUE das médias do pH dos tratamentos T1, T2 e T3.

Na Figura 25, referente aos gráficos de controle do CUC para o pH, verifica-se que os tratamentos T1 e T2 tiveram 6 pontos consecutivos acima da linha média (99,43%) entre os ensaios 1 e 6, o que pode indicar a falta de controle nesses tratamentos. Já no tratamento T3, ocorreram 2 pontos acima do LSC nos ensaios 14 e 15, além de uma sequência de pontos abaixo da linha média entre os ensaios 5 a 13. Esses fatores demonstram a falta de controle também no tratamento T3. Verifica-se que, embora se tenha obtido um CUC considerado excelente e a Cpi foi classificada como adequada para os 3 tratamentos, os gráficos de controle apontam os três tratamentos com falta de controle.

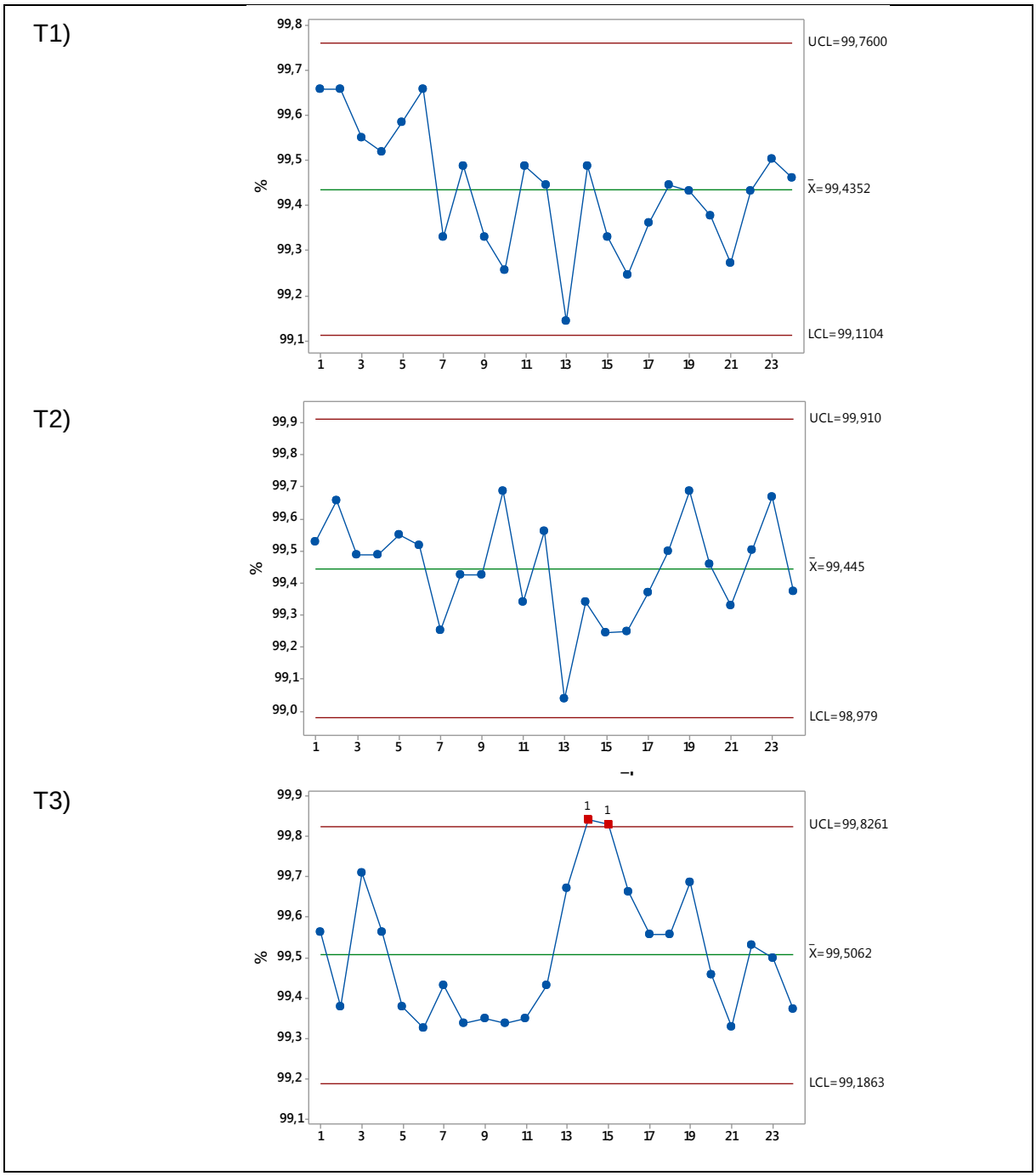

Figura 25 Gráficos de controle de Shewhart para as observações de CUC do pH nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente.

Na Figura 26, referente aos gráficos de controle do CUE para o pH, verifica-se que os tratamentos T1 e T2 apresentaram-se sob controle, tendo apenas um ponto próximo do LIC no ensaio 13, o que não caracteriza a falta de controle no processo. Já no tratamento T3, ocorreu uma sequência de pontos abaixo da linha média entre os ensaios 5 e 12, o que demonstra a falta de controle neste tratamento.

Os valores de CUC foram considerados excelentes e a Cpi foi classificada como adequada para os 3 tratamentos.

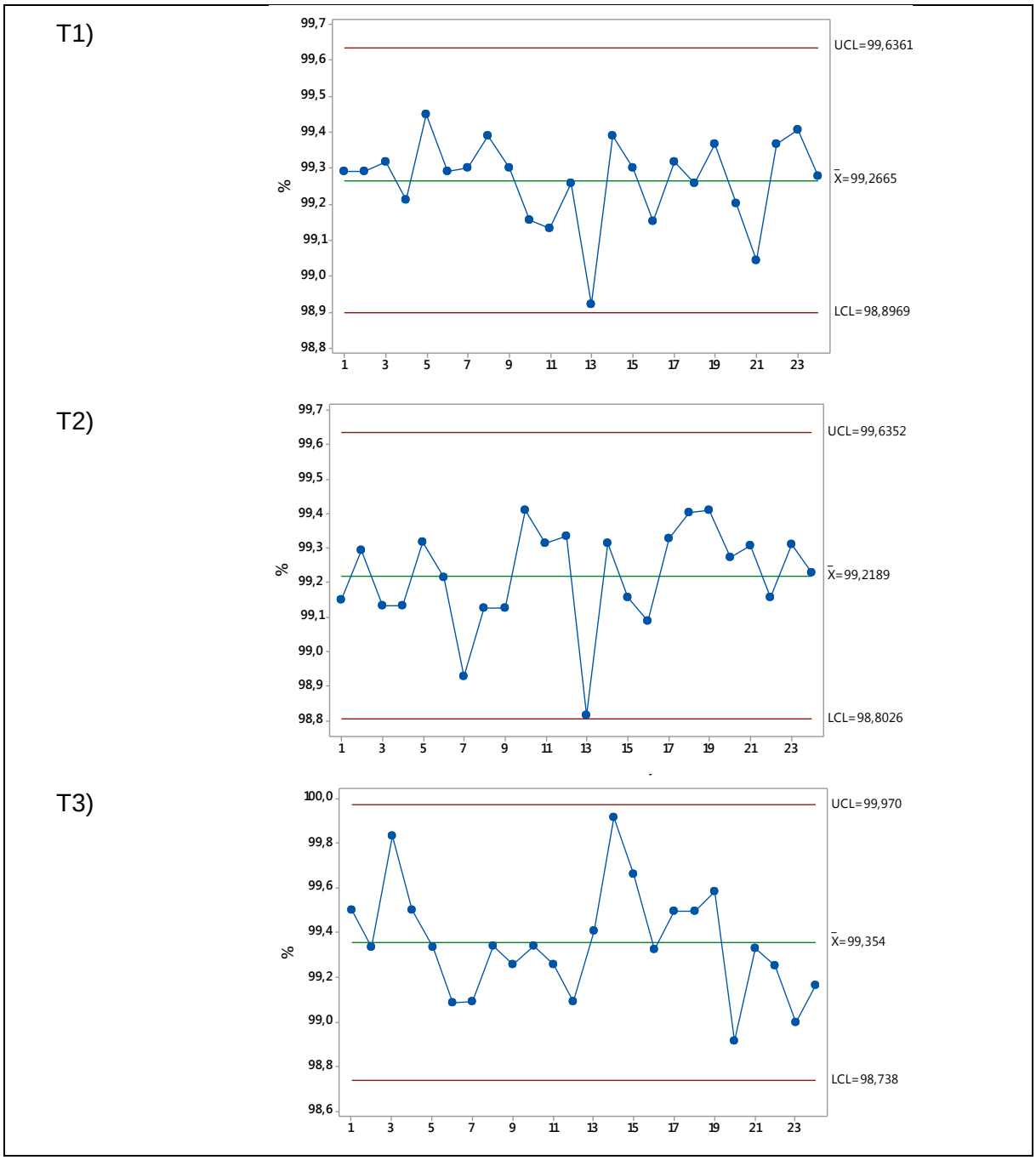

Figura 26 Gráficos de controle de Shewhart para as observações de CUE do pH nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente.

Verifica-se na Figura 27, referente aos gráficos de controle do CUD para o pH, que os tratamentos T1 e T2 apresentaram-se sob controle, tendo apenas um ponto próximo do LIC no ensaio 13, o que não caracteriza a falta de controle no processo. Já o tratamento T3 teve um ponto acima do LSC no ensaio 14, o que demonstra a falta de controle nesse tratamento.

Os valores de CUC foram considerados excelentes e a Cpi foi classificada como adequada para os 3 tratamentos.

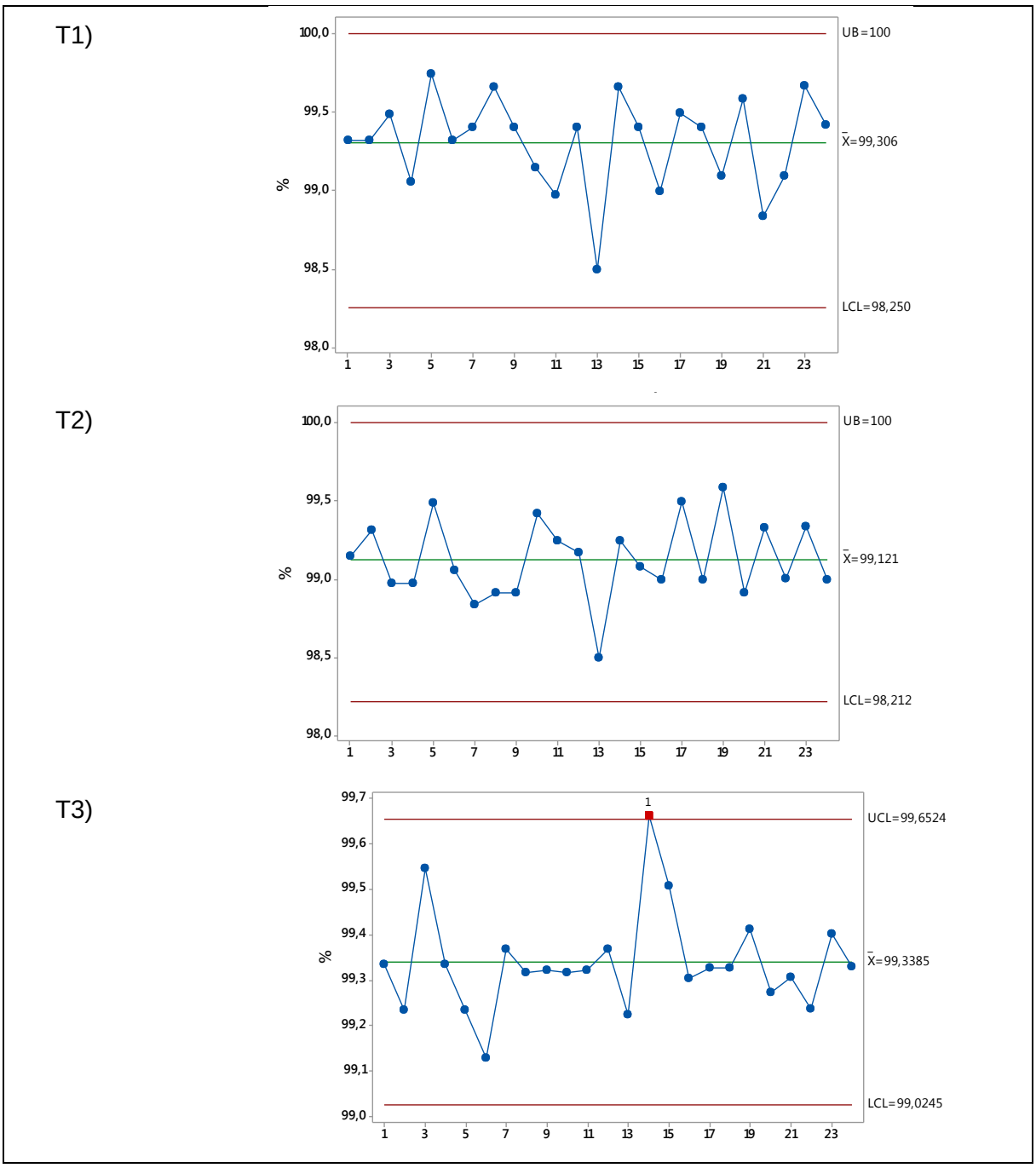

Figura 27 Gráficos de controle de Shewhart para as observações de CUD do pH nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente.

Para os gráficos de controle de condutividade elétrica (Figuras 28, 29 e 30), verificam-se alguns pontos que excederam o limite inferior de controle. De acordo com Montgomery (2009), se um dos pontos aparecer, ocasionalmente, fora dos limites em gráficos de controle, pode ser resultado de mudanças climáticas, como vento e temperatura, fadiga do operador, alguma variável no equipamento ou, ainda, flutuações na pressão.

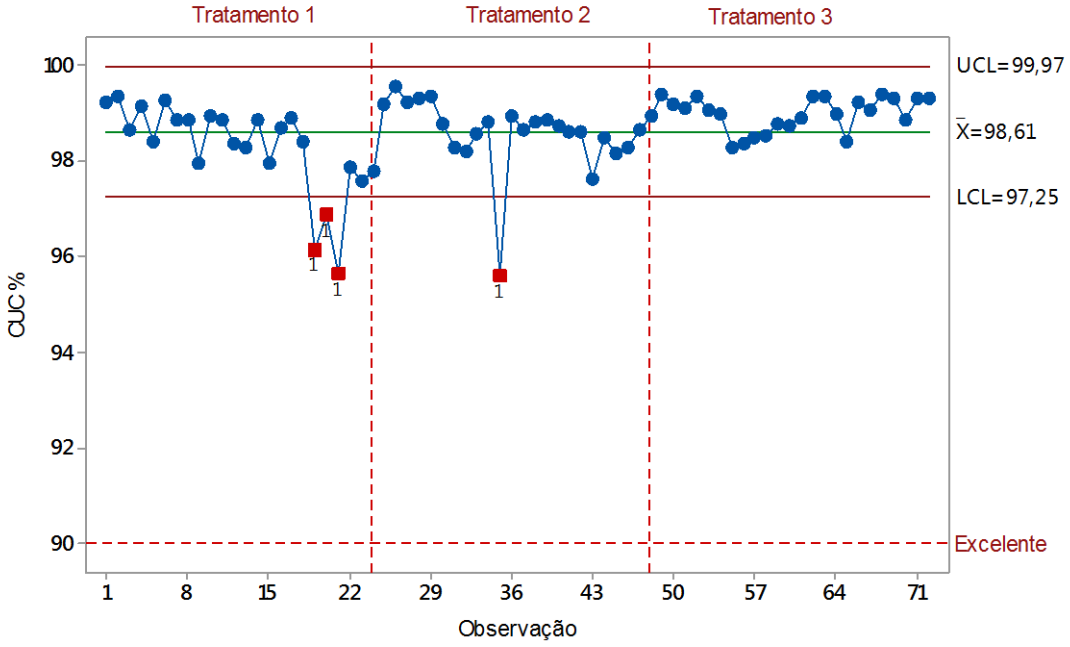

Figura 28 Gráfico de controle de Shewhart para o CUC das médias da condutividade elétrica dos tratamentos T1, T2 e T3.

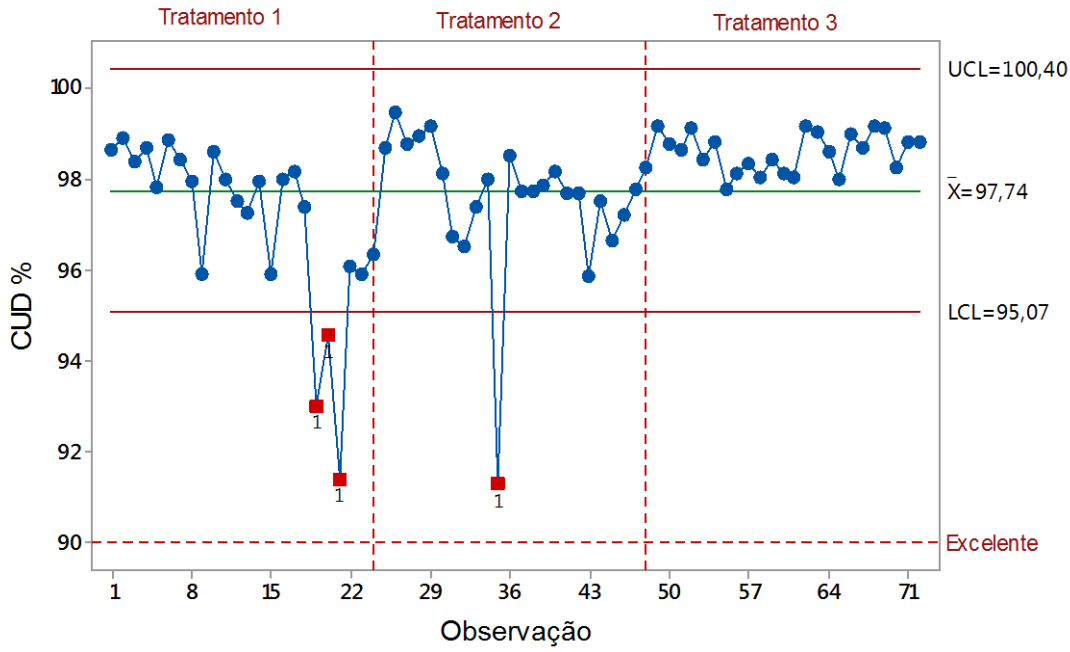

Figura 29 Gráfico de controle de Shewhart para o CUD das médias da condutividade elétrica dos tratamentos T1, T2 e T3.

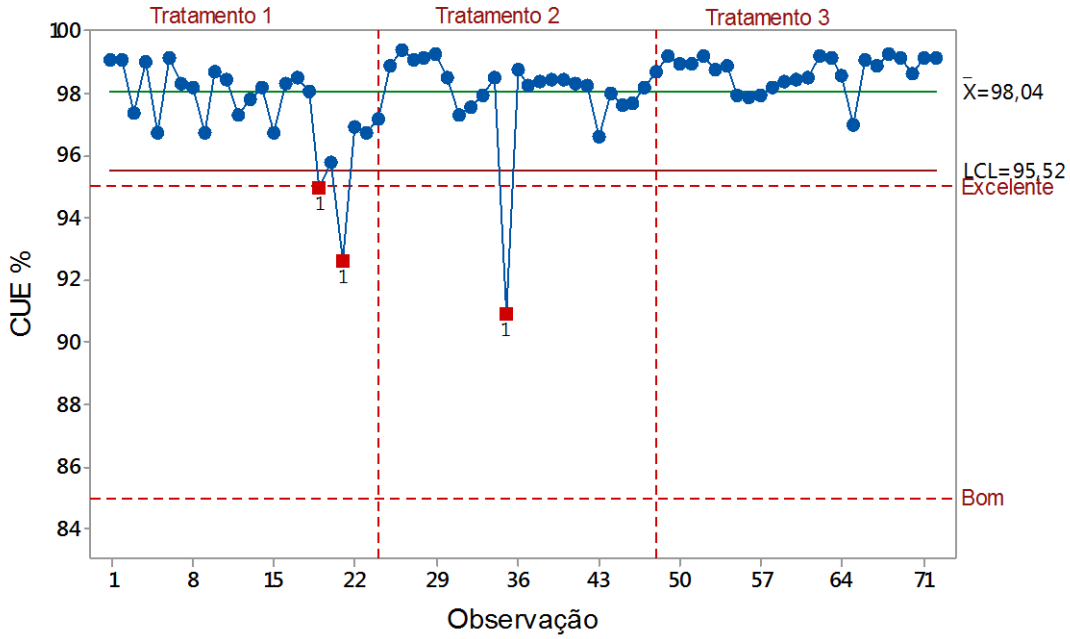

Figura 30 Gráfico de controle de Shewhart para o CUE das médias da condutividade elétrica dos tratamentos T1, T2 e T3.

Verifica-se na Figura 31, referente aos gráficos de controle do CUC para a condutividade elétrica, que o tratamento T1 apresentou a uniformidade dos ensaios 19 e 21 abaixo do LIC, além de apresentar pontos consecutivos acima da linha média (98,27%) entre os ensaios 1 a 9, o que demonstra a falta de controle nesse tratamento. No tratamento T2 observa-se que o ensaio 11 ficou abaixo do LIC, além de duas sequências de valores estarem acima da linha média (98,58%) entre os ensaios 1 a 6 e 12 a 17, respectivamente, o que resulta na falta de controle no tratamento T2. No tratamento T3 verifica-se o ensaio 7 abaixo do LIC, além de uma sequência de valores abaixo da linha média ente os ensaios 8 a 13, o que demonstra a falta de controle nesse tratamento.

Os valores de CUC foram considerados excelentes e a Cpi foi classificada como adequada para os 3 tratamentos.

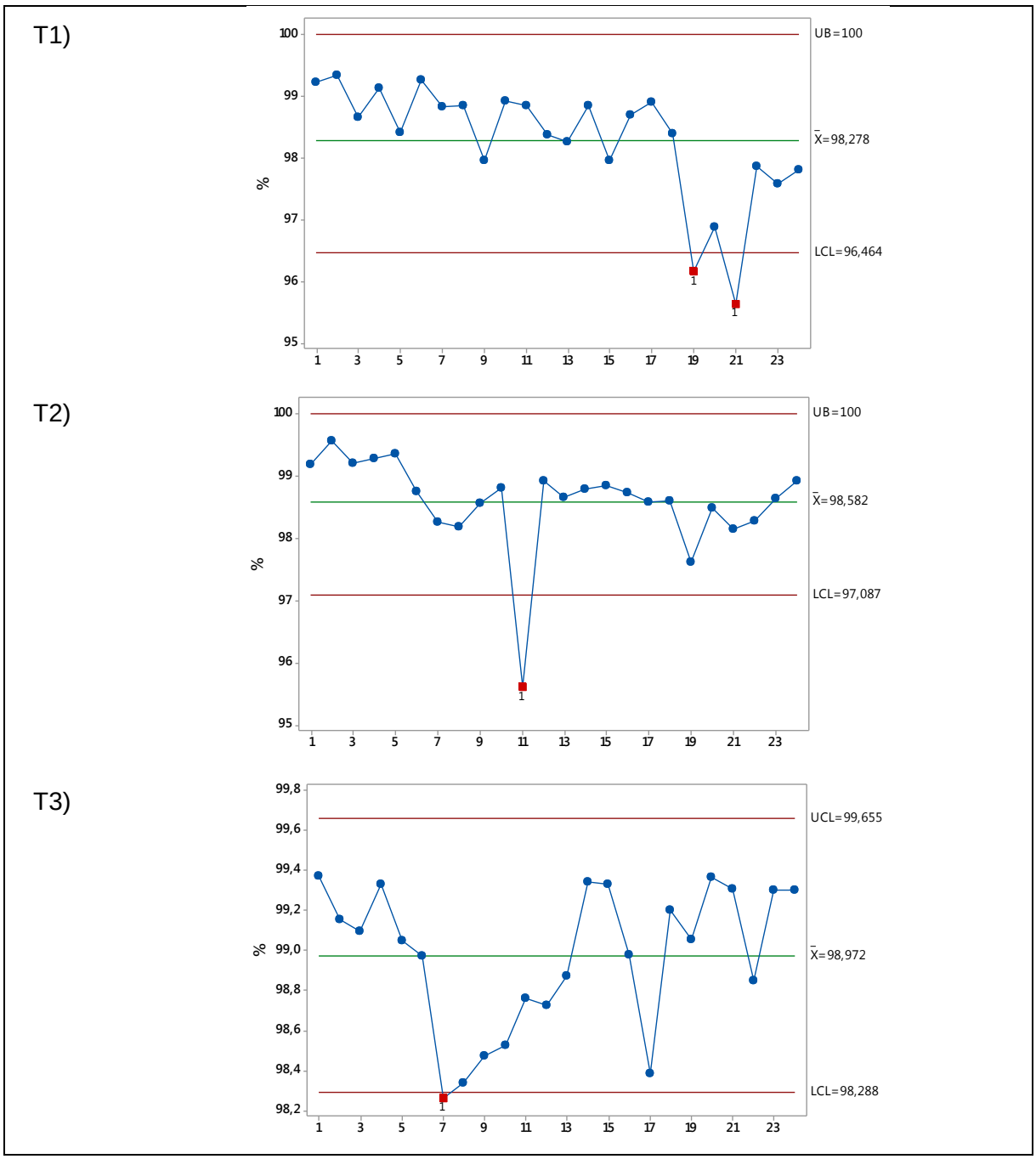

Figura 31 Gráficos de controle de Shewhart para as observações de CUC da condutividade elétrica nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente.

Verifica-se na Figura 32, referente aos gráficos de controle do CUE para a condutividade elétrica, que o tratamento T1 apresentou a uniformidade do ensaio 21 abaixo do LIC, o que demonstra a falta de controle nesse tratamento. No tratamento T2, observa-se que o ensaio 11 ficou abaixo do LIC, além de duas sequências de valores estarem acima da linha média (95,07%) entre os ensaios 1 a 6 e 12 a 18, respectivamente, o que resulta na falta de controle no tratamento T2. No tratamento T3 verifica-se uma sequência de valores abaixo da linha média (98,59%) entre os ensaios 7 a 13, o que demonstra a falta de controle nesse tratamento.

Os valores de CUE foram considerados excelentes e a Cpi foi classificada como adequada para os 3 tratamentos.

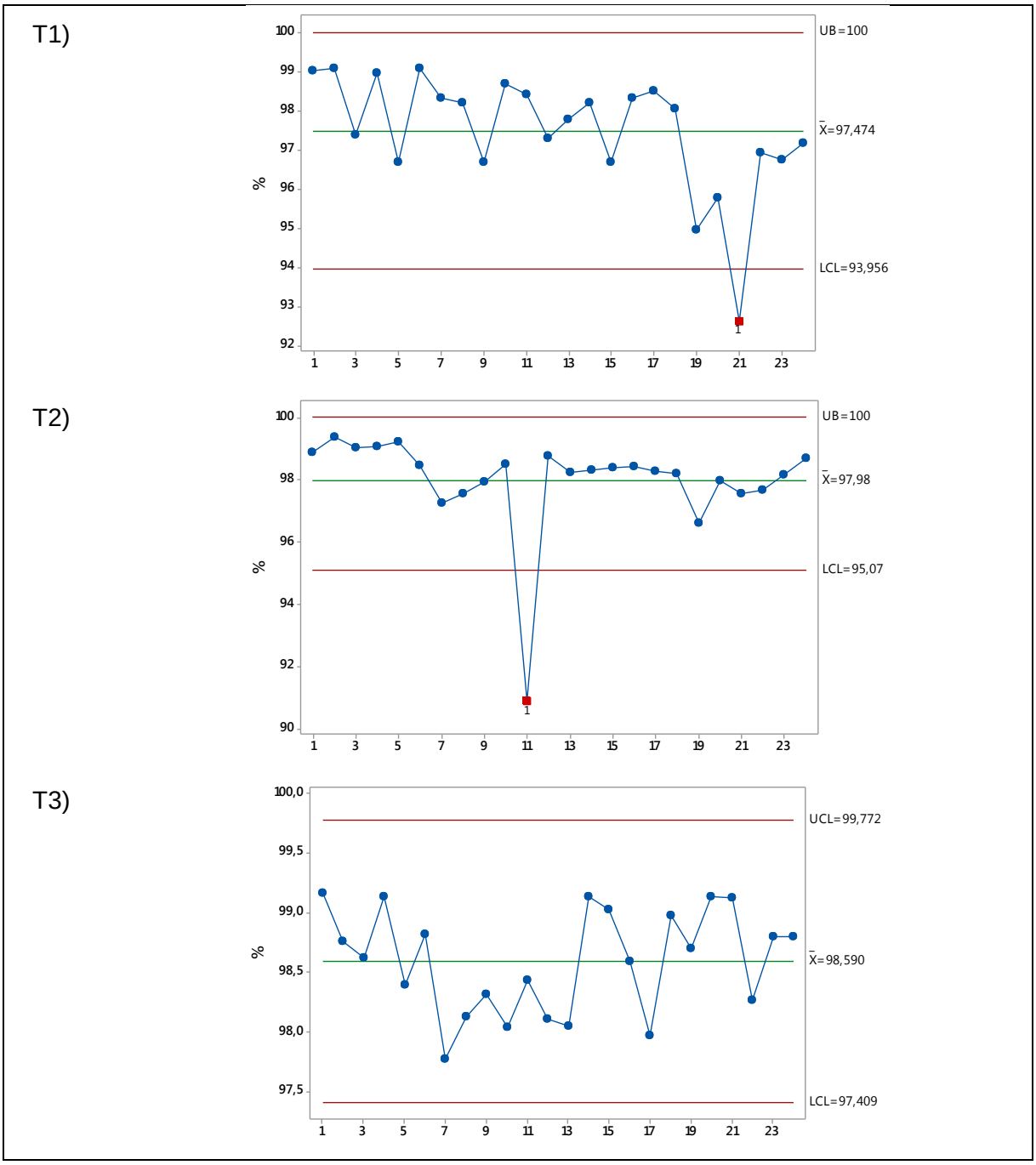

Figura 32 Gráficos de controle de Shewhart para as observações de CUE da condutividade elétrica nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente.

Observa-se na Figura 33, referente aos gráficos de controle do CUD para a condutividade elétrica, que o tratamento T1 apresentou a uniformidade dos ensaios 19 e 21 abaixo do LIC, além de apresentar uma sequência de resultados acima da linha média (97.05%) entre os ensaios 1 a 8, o que demonstra a falta de controle nesse tratamento. No tratamento T2, observa-se que o ensaio 11 ficou abaixo do LIC, além de duas sequências de valores estarem acima da linha média (97,56%) entre os ensaios 1 a 6 e 12 a 18

respectivamente, o que resulta na falta de controle no tratamento T2. No tratamento T3 verifica-se o ensaio 17 abaixo do LIC, além de uma sequência de valores abaixo da linha média (98,65%) entre os ensaios 7 a 13, o que demonstra a falta de controle nesse tratamento.

Os valores de CUD foram considerados excelentes e a Cpi foi classificada como adequada para os 3 tratamentos.

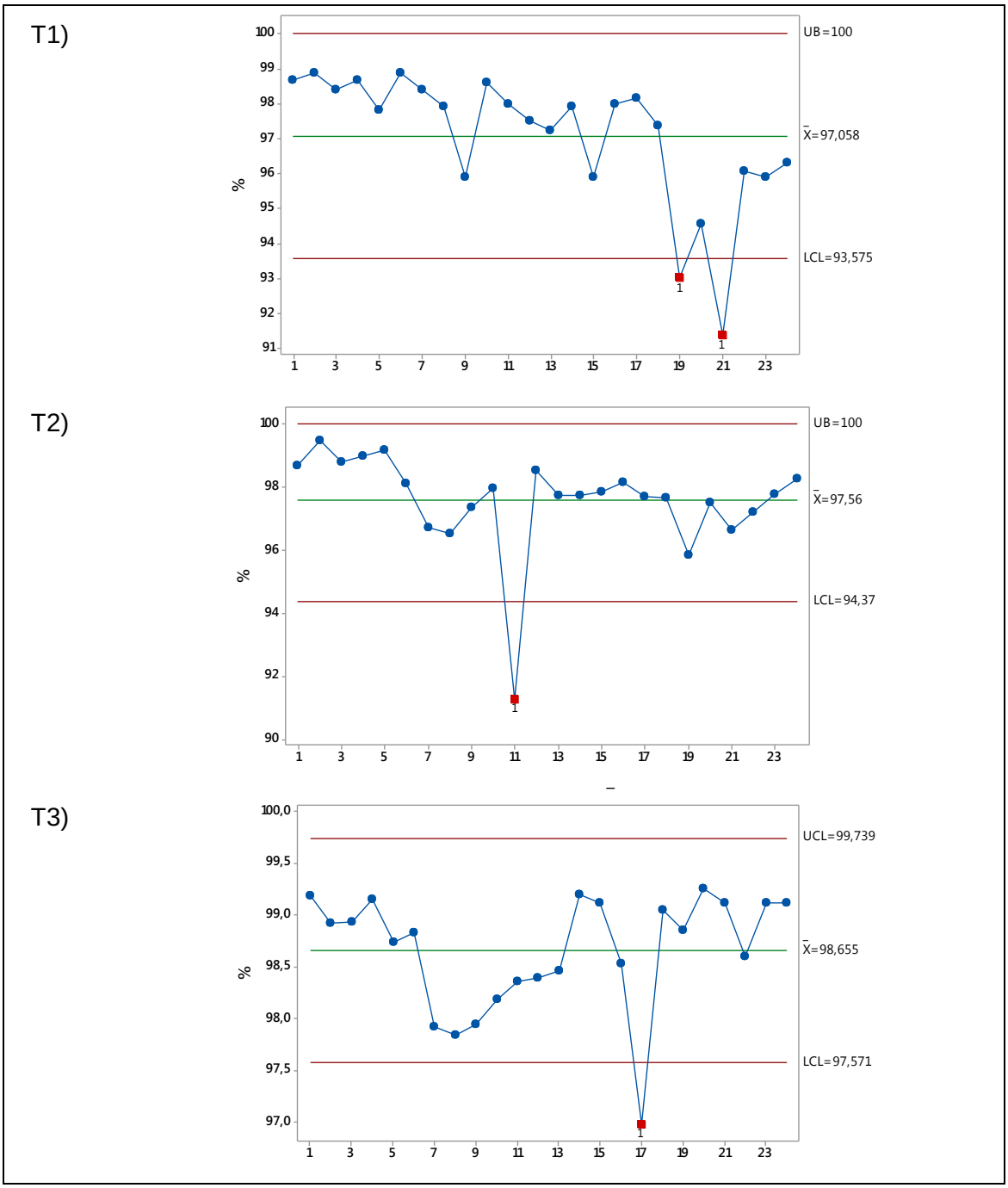

Figura 33 Gráficos de controle de Shewhart para as observações de CUD da condutividade elétrica nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente.

6 CONCLUSÕES

De maneira geral, depois de estabelecido o sistema de irrigação e o procedimento operacional, concluiu-se deste trabalho que o sistema de irrigação por gotejamento, utilizando-se as taxas propostas (100, 200, e 300 m^3 $há^{-1}dia^{-1}$), pode ser considerado apropriado, pois apresentou uniformidade na distribuição das vazões, do pH e da condutividade elétrica.

Para o pH e a condutividade elétrica, todos os coeficientes de uniformidade avaliados: CUC, CUD e CUE, foram estimados em mais de 90%, sendo considerados excelentes. Para as vazões, todos os coeficientes foram estimados acima dos 90% para o tratamento T3 e acima dos 80% para os tratamentos T1 e T2. Em geral, a distribuição apresentou maior coeficiente de uniformidade, para os três parâmetros avaliados, nos três tratamentos, para a maior taxa de aplicação testada. Ressalta-se que a maior taxa obteve as uniformidades de vazão muito próximas às uniformidades obtidas no teste em protótipo com o uso da mesma mangueira gotejadora utilizando-se água potável. Portanto, com base nos valores de uniformidade obtidos neste experimento, sugere-se a aplicação da água residuária de abatedouro de aves de 300 m^3 $há^{-1}dia^{-1}$, em áreas de reflorestamento com eucalipto.

Em relação à caracterização do efluente, concluiu-se que suas principais características são as concentrações de carbono, nitrogênio e fósforo. Vale ressaltar que a concentração de sólidos suspensos não afetou a uniformidade da irrigação. Além disso, concluiu-se que a indústria manteve os padrões de lançamento no ambiente preconizados pelos órgãos ambientais, embora, o controle estatístico de qualidade indique oportunidades de melhoria para manutenção de um sistema mais estável.

Concluiu-se também que o controle estatístico de processo é adequado à avaliação, tanto de efluentes quanto de uniformidade na irrigação, em testes a campo.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de águas residuárias via irrigação por gotejamento apresenta diversos aspectos positivos, que devem ser considerados quanto à definição da destinação final a ser dada aos diversos resíduos líquidos gerados nas agroindústrias. Mas, para que o seu uso na agricultura não se torne um problema ao meio ambiente, alguns fatores referentes à sua aplicação devem ser considerados, dentre eles destaca-se a aplicação no campo, representada pela uniformidade da distribuição.

De acordo com os resultados obtidos neste experimento, a uniformidade da vazão aumentou conforme o aumento da vazão aplicada. Já com relação à uniformidade de pH e condutividade elétrica, embora também tenha ocorrido um aumento, os valores foram mais estáveis e considerados excelentes em sua maioria.

De qualquer modo, a aplicação de águas residuárias na irrigação continua sendo uma ótima alternativa aos despejos destes ricos efluentes. Além disso, a economia de água e fertilizantes proporcionada por esta prática é uma ótima opção nos dias atuais, em que se busca tanto a preservação de recursos naturais quanto a destinação correta de resíduos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 20. ed. Nova York: APHA, AWWA, WPCR, 2005.

AMORIM, A. K. B.; NARDI, I. R.; DEL NERY, V.; Water conservation and effluent minimization: Case study of a poultry slaughterhouse. **Resources, Conservation and Recycling**, v.51, n.1, p. 93-100, 2007.

ANDRADE, C.L.T.; BRITO, R.A.L. Cultivo do milho: métodos de irrigação. Embrapa milho e sorgo. **Sistemas de produção**. v. 2, 4. Ed, set. 2010. Versão eletrônica: ISSN 1679-012X. Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/imetodos.htm. Acesso em: 2 maio 2016.

ARAUJO, I. R. C; SBIZZARO, M.; NUNES, T. Z.; MULLER, R.; OSTROSKI, D. A.; PINTRO, T. C.; FEIL, A. C.; VILAS BOAS, M. A.; **Relatório de análise de sistema de gotejamento em fertirrigação, disciplina de irrigação e fertirrigação**; Cascavel, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – (ABNT, 2014). NBR 9898:1987. Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Disponível em: http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-9.898-Coleta-de-Amostras.pdf. Acesso em 01 de junho de 2016.

BATISTA, R. O.; SOUZA, J. A. R.; FERREIRA, D. C. Influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 57, n.1, p. 18-22, jan./fev., 2010.

BATISTA, R. O.; MARTINEZ, M. A.; PAIVA, H. N.; BATISTA, R. O. Efeito da água residuária da suinocultura no desenvolvimento e qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla* produzidas em substrato de resíduo sólido urbano. **Ambiente e Agua**, Taubaté - SP, v. 8, n. 12, p. 180–191, 2013.

BELLAVER, C.; OLIVEIRA, P. A. Balanço da água nas cadeias de aves e suínos. **Avicultura Industrial**, São Paulo, v. 101, n. 1183, p. 39-44, 2009.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Rev. e ampl. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1995. 657 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 7.ed. Viçosa: UFV, 2005. 611 p.

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

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, 2008.

BRAGA, M. B.; CALGARO, M. **Sistema de produção de melancia**. Embrapa Semiárido. Sistemas de Produção, 6 ISSN 1807-0027. Versão Eletrônica, 2010.

BRALTS, V. F.; EDWARDS, D. M.; WU, I.-P. Drip irrigation design and evaluation based on the statistical uniformity concept. *In*: HILLEL, D. (Ed.). **Advances in Irrigation**. Orlando – FL, USA: Academic Press, 1987. V. 4. p. 67–117.

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.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº. 210, de 10 de novembro de 1998. Dispõe sobre a padronização dos métodos de elaboração de produtos de origem animal no tocante às instalações, equipamentos, higiene do ambiente, esquema de trabalho do Serviço de Inspeção Federal, para o abate e a industrialização de aves. Publicada no **Diário Oficial da União** em 26/11/98.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a resolução nº. 357, de 17 de março de 2005. 9 p. **Diário Oficial da União**, Brasília - DF, n° 92, p. 89, 16 maio de 2011. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646. Acesso em: 7 maio 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n° 20, de 18 de junho de 1986. Classifica as águas doces, salobras e salinas do território Nacional, em nove classes, segundo seus usos preponderantes. **Diário Oficial da União**, Brasília – DF, 30 de julho de, 1986.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **A irrigação no Brasil**: situação e diretrizes. Brasília: IICA, 2008.

BUSTILLO-LECOMPTE, C. F.; MEHRVAR, M. Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances. **Journal of Environmental Management**, v. 161, p. 287–302, 2015.

CAMP, C. R.; LAMM, F.R. Irrigation systems, subsurface dripp. **Encyclopedia of Water Science,** New York, p. 560-563, 2003.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, p. 1529-1534, 2007.

CARARO, D. C., BOTREL, T.A., HILLS, D.J.; LEVERENZ, H.L. Analysis of clogging in drip emitters during wastewater irrigation. **Applied Engineering in Agriculture**, n. 22, p. 251-257, 2006.

CHRISTIANSEN, J. P. Irrigation by sprinkling University of California. **Montana Agricultural Experiment Station Publications**. B-670. p. 110–116, 1942.

CHRISTOFIDIS, D. Água, irrigação e agropecuária sustentável. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, DF, ano 22, n. 1, p. 115-127, jan./mar. 2013.

CHRISTOFIDIS, D. Vantagens da opção pela cultura irrigada. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, DF, ano 24, n. 2, p. 17-25, 2015.

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

DEUS, F. P.; FERRAREZI, R. S.; PRIMO, R.; MARTINS, G. A. Clogging susceptibility of a drip irrigation system designed for family farming. **Coffee Science**, Lavras – MG, v. 10, n. 1, p. 102–112, 2015.

DURAN-ROS, M., PUIG-BARGUE´S J., ARBAT, G, BARRAGA´N. J.; RAMIREZ C. F. Effect of filter, emitter and location on clogging when using effluents. **Agricultural Water Management**, v. 96, p. 67-79, 2009.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. – FAO. Aquastat Database. Disponível em: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html?regionQuery=true&showCodes=false&yearRange.fromYear=1958&yearRange.toYear=2017&varGrpIds=4311,4312,4316,4313,4328&regIds=9805%2C9806%2C9807%2C9808%2C9809&query_type=IRRpage&newestOnly=true&showValueYears=true&categoryIds=-1&XAxis=VARIABLE&showSymbols=true&hideEmptyRowsColoumns=true&lang=en, Acesso em: 9 maio 2015.

FAVETTA, G. M.; BOTREL, T. A. Uniformidade de sistemas de irrigação localizada: validação de equações. **Scientia Agricola**, Piracicaba - SP, v. 58, n. 2, p. 427–730, 2001.

FOLEGATTI, M. V. (Coord.). **Fertirrigação**: flores, frutas e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 2001. 336 p.

FRIGO, J. P. **Controle do processo da irrigação no sistema de aspersão convencional em Palotina – PR.** 43 f. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – PR, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. OCDE–FAO. **Perspectivas agrícolas no Brasil**: desafios da agricultura brasileira 2015-2024. p. 1-54, 2015.

GONÇALVES, M. P.; HERMES, E.; BOAS, M. A. V.; BERGER, J. S.; LINS, M. A.; WULF, V. S. Uniformidade de aplicação de água e efluente de amidonaria em sistema de irrigação por gotejamento. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon - PR, v. 12, n. sup, p. 391–399, 2013.

GRIS, D. J.; HERMES, E.; VILAS BOAS, M. Aplicação de água residuária de processamento de mandioca em sistema de irrigação por gotejamento. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon - PR, v. 11, p. 1–9, 2012.

GUERRA, A. F**. Adequação e manejo das irrigações por aspersão por pivô central no cerrado**. EMBRAPA/CPAC, 2004. Disponível em: <http://www.agronline.com.br/artigos>. Acesso em: 20 jun. 2016.

HERMES, E.; ANTONIO, M.; BOAS, V.; RODRIGUES, L. N.; MELO, E. L. Process capacity index in drip irrigation with cassava wastewater processing. **African Journal of Agricultural Research,** v. 10, n. 12, p. 1427–1433, 2015.

HERMES, E.; VILAS BOAS, M. A.; GRIS, D. J.; FRIGO, E. P.; BERGER, J. S.; LINS, M. A.; FRIGO, J. P. Irrigation with wastewater from cassava processing with different concentrations of suspended solids**. Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 12, n. 1, p. 487-490, 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. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 11, n. 2, p. 841–845, 2013.

HERNANDEZ, R. H. **Controle estatístico de processo aplicado na uniformidade da irrigação e fertirrigação por gotejamento**. 96 f. 2010, Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2010.

JUCHEN, C. R.; SUSZEK, F. L.; BOAS, M. A. V. Irrigação por gotejamento para produção de alface fertirrigada com águas residuárias agroindustriais. **Irriga**, Botucatu - SP, v. 18, n. 2, p. 243-256, 2013.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufactoring Corporation, 1975. 133 p.

MANTOVANI, E. C. **Avalia**: manual do usuário. Viçosa, EMBRAPA, 100 p., 2002.

MEES, J. B. R.; GOMES, S. D.; HASAN, S. D. M.; GOMES, B. M.; VILAS BOAS, M. A. Nitrogen removal in a SBR operated with and without pre-denitrification : effect of the carbon : nitrogen ratio and the cycle time. **Environmental Technology**, v. 35, n. 1, p. 115-126, 2013.

MEKONNEN, M.M., HOEKSTRA, A.Y., A global assessment of the water footprint of farm animal products. **Ecosystems**, v. 15, n. 3, p. 112-117, 2012.

MITTAL, G. S. Treatment of wastewater from abattoirs before land application — a review. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 1119–1135, 2006.

MONTGOMERY, D. C**. Introdução ao controle estatístico da qualidade**. Tradução Ana Maria Lima de Farias, Vera Regina Lima de Farias e Flores; Revisão técnica Luiz da Costa Laurencel. – 4 ed., reimpr. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 513 p.

MUKHERJI, A.; FACON, T.; BURKE, J.; FRAITURE, C.; FAURÉS, J.M.; FULEKI, B.; GIORDANO, M.; MOLDEN, D.; SHAH, T.; **Revitalizing Asia's irrigation**: to sustainably meet tomorrow's food needs. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute; Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2009.

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

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production: design, operation and management.** Amsterdam: Elsevier, 164 p., 1986.

OLIVEIRA, F. G.; LOPES, R. G. N.; MOREIRA, F. G. D. A.; FIGUEIREDO, F. P. Influência da uniformidade de irrigação na produção e na rentabilidade de silagem de milho irrigado. **Irriga,** Botucatu - SP, v. 53, n. 9, p. 1–30, 2015.

PAULINO, J.; FOLEGATTI, M. V.; ZOLIN, C. A.; SÁNCHEZ R. M.; ROMÁN, J. V. J. Situação da agricultura irrigada no Brasil de acordo com o censo agropecuário**, Irriga**, , Botucatu - SP v. 16, n. 3, 2011, p. 163-176, 2006.

RESENDE, R. S.; CASARINI, E.; FOLEGATTI, M. V; COELHO, R. D. Ocorrência de entupimento de origem biológica em sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 5. n.1 ; p. 156–160, 2001.

RIBEIRO, T. A. P.; AIROLDI, R. P. S.; PATERNIANI, J. E. S.; SILVA, M. J. M. Variação dos parâmetros físico, químicos e biológicos da água em um sistema de irrigação localizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 295-301, 2005.

RIBEIRO, T. A. P.; PATERNIANI, J. E. S.; AIROLDI, R. P. S.; SILVA, M. J. M. O efeito da qualidade da água no entupimento dos emissores e no desempenho de filtros utilizados na irrigação por gotejamento. **Irriga,** , Botucatu - SP, v. 9, n. 2, p. 136-149, 2004.

ROCHA, C. T. D.; CHRISTOFIDIS, D. Vantagens da opção pela agricultura irrigada. **Revista Política Agrícola**, Brasilia – DF, n.2 p. 17–25, abr/maio/jun. 2015.

SALATIEL, H.; VALE, M.; EDUARDO, L.; ARRUDA, V.; COSTA, D. D. O.; GRATYELLI, F.; COSTA, B.; BATISTA, R. O. Potencial de entupimento de um sistema de irrigação por gotejamento operando com esgoto doméstico tratado. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 4, p. 63–70, 2013.

SIEBERT, S.; DÖLL, P. Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. **Journal of Hydrology**, v. 384, p. 198–217, 2010.

SILVA, C. A. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**. Garça - SP, Ano IV, n. 8, p. 1-17, 2005.

SILVA, L. P.; 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 - PB, v. 16, n. 5, p. 480-486, 2012.

SILVA, K.; SILVE JÚNIOR, B.; BATISTA, M.J.; OLIVEIRA, R.; SANTOS, D. B., BARBOSA FILHO, S. Desempenho de gotejadores operando com efluente da castanha de caju sob distintas pressões de serviço. **Revista Ceres**, Viçosa – MG, v. 60, n. 3. P. 339-346, 2013.

SILVA, T. A. L.; SILVA, H. A.; SANTOS, D. Q.; RODRIGUES, E. C. The use of statistical process control (spc) in the evaluation of effluent treatment in an agroindustrial plant. **Revista Virtual de Química**, Niterói - RJ, v. 6, n. 2, p. 310–322, 2014.

VILAS BOAS, E. B. B. **Estudo da qualidade da matéria-prima de uma fábrica de ração para frangos de corte utilizando cartas de controle e técnicas taguchi de custo mínimo**. 180 f. 2005. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo – PR, 2005.

VILAS BOAS, M. A. **Fundamentos de irrigação localizada**. 1. ed. Cascavel: Edunioeste, 2016.

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

ZHAO, W.; LI, J.; LI, Y.; YIN, J. Effects of drip system uniformity on yield and quality of chinese cabbage heads. **Agricultural Water Management**. v. 110, 118 – 128 p., 2012.

ZOCOLER, J. L. **Avaliação de desempenho de sistemas de irrigação**. Ilha Solteira – SP**:** Unesp. Disponível em: http://www.agr.feis.unesp.br/curso5.htm. Acesso em: 8 maio 2016.

APÊNDICES

APÊNDICE A FORMULÁRIO DO MONITORAMENTO DIÁRIO DO SISTEMA

Lar	MONITORAMENTO DIÁRIO FERTIRRIGAÇÃO ÁREA EXPERIMENTAL	DATA: ____/____/____

Parcela	HIDRÔMETRO			MANÔMETRO	
	Início (m^3)	Fim (m^3)	Volume (m^3)	Pressão Início Par. (mca)	Pressão Final Par. (mca)
2					
3					
4					
5					
6					
7					
9					
10					
12					
13					
14					
16					

VERIFICAÇÃO SUPERVISOR	VERIFICAÇÃO ESTAGIÁRIO/JOVEM

INFORMAÇÕES GERAIS		
Horário do Processo	Início	Fim
	Total dia	
Medição Hidrômetro Geral (m^3)	Início	Fim
	Total dia	
Lavação Filtros	Filtro 01	Filtro 02
Pressão Filtros Iníc. Processo (mca)	Antes	Depois
Pressão Filtros Térm. Processo (mca)	Antes	Depois
pH	Início Linha	Final Linha
Condutividade	Início Linha	Final Linha
Precipitação (mm)		

Observação	

APÊNDICE B PROCEDIMENTO OPERACIONAL DO MONITORAMENTO DIÁRIO DO SISTEMA

Lar	PROCEDIMENTO OPERACIONAL – PO		NUMERO **PO 060 366-10**	ISO	PNQ	PAGINA 5
UNIDADE **CT 060**	DIVISAO Unidade Industrial de Aves	SETOR Gestão Ambiental	EMISSAO **22/06/17**	REVISAO		N.º **00**
TAREFA Monitorar o sistema de fertirrigação da área experimental			**RESPONSÁVEL PELA EXECUÇÃO** Estagiário			

MATERIAIS NECESSÁRIOS

Luvas de látex	01	pHmetro digital portátil	01
Caneta	01	Condutivímetro digital portátil	01
Prancheta	01	Frasco para coleta de efluente	01
Formulário de Monitoramento Diário	01		

ATIVIDADES CRÍTICAS:

1 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE FERTIRRIGAÇÃO

Segue abaixo o procedimento de fertirrigação na área experimental da UIA.

1.1. O efluente após o tratamento primário e secundário permanece nas lagoas de estabilização para sua maturação. Da lagoa 7 o efluente é bombeado para a área experimental.

1.2. Após o bombeamento o efluente é conduzido por tubulação, e após 240 metros haverá duas válvulas que irá dividir o escoamento para a área experimental e para as demais áreas de fertirrigação:

1.3. Posteriormente o efluente é conduzido até o sistema de filtração, que tem por objetivo reter os sólidos suspensos presentes no efluente.

1.4. Após o sistema de filtração, o efluente passa por um hidrômetro que mede a vazão geral diária do sistema.

1.5. Após a travessia da tubulação pela BR 277, o efluente é divido para dois lados da área experimental. As válvulas utilizadas servem para fechar o lado que possa estar apresentando o vazamento.

1.6. Após a passagem pelas válvulas, o efluente é distribuído para as doze parcelas, nas quais cada parcela tem sete mangueiras gotejadoras que fazem a distribuição uniforme.
1.7.

2 PROCEDIMENTO PARA OPERAÇÃO DO SISTEMA DE FERTIRRIGAÇÃO

1. Primeiramente é necessário ir até a área de experimento fazer a leitura e anotar o volume dos doze hidrômetros no formulário.
2. Lavar os filtros;
3. Ligar a bomba, para que o efluente seja recalcado para a área experimental.
4. Após 240 metros mudar o fluxo, através de válvulas, da fertirrigação para a área experimental.
5. Anotar o horário de início do processo e o valor do hidrômetro geral.
6. Acertar a vazão após o processo de filtração (entre 60 a 65 segundos).
7. Anotar as pressões anterior e posterior à filtração.
8. Deslocar-se até a área experimental.
9. Verificar pluviômetro.
10. Anotar as pressões iniciais e finais de cada parcela.
11. Coletar efluentes da parte A e B da área experimental e medir pH e condutividade (apenas um ponto de cada área).
12. Verificar pluviômetro e anotar no formulário.
13. Anotar as pressões iniciais e finais de cada parcela no formulário.
14. Coletar efluentes das parcelas da área experimental e medir pH e condutividade (apenas um ponto de cada área);
15. Escrever um bilhete para o operador da ETA do terceiro turno, mudar o fluxo da fertirrigação, e pedir para ele anotar o volume do hidrômetro geral e as pressões anterior e posterior aos filtros;
16. Anotar os dados da folha de campo para o arquivo digital.

2.1 PLANILHA DE MONITORAMENTO

Lar	MONITORAMENTO DIÁRIO FERTIRRIGAÇÃO ÁREA EXPERIMENTAL	DATA: ____/____/____

Parcela	HIDRÔMETRO			MANÔMETRO	
	Início (m^3)	Fim (m^3)	Volume (m^3)	Pressão Início Par. (mca)	Pressão Final Par. (mca)
2					
3					
4					
5					
6					
7					
9					
10					
12					
13					
14					
16					

INFORMAÇÕES GERAIS		
Horário do Processo	Início	Fim
	Total dia	
Medição Hidrômetro Geral (m^3)	Início	Fim
	Total dia	
Lavação Filtros	Filtro 01	Filtro 02
Pressão Filtros Inic. Processo (mca)	Antes	Depois
Pressão Filtros Térm. Processo (mca)	Antes	Depois
pH	Início Linha	Final Linha
Condutividade	Início Linha	Final Linha
Precipitação (mm)		

VERIFICAÇÃO SUPERVISOR	VERIFICAÇÃO ESTAGIÁRIO(A)/JOVEM

Observação	

3 PROCEDIMENTO PARA HIGIENIZAÇÃO DAS MANGUEIRAS DE FERTIRRIGAÇÃO

Para o processo de limpeza é necessário abrir os registros nos terminais das mangueiras e deixar o efluente escoar até que os sólidos acumulados nas mangueiras gotejadoras sejam expelidos por completo.

Realizar a limpeza das mangueiras semanalmente.

MANUSEIO DE MATERIAL

Todos os equipamentos devem ser mantidos limpos e ser operados de forma a proporcionar o melhor rendimento do sistema.

RESULTADO ESPERADO

Obter uma fertirrigação de boa qualidade.

AÇÃO IMEDIATA

Comunicar imediatamente os assistentes de Gestão Ambiental ou Supervisor de Gestão Ambiental caso haja algum problema na operação dos equipamentos mencionados.		
FUNÇÃO **SUPERVISOR DE GESTÃO AMBIENTAL**	**ASSINATURA**	**DOCUMENTOS RELACIONADOS**