

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

**EFEITO DA CARGA HIDRÁULICA E QUALIDADE DE ÁGUA NA UNIFORMIDADE DE**  
**SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO**

**ELIANE HERMES**

**CASCADEL – Paraná - Brasil**

**Fevereiro - 2010**

**ELIANE HERMES**

**EFEITO DA CARGA HIDRÁULICA E QUALIDADE DE ÁGUA NA UNIFORMIDADE DE  
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO**

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<sup>o</sup> Dr. Marcio Antonio Vilas Boas.

**CASCADEL – Paraná - Brasil**

**Fevereiro – 2010**



**ELIANE HERMES**

**EFEITO DA CARGA HIDRÁULICA E QUALIDADE DE ÁGUA NA UNIFORMIDADE DE  
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO**

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 Recursos Hídricos e Saneamento, aprovada pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Professor Dr. Marcio Antonio Vilas Boas  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE – Cascavel

Professor Dr. Helton Rogério Mazzer  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR – Campo Mourão

Professora Dra. Simone Damasceno Gomes  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE – Cascavel

Professor Dr. Benedito Martins Gomes  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE – Cascavel

Cascavel, 11 de fevereiro de 2010

“Os povos sem ciência não passam de cortadores de lenha e carregadores de água para os povos mais esclarecidos”.

Ernest Rutherford

Aos meus pais Hilda e Helimar e meus irmãos Marcos e Cristiane, que mesmo à distância, me incentivam e apóiam em todos os momentos e pelo exemplo de dedicação e amor incondicional.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente, pelo dom da vida e pelas bênçãos diárias.

Agradeço a meus pais, irmãos e demais familiares, pelo apoio e incentivo, mesmo à distância.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), *campus* de Cascavel, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela possibilidade de realização deste curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo fornecimento da bolsa de pesquisa.

Ao Professor Marcio Antonio Vilas Boas, pela orientação, compreensão e confiança, incentivo e amizade.

À Professora Simone Damasceno Gomes, pela disponibilização do Laboratório de Saneamento Ambiental, pertencente à UNIOESTE, *campus* Cascavel, para a realização das análises, além da colaboração, carinho e amizade.

Ao Professor Benedito Martins Gomes, pelos conselhos e orientações disponibilizado para a realização deste trabalho.

Aos Professores Marcio Antonio Vilas Boas, Miguel Angel Uribe Opazo, Monica Sarolli Silva de Mendonça Costa, Silvio Cesar Sampaio e Simone Damasceno Gomes, pelo conhecimento transmitido durante a realização dos créditos.

À secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Vera Celita Schmidt, pela colaboração e auxílio em sanar as dúvidas.

À Cristiane Hermes e Marcelo Franzon, pelo auxílio na montagem do experimento e realização dos ensaios de irrigação.

Aos meus amigos Dayane Cristina da Rocha, Kathia Regina Kunzler, Diego dos Santos, Franciele Ani Caovilla Follador, Claudia Facini dos Reis, Marcia Santorum, Fabio Orssatto e todos os demais colegas, pela amizade e colaboração em todos os momentos durante a realização do curso.

Finalmente, a todos que possibilitaram a concretização desta pesquisa e na conclusão do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	xii
RESUMO .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO .....	3
2.2 FERTIGAÇÃO.....	5
2.3 USO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS NA IRRIGAÇÃO .....	6
2.4 ÁGUA RESIDUÁRIA DE PROCESSAMENTO DE MANDIOCA.....	8
2.5 QUALIDADE DA ÁGUA NA IRRIGAÇÃO E FERTIGAÇÃO .....	10
2.5.1 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO.....	11
2.6 UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA .....	13
2.7 CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE.....	14
2.7.1 GRÁFICOS DE CONTROLE.....	15
2.7.2 ÍNDICE DE CAPACIDADE DE PROCESSO.....	17
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	19
3.2 IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	20
3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA E DO EFLUENTE DE PROCESSAMENTO DE MANDIOCA.....	21
3.4 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	23
3.5 ANÁLISE FATORIAL DOS DADOS.....	23
3.6 AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO .....	25
3.6.1 UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA .....	25
3.6.2 TESTE DE NORMALIDADE .....	28
3.6.3 ESTUDO DA AUTOCORRELAÇÃO .....	28
3.6.4 GRÁFICOS DE CONTROLE.....	29
3.6.5 ÍNDICE DE CAPACIDADE DE PROCESSO.....	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA .....	32
4.2 RELAÇÃO ENTRE VAZÃO E PRESSÃO .....	39
4.3 REDUÇÃO DA VAZÃO AO LONGO DO TEMPO.....	46
4.4 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA E DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE PROCESSAMENTO DE MANDIOCA.....	49



4.4.1	TEMPERATURA.....	49
4.4.2	POTENCIAL HIDROGENIÔNICO .....	50
4.4.3	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA .....	52
4.4.4	SÓLIDOS DISSOLVIDOS.....	53
4.4.5	TURBIDEZ.....	54
4.5	UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA .....	56
4.5.1	IRRIGAÇÃO.....	56
4.5.2	FERTIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE PROCESSAMENTO DE MANDIOCA.....	58
4.6	TESTE DE NORMALIDADE E AUTOCORRELAÇÃO .....	61
4.7	CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO.....	62
4.7.1	IRRIGAÇÃO.....	62
4.7.2	FERTIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE PROCESSAMENTO DE MANDIOCA.....	65
4.7.3	ÍNDICE DE CAPACIDADE DE PROCESSO.....	68
5	CONCLUSÕES.....	71
	REFERÊNCIAS .....	72

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Composição média da água residuária de uma fecularia .....	9
<b>Tabela 2</b>	Classificação das águas de irrigação .....	11
<b>Tabela 3</b>	Classificação da uniformidade em função do coeficiente de variação de vazão (CVQ).....	13
<b>Tabela 4</b>	Valor de uniformidade de emissão (UE) e a respectiva classificação dos sistemas de irrigação localizada .....	14
<b>Tabela 5</b>	Caracterização físico-química prévia da água residuária de processamento de mandioca.....	22
<b>Tabela 6</b>	Caracterização físico-química prévia da água residuária de processamento de mandioca bruta diluída .....	22
<b>Tabela 7</b>	Estrutura básica de dados utilizada em estudos com dois fatores .....	24
<b>Tabela 8</b>	Estrutura da tabela de análise de variância .....	25
<b>Tabela 9</b>	Estatística descritiva dos tratamentos para a variável vazão.....	32
<b>Tabela 10</b>	Resumo da análise de variância para a obtenção dos valores de F da vazão em função dos tratamentos de irrigação e fertigaçã o aplicados.....	33
<b>Tabela 11</b>	Teste de Tukey para a comparação de médias do Fator Carga hidráulica e do Fator Tipo de água.....	33
<b>Tabela 12</b>	Estatística descritiva dos tratamentos para a variável pH.....	34
<b>Tabela 13</b>	Resumo da análise de variância para a obtenção dos valores de F de pH em função dos tratamentos de irrigação e fertigaçã o aplicados .....	34
<b>Tabela 14</b>	Teste de Tukey para a comparação de médias do fator tipo de água .....	35
<b>Tabela 15</b>	Estatística descritiva dos tratamentos para a variável condutividade elétrica	35
<b>Tabela 16</b>	Resumo da análise de variância para a obtenção dos valores de F de condutividade elétrica em função dos tratamentos de irrigação e fertigaçã o aplicados .....	36
<b>Tabela 17</b>	Teste de Tukey para a comparação de médias do fator tipo de água .....	36
<b>Tabela 18</b>	Estatística descritiva dos tratamentos para a variável sólidos dissolvidos .....	36
<b>Tabela 19</b>	Resumo da análise de variância para a obtenção dos valores de F de sólidos dissolvidos em função dos tratamentos de irrigação e fertigaçã o aplicados ..	37
<b>Tabela 20</b>	Teste de Tukey para a comparação de médias do fator tipo de água .....	37
<b>Tabela 21</b>	Estatística descritiva dos tratamentos para a variável turbidez .....	38
<b>Tabela 22</b>	Resumo da análise de variância para a obtenção dos valores de F de turbidez em função dos tratamentos de irrigação e fertigaçã o aplicados.....	38
<b>Tabela 23</b>	Teste de Tukey para a comparação de médias do fator tipo de água .....	39
<b>Tabela 24</b>	Valores médios de volume coletados e vazão para o tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,0 m.....	40

<b>Tabela 25</b>	Valores médios de volume coletados e vazão para o tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m.....	41
<b>Tabela 26</b>	Valores médios de volume coletados e vazão para o tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,0 m.....	43
<b>Tabela 27</b>	Valores médios de volume coletados e vazão para o tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,5 m.....	44
<b>Tabela 28</b>	Valores de relação de vazão do emissor e redução da vazão para o tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,0 m .....	48
<b>Tabela 29</b>	Valores de relação de vazão do emissor e redução da vazão para o tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,5 m .....	49
<b>Tabela 30</b>	Valores mínimos, máximos e médios do pH e sua respectiva classificação quanto ao risco de entupimento.....	50
<b>Tabela 31</b>	Valores mínimos, máximos e médios de condutividade elétrica e sua respectiva classificação quanto ao risco de entupimento .....	52
<b>Tabela 32</b>	Valores mínimos, máximos e médios dos sólidos dissolvidos e sua respectiva classificação quanto ao risco de entupimento.....	54
<b>Tabela 33</b>	Valores mínimos, máximos e médios para a turbidez e sua classificação, segundo Resolução CONAMA 357/2005 .....	55
<b>Tabela 34</b>	Resultados obtidos para o coeficiente de variação de vazão (CVQ), coeficiente de uniformidade de emissão (UE) e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) no tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,0 m .....	56
<b>Tabela 35</b>	Resultados obtidos para o coeficiente de variação de vazão (CVQ), coeficiente de uniformidade de emissão (UE) e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) no tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m .....	58
<b>Tabela 36</b>	Resultados obtidos para o coeficiente de variação de vazão (CVQ), coeficiente de uniformidade de emissão (UE) e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) no tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,0 m.....	59
<b>Tabela 37</b>	Resultados obtidos para o coeficiente de variação de vazão (CVQ), coeficiente de uniformidade de emissão (UE) e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) no tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,5 m.....	60
<b>Tabela 38</b>	Índice de capacidade de processo para o coeficiente de variação de vazão (CVQ) nos tratamentos com carga hidráulica de 1,5 m .....	68
<b>Tabela 39</b>	Índice de capacidade de processo para o coeficiente de uniformidade de emissão (UE) nos tratamentos com carga hidráulica de 1,5 m .....	69

<b>Tabela 40</b>	Índice de capacidade de processo para o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) nos tratamentos com carga hidráulica de 1,5 m .....69
------------------	---

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Localização da área experimental.....	19
<b>Figura 2</b>	<i>Layout</i> do sistema de irrigação por gotejamento.....	20
<b>Figura 3</b>	Metodologia utilizada para a coleta de vazões para o teste de uniformidade na irrigação localizada. ....	26
<b>Figura 4</b>	Exemplo de gráfico de normalidade aplicado nos tratamentos com carga hidráulica de 1,5 m.....	28
<b>Figura 5</b>	Exemplo de gráfico de autocorrelação aplicado nos tratamentos com carga hidráulica de 1,5 m.....	29
<b>Figura 6</b>	Exemplo de gráfico de controle Shewart para as observações individuais aplicado nos tratamentos com carga hidráulica de 1,5 m. ....	30
<b>Figura 7</b>	Representação gráfica da equação característica de vazão-pressão do tubo gotejador Microdrip novo utilizado no experimento. ....	39
<b>Figura 8</b>	Representação gráfica da equação característica de vazão-pressão do tubo gotejador no tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,0 m. ....	41
<b>Figura 9</b>	Representação gráfica da equação característica de vazão-pressão do tubo gotejador no tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m. ....	42
<b>Figura 10</b>	Representação gráfica da equação característica de vazão-pressão do tubo gotejador no tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,0 m. ....	44
<b>Figura 11</b>	Representação gráfica da equação característica de vazão-pressão do tubo gotejador no tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,5 m. ....	45
<b>Figura 12</b>	Distribuição dos dados de vazão ao longo do tempo para o tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,0 m. ....	46
<b>Figura 13</b>	Distribuição dos dados de vazão ao longo do tempo para o tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m. ....	46
<b>Figura 14</b>	Distribuição dos dados de vazão ao longo do tempo para o tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,0 m. ....	47
<b>Figura 15</b>	Distribuição dos dados de vazão ao longo do tempo para o tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,5 m. ....	47
<b>Figura 16</b>	Gráfico de controle de medidas individuais para o coeficiente de variação de vazão (CVQ) no tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m.....	62
<b>Figura 17</b>	Gráfico de controle de medidas individuais para o coeficiente de uniformidade de emissão (UE) no tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m. ....	63
<b>Figura 18</b>	Gráfico de controle de medidas individuais para o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) no tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m.....	64
<b>Figura 19</b>	Gráfico de controle de medidas individuais para o coeficiente de variação de	

	vazão (CVQ) no tratamento de fertigaç3o com carga hidr3ulica de 1,5 m.....	65
<b>Figura 20</b>	Gr3fico de controle de medidas individuais para o coeficiente de uniformidade de emiss3o (UE) no tratamento de fertigaç3o com carga hidr3ulica de 1,5 m.	66
<b>Figura 21</b>	Gr3fico de controle de medidas individuais para o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) no tratamento de fertigaç3o com carga hidr3ulica de 1,5 m.....	67

# EFEITO DA CARGA HIDRÁULICA E QUALIDADE DE ÁGUA NA UNIFORMIDADE DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

## RESUMO

Um dos fatores que devem ser considerados na aquisição de um equipamento de irrigação está relacionado à sua uniformidade de aplicação, pois ela influencia diretamente na produtividade agrícola, que tende a aumentar com a melhoria desta uniformidade. A fertigação por meio de um sistema de irrigação por gotejamento propicia uma melhor uniformidade de aplicação, promovendo a economia de água e energia. A água residuária de mandioca ocasiona um sério problema ambiental, quando lançada diretamente em corpos hídricos, porém sua aplicação no solo tem demonstrado efeitos benéficos, quando usada como adubo orgânico na agricultura. Deste modo, o objetivo deste estudo consistiu na avaliação da qualidade da irrigação e fertigação com água residuária de processamento de mandioca. O sistema foi instalado no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola (NEEA), pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), no município de Cascavel – Paraná. Foram realizados quatro tratamentos distintos com seis repetições cada, considerando-se dois fatores: carga hidráulica (1,0 e 1,5 m) e tipo de água aplicada: água tratada e água residuária de processamento de mandioca diluída. Foi realizada a caracterização físico-química das águas para verificar o risco de entupimento do sistema por meio do monitoramento dos parâmetros de pH, condutividade elétrica (CE), sólidos dissolvidos (SD) e turbidez e foram determinados os coeficientes de variação de vazão (CVQ), de uniformidade de emissão (UE) e de uniformidade de Christiansen (CUC). Nos dois tratamentos com carga hidráulica de 1,5 m foram realizados 25 ensaios para a utilização de técnicas de controle estatístico de qualidade e estabelecimento de índices de capacidade de processo dos coeficientes obtidos. Nos tratamentos com água residuária de processamento de mandioca houve um decréscimo nos valores de vazão ao longo do tempo, com redução média de 20,0 e 18,8% para a carga hidráulica de 1,0 e 1,5 m, respectivamente. A água utilizada para irrigação no sistema de gotejamento apresentou valores de pH que podem provocar risco severo de entupimento ao equipamento utilizado. A qualidade da água residuária de processamento de mandioca diluída utilizada nos tratamentos de fertigação obteve valores de turbidez fora dos padrões do CONAMA. O CVQ e UE apresentaram resultados mais elevados no tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m, sendo classificados como excelente. Apenas o gráfico de medidas individuais de Shewhart do CUC nos ensaios de fertigação encontrou-se sob controle estatístico. Os valores dos índices de capacidade de processo apresentaram uma relação com os coeficientes de uniformidade inversamente proporcionais ao CVQ e diretamente proporcionais a UE e CUC. O índice de capacidade do processo mostrou-se capaz de diagnosticar se a irrigação tem capacidade de se manter sob controle e constante, ou seja, se será capaz de manter níveis aceitáveis de uniformidade.

**Palavras-chave:** capacidade de processo, coeficiente de uniformidade, gráfico de controle.

# EFFECT OF HYDRAULIC LOAD AND WATER QUALITY IN IRRIGATION AND FERTIGATION UNIFORMITY IN DRIP SYSTEM

## ABSTRACT

One of the factors that should be considered when purchasing an irrigation system is related to its application uniformity. It has a direct influence on agricultural productivity, which tends to increase with the improvement of this uniformity. The fertigation through drip irrigation system provides better application uniformity, therefore contributing to water and energy economy. The cassava wastewater provides a serious environmental problem when released directly into water bodies, and due to this, the application in the soil has shown beneficial effects when used in agriculture as organic fertilizer. Thus, the objective of this study was to evaluate four different treatments with six replicates each, considering two factors: hydraulic loading (1,0 and 1,5 m) and type of applied water: clean water and diluted cassava processing wastewater. The system was installed in the Experimental Center of Agricultural Engineering (NEEA), belonging to the State University of West of Paraná (UNIOESTE), in Cascavel - Paraná. Physicochemical characterization of water was performed to determine the clogging risk to the system by monitoring the parameters of pH, electrical conductivity (EC), dissolved solids (DS) and turbidity and determined the coefficients of flow variation (CV), emission uniformity (EU) and Christiansen Uniformity (CUC). In both treatments, with a hydraulic load of 1,5 m, 25 tests were performed in order to control statistical techniques and establishment of process capacity indices to the coefficients obtained. In treatments with cassava processing wastewater there was a decrease in the values of flow over time, with an average reduction of 20,02 and 18,84% for the hydraulic load of 1,0 and 1,5 m, respectively. The water used for irrigation in drip system showed pH values that can cause severe risk of clogging the equipment used. The quality of the diluted cassava processing wastewater used in the fertigation treatments had turbidity values outside the standards of CONAMA. The CV and the EU showed higher results in the treatment of irrigation with a hydraulic load of 1.5 m, being classified as excellent. Only the individual measures Shewhart chart of the CUC in the trials of fertigation was found in statistical control. The values of process capability indices showed a relationship with the coefficient of uniformity which are inversely proportional to CV and directly proportional to EU and CUC. The process capability index was able to diagnose whether irrigation has the ability to maintain control and constant, or whether it will be able to maintain acceptable levels of uniformity.

**Key-words:** process capacity, uniformity coefficient, control chart.



## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura consome em média 70% de todo volume de água doce superficial captado, sendo a irrigação responsável pela maior demanda. Atualmente, mais da metade da população mundial depende de alimentos produzidos em áreas irrigadas (CHRISTOFIDIS, 2001), que favorecem o aumento da produtividade agrícola.

Apesar do grande consumo de água, a irrigação representa a maneira mais eficiente de aumento da produção de alimentos e, vale ressaltar, de toda água que passa pela planta por meio do processo de transpiração, 95 a 97% retorna para a atmosfera na forma de vapor e apenas 3 a 5% está presente na planta no momento da colheita (FAGANELLO *et al.*, 2007).

A utilização da irrigação por gotejamento tem crescido exponencialmente nos últimos anos, pois este método apresenta maior eficiência em termos de distribuição de água, em relação aos demais e, além disso, o sistema economiza água, pois esta é aplicada diretamente na zona radicular da planta, sendo amplamente utilizada em regiões agrícolas que carecem de fontes naturais de água.

A aplicação de águas residuárias constitui-se como alternativa não só para a economia de água e nutrientes, mas sua principal contribuição está relacionada à disponibilização desses efluentes no solo, ao invés de serem lançados em cursos d'água, comprometendo a qualidade dos recursos hídricos. O uso de águas residuárias favorece o desenvolvimento de diversas culturas, porquanto possuem altas concentrações de nutrientes essenciais ao seu desenvolvimento como o nitrogênio, fósforo e potássio.

O estado do Paraná é o terceiro maior produtor brasileiro de mandioca, responsável por cerca de 17% da produção nacional (IBGE, 2009). A região Oeste do estado tem cerca de 15 indústrias de fécula, destacando-se como importante pólo de processamento, produzindo uma quantidade significativa de efluentes, sendo necessária a utilização de alternativas que propiciem uma correta disposição deste resíduo que, quando lançado diretamente em corpos hídricos, apresenta um sério problema ambiental.

Esta água residuária apresenta-se como importante fonte de nutrientes, pois dispõe de concentrações significativas de nitrogênio, fósforo e principalmente potássio, favorecendo o desenvolvimento de culturas, sendo que sua aplicação tem trazido resultados satisfatórios para os agricultores que a utilizam como substituto aos fertilizantes comuns.

Apesar das inúmeras vantagens, há a necessidade de avaliação da qualidade deste efluente, pois nem todos se apresentam viáveis para reuso na agricultura via irrigação por gotejamento. Alguns parâmetros devem ser constantemente monitorados, devido aos seus efeitos negativos, como principalmente sólidos que podem provocar obstrução nos equipamentos, comprometendo a uniformidade de aplicação de água e conseqüentemente a eficiência do sistema, sugerindo-se sempre a utilização de águas residuárias tratadas.

A uniformidade de aplicação de água influencia diretamente na produção agrícola e na minimização de gastos com água e energia, sendo o principal fator a ser considerado, pois a utilização de inadequada da água no sistema, compromete a qualidade da irrigação, devido à desuniformidade fornecida. Existem diversos coeficientes que monitoram essa uniformidade, avaliando a eficiência de aplicação de água.

O controle de qualidade é perfeitamente adaptável ao sistema de produção agrícola, pois com a correção e a eliminação de desperdícios e falhas, redução de custos e aumento da produtividade, muitas vantagens são agregadas à competitividade no campo (SILVA *et al.*, 2007), sendo que o gráfico de controle é uma das principais ferramentas utilizadas no controle estatístico da qualidade (MONTGOMERY, 2004).

O índice de capacidade de processo na irrigação visa determinar o quanto esta irrigação é adequada em termos de qualidade, refletida por meio dos gráficos de controle, em que um coeficiente alto e pouca variabilidade contribuem para o aumento do valor deste índice, responsável pela adequação desta irrigação aos critérios pré-estabelecidos.

Considerando este contexto, determinou-se como objetivo para este estudo avaliar a qualidade da irrigação e fertigação com água residuária de processamento de mandioca por meio da caracterização físico-química das águas aplicadas e utilização de duas cargas hidráulicas, determinação dos coeficientes de uniformidade e estabelecimento de índices de capacidade de processo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

O aumento contínuo da população exige quantidades crescentes de água, promovendo a concorrência de recursos hídricos entre a agricultura e outros setores da economia, forçando agricultores a considerarem com mais cautela a adoção de estratégias de minimização do consumo, em especial nas áreas de produção hortícola, onde a água tornou-se um recurso limitado (COSTA, ORTUNÃ; CHAVES, 2007).

A irrigação por gotejamento aplica lentamente e regularmente a água e/ou fertilizantes diretamente à zona da raiz das plantas, através de uma rede de tubulações plásticas economicamente projetadas e com baixa descarga de emissores (LIU; HUANG, 2009).

A irrigação localizada ganhou grande destaque principalmente nas décadas de 60 e 70 do século XX, no entanto existem relatos do desenvolvimento de sistemas que aplicavam água, seguindo este mesmo princípio de utilização de pequenas vazões de água diretamente sobre o sistema radicular das plantas, desde o início deste mesmo século (AIROLDI, 2007).

De acordo com HOWELL (2000), o engenheiro israelense Syncha Blass desenvolveu na Inglaterra a tecnologia para irrigar plantas em estufas de maneira localizada e a partir dos anos 1950 ele começou com sucesso a utilização desta tecnologia em Israel, aplicando águas altamente salinas. A partir de 1960 esse método de irrigação espalhou-se ao redor do mundo e, no Brasil, a irrigação por gotejamento surgiu a partir da década de 1970.

Devido à escassez de água em muitas partes do mundo, a irrigação por gotejamento está se tornando um sistema popular (SAHIN *et al.*, 2005), devido ao seu menor consumo de água, em relação a outros sistemas. Este método de irrigação apresenta uma melhor distribuição de água, minimizando os impactos ambientais negativos e transformando-se em alternativa viável para a agricultura irrigada sustentável (BHATTARAI, MIDMORE; PENDERGAST, 2008).

A utilização da irrigação localizada também vem crescendo em decorrência do desenvolvimento tecnológico na agricultura irrigada, que visa empregar métodos que apresentem maior eficiência juntamente à redução de custos e do consumo de água e energia, propiciando um alto desenvolvimento de equipamentos e materiais que possibilitem um melhor desempenho para estes sistemas.

O método é vantajoso quando aplicado em regiões de clima tropical, com verões secos e taxas elevadas de evapotranspiração. Estas são circunstâncias que fazem deste sistema uma alternativa apropriada à irrigação de superfície. Na irrigação por gotejamento a evaporação é reduzida, aumentando a eficiência do uso da água criando uma baixa área molhada na zona da raiz, melhorando a disponibilidade de água para as plantas (PAYERO *et al.*, 2008).

A irrigação localizada viabiliza soluções para alguns dos principais problemas encontrados no campo. CARARO (2004) cita vantagens relacionadas ao grande potencial de automatização, manutenção de elevados níveis de água no solo para melhorar o desempenho das culturas e a possibilidade de adaptação às condições de solos pedregosos, rasos e de topografia acidentada. Existe, ainda, a possibilidade de cultivo em solos com baixa fertilidade natural, além da redução de riscos de salinização dos solos, otimizando a produção.

NASCIMENTO (2006) citam a possibilidade de aproveitamento de pequenos mananciais devido à alta eficiência do sistema que aplica pequenas vazões em intervalos regulares, maior eficiência no controle fitossanitário, pois este sistema não molha toda a área facilitando o controle de insetos e fungos, além de apresentar bons resultados para a fertirrigação por oferecer um melhor aproveitamento dos fertilizantes.

No entanto, o sistema apresenta algumas limitações relacionadas ao entupimento dos gotejadores, principalmente pelo uso de emissores com pequenos diâmetros (NASCIMENTO, 2006). O inconveniente principal do sistema de irrigação por gotejamento é o seu custo inicial elevado, entretanto, esse custo pode ser recuperado em um curto prazo.

Entre os vários componentes do sistema, as laterais são o fator de custo principal, que influencia no custo total do sistema e todo o esforço na diminuição do comprimento das laterais conduzirá à minimização do preço do sistema (THIND, AUJLA; BUTTAR, 2007). Diversos estudos têm buscado a utilização de sistemas baratos, principalmente nas áreas de população mais pobre, como em alguns países da África.

Para que este tipo de irrigação seja corretamente dimensionado, é necessário o conhecimento das características dos emissores, entretanto, diversos fatores influenciam ou afetam a eficiência e a uniformidade de aplicação d'água. Em relação aos emissores, destacam-se: variação da vazão devido ao processo de fabricação; variação da pressão de funcionamento; perda de carga em razão da inserção do emissor na linha lateral e suscetibilidade a entupimento (SOUZA *et al.*, 2005). Estes autores destacam que os emissores formam a parte mais sensível deste sistema de irrigação, pois são os responsáveis por assegurar o suprimento de água ao solo, com uma uniformidade aceitável em toda a parcela ou unidade a ser irrigada.

Para que o sistema apresente um excelente desempenho, RIBEIRO *et al.* (2004) descrevem a necessidade de se levar em consideração alguns fatores fundamentais, como

a qualidade da água e a presença de partículas orgânicas (algas, pedaços de insetos, bactérias, etc.) e inorgânicas (areia, limo, argila). A obstrução de emissores afeta a uniformidade de aplicação de água e, desta maneira, reduz a eficiência da aplicação de produtos químicos, via fertirrigação, na mesma proporção da redução da uniformidade de aplicação (SOUZA *et al.*, 2005).

## 2.2 FERTIGAÇÃO

A fertigação é conceituada como o processo de aplicação simultânea de água e fertilizantes, por meio de um sistema de irrigação (FERNANDES, COELHO; BOTREL, 2003), utilizada para complementar a adubação durante o processo de plantio. Na irrigação por gotejamento, a fertigação torna-se mais eficiente em comparação a outros métodos, devido à aplicação da água diretamente no sistema radicular da planta, possibilitando a melhoria do uso de insumos em diversas culturas, tanto em aspectos relacionados ao aumento da produtividade quanto na qualidade desses produtos.

Em, praticamente, 100% da produção irrigada por gotejamento em países como Estados Unidos, Espanha, Holanda, Austrália e África do Sul é utilizada a fertirrigação, constituindo-se como uma das principais práticas para a obtenção de altas produtividades (VILLAS BÔAS *et al.*, 2001). Estes autores ainda ressaltam a necessidade de realização de pesquisas sobre os vários aspectos relacionados à fertigação, possibilitando o uso correto desta técnica, pois o seu uso eficiente deve considerar questões relacionadas à planta, ao solo e ao sistema de irrigação, pois seu manejo inadequado proporciona muitas vezes uma aplicação inadequada de fertilizantes, causando lixiviação dos nutrientes e a consequente poluição do aquífero, além da redução da produtividade e qualidade do produto, encarecendo o custo de produção.

Por permitir que os fertilizantes sejam fornecidos de forma parcelada, atendendo às necessidades das plantas, a fertigação contribui para que a fertilidade do solo seja mantida em altos níveis durante todo o ciclo de desenvolvimento da planta, aumentando a absorção de nutrientes e resultando em ganhos de produtividade e qualidade (MAROUELLI, SILVA; MORETTI, 2001).

Os nutrientes mais utilizados na fertigação são aqueles que têm maior mobilidade no solo como potássio e, principalmente, nitrogênio (MAROUELLI, SILVA; MORETTI, 2001). OLIVEIRA & VILLAS BÔAS (2008) avaliaram a uniformidade de distribuição do potássio e do nitrogênio em sistema de irrigação por gotejamento e concluíram que não houve variação significativa da uniformidade destes dois elementos neste método de irrigação e que

maiores tempos de funcionamento para a fertirrigação possibilitaram melhores uniformidades de distribuição do fertilizante.

O nitrogênio é um elemento que apresenta algumas dificuldades quanto ao seu manejo, pois este é muito suscetível às condições ambientais. Suas funções principais estão relacionadas ao aumento do teor e qualidade das proteínas dos alimentos, auxílio no desenvolvimento radicular, aumento da eficiência de absorção do potássio, além de ser importante no processo de fotossíntese (SOUZA *et al.*, 2007b).

BHAT e SUJATHA (2008) concluíram que a adoção da fertirrigação via irrigação por gotejamento apresenta um impacto positivo sobre o pH e a disponibilidade de nutrientes no solo. O estudo indicou que 75% da dose recomendada de NPK, aplicadas em um intervalo de 10 dias, resultam em uma maior partilha de nutrientes.

### **2.3 USO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS NA IRRIGAÇÃO**

Diversos países enfrentam problemas com a escassez de água, como Kuwait, Israel, Jordânia, Arábia Saudita, Líbia, Iraque, Bélgica, Argélia, Cabo Verde, Etiópia, Hungria, México, Estados Unidos, França, Espanha e outros, ou seja, em diversos países do planeta a seca é crônica (PAZ, TEODORO; MENDONÇA, 2000).

Com a diminuição da disponibilidade de recursos hídricos, há a necessidade da utilização de águas de qualidade inferior e com o aumento do volume de águas residuárias, sua aplicação na agricultura é considerada uma alternativa na irrigação, prática que vem crescendo significativamente, principalmente em países que sofrem com a falta de água doce (AL-ABSI, AL-NASIR; MAHADEEN, 2008).

Na maioria dos países mediterrâneos, o reuso de águas residuárias foi integrado no planejamento e desenvolvimento dos recursos hídricos, sendo parte fundamental do controle de poluição ambiental e gerenciamento de bacias hidrográficas. Na China, vem sendo reduzido o uso de água doce nos setores agrícolas, visto que esta água é exigida em setores industriais e domésticos (LIU; HUANG, 2009).

As áreas metropolitanas produzem excesso de efluentes, enquanto que as áreas periféricas, nas quais se pratica a agricultura, a densidade demográfica é inferior e com isso o bombeamento desse excesso para áreas de intensa produção agrícola contribui para a minimização dos riscos à saúde humana das populações, principalmente nos grandes centros urbanos (AIROLDI, 2007).

Muitos efluentes produzidos em grande quantidade apresentam características favoráveis para o seu reuso na agricultura, como os efluentes domésticos (FRIEDMAN *et al.*, 2007), suínos (ADELI, VARCO; ROWE, 2003) e de indústrias de produção de alimentos

em geral. Estudos efetuados em diversos países demonstram que a produtividade agrícola aumenta significativamente em áreas fertirrigadas com águas residuárias, desde que estas sejam adequadamente manejadas. Estas podem ser aplicadas na produção de grandes culturas (milho, sorgo, trigo etc.), frutas e hortaliças e madeira em reflorestamento.

O uso de águas residuárias para irrigação tem diversos aspectos positivos. A principal vantagem reside na recuperação de um recurso da maior importância na agricultura – a água, além disso, seu uso na agricultura fornece nutrientes às plantas, melhorando seu crescimento e minimizando custos com a adição de nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio por meio de fertilizantes químicos (WANG; HUANG, 2008).

A estimativa do valor dos nutrientes presentes nos efluentes de lagoas de estabilização na Jordânia é de 75 dólares por 1000 m<sup>3</sup> (AL-NAKSHABANDI *et al.*, 1997), sendo que esses resíduos tratados são como adubos naturais para a produção de alimentos, promovendo um aumento de renda nesta atividade e favorecendo a geração de empregos.

Os macro e micronutrientes em águas residuárias tratadas geralmente estão em concentrações que podem ser benéficas ao crescimento das plantas, podendo ser prejudicial, caso sejam erroneamente aplicados, devido à possibilidade de espalhamento de doenças infecciosas e de nutrientes no meio ambiente (PARANYCHIANAKIS *et al.*, 2006). Além disso, sais presentes nestes resíduos como sódio e cloro podem elevar a condutividade elétrica, associada a efeitos maléficos no crescimento de plantas por meio de distúrbios nutritivos e à toxicidade dos íons.

AIROLDI (2007) apresenta alguns efeitos negativos da utilização de águas residuárias na irrigação:

- Poluição, principalmente por nitrato em águas utilizadas para abastecimento público. Níveis de nitrato em água potável superiores a 90 mg L<sup>-1</sup> podem causar metamoglobinemia em crianças;
- Acúmulo de contaminantes no solo, que pode levar à sua salinização ou criar ambiente propício para a proliferação de vetores transmissores de doenças;
- Uma alta concentração de nitrogênio no efluente pode comprometer culturas susceptíveis a ele;
- Alguns íons específicos como sódio e cloretos apresentam toxicidade a determinadas culturas.

GONÇALVES *et al.* (2006) mencionam que águas residuárias com elevadas concentrações de sólidos em suspensão podem acarretar problemas, desde a captação até a sua distribuição no solo pelos equipamentos de irrigação, que podem sofrer corrosão e apresentar entupimentos, acarretando diminuição de sua vida útil, alterações na vazão e

baixas uniformidades de distribuição de água no solo, sendo que na irrigação localizada essa aplicação pode ser mais vantajosa, caso haja alguma forma de tratamento e filtração.

KIZILOGLU *et al.* (2008) descrevem que a água residuária tratada pode ser utilizada como uma alternativa à escassez de recursos hídricos, especialmente em regiões áridas e semiáridas, pois atende à qualidade que os consumidores procuram nos alimentos. Entretanto, o seu uso contínuo traz algumas questões sobre a fertilidade do solo e a proteção da cadeia alimentar. Contaminação com metais pesados deverão ser investigados, a fim de determinar os efeitos residuais dos efluentes antes de utilizá-las para a recuperação de terras e, como adubo.

MELO *et al.* (2005) trabalharam com água residuária da mandioca (manipueira), sendo que com a aplicação de doses crescentes, houve um aumento exponencial de nutrientes no solo como o potássio, fósforo, cálcio, alumínio, sódio e magnésio, além do crescimento linear dos valores de condutividade elétrica.

AL-ABSI, AL-NASIR e MAHADEEN (2008) estudaram a viabilidade de aplicação de água residuária têxtil tratada sobre a cultura de azeitonas e os resultados mostraram que esta pode ser usada como fonte de água e nutrientes, havendo, no entanto, a necessidade de um monitoramento contínuo da qualidade desta água e dos níveis tóxicos de cobre, ferro e sódio dentro das folhas, a fim de corrigir as concentrações tóxicas e deficientes.

## 2.4 ÁGUA RESIDUÁRIA DE PROCESSAMENTO DE MANDIOCA

O Paraná apresenta-se como um dos maiores produtores de raiz de mandioca do país (CEPEA/ABAM, 2008), colhendo na safra de 2000/2001 a quantidade de 4.437.000 t. A região Oeste se destaca em termos de produtividade alcançando índices de produção acima de 25.000 kg ha<sup>-1</sup> de raiz de mandioca em um ciclo (GROXKO, 2001).

O estado possui o mais moderno pólo feculeiro do país, produzindo no ano safra de 2000/2001, 396.270 t de fécula de mandioca (ABAM, 2001). Segundo dados técnicos industriais, uma fecularia que processe 200 toneladas por dia de raiz de mandioca produz, em média, 40 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> de efluente, durante 12 h de funcionamento, ou seja, 480 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> (2,4 m<sup>3</sup> de efluente por tonelada de raiz processada). Nessa ordem, produziu-se no Paraná, durante a safra de 2000/2001, algo em torno de 10.648.800 m<sup>3</sup> de efluente (SILVA *et al.*, 2004).

A manipueira apresenta-se como um líquido de aspecto leitoso, de cor amarelo-claro, proveniente das raízes da mandioca, devido à sua prensagem para obtenção da fécula ou farinha de mandioca que, fisicamente, se apresenta na forma de suspensão aquosa e, quimicamente, como miscelânea de compostos, como goma, açúcares, proteínas,



linamarina, derivados cianogênicos e substâncias e sais minerais diversos (FIORETTO, 2001).

FIORETTO (2001) ainda menciona que a manipueira proporciona um sério problema ambiental quando lançada diretamente em corpos hídricos, principalmente em pequenos cursos d'água, em que geralmente os resíduos líquidos de indústrias que utilizam raízes de mandioca como matéria-prima são despejados.

Segundo SILVA *et al.* (2003), a composição química da manipueira potencializa sua utilização como adubo, haja vista sua riqueza em nitrogênio, fósforo e, principalmente, em potássio. Por outro lado, a presença de cianetos explica os efeitos nematocida e inseticida inerentes à manipueira. Sua composição é variada, dependendo da variedade de mandioca utilizada.

Geralmente ocorre a predominância do potássio (K) entre os constituintes minerais desse resíduo. Outro elemento essencial na nutrição vegetal é o fósforo, que se apresenta com teores razoáveis, sendo três vezes maior em relação ao encontrado na vinhaça de caldo de cana, também aplicado na fertirrigação (FIORETTO, 2001). Assim, a manipueira pode ser utilizada como fertilizante, aproveitando-se a reciclagem de seus nutrientes no solo, evitando seus despejos nos cursos d'água.

Com relação à água residuária, a principal característica física está relacionada à concentração de sólidos totais. Na Tabela 1 observam-se as características dos despejos do processamento de mandioca.

**Tabela 1** Composição média da água residuária de uma fecularia

Análise	Unidade	Mínima	Máxima
pH	-	3,8	5,2
DQO	mg L <sup>-1</sup>	6.280	51.200
DBO	mg L <sup>-1</sup>	1.400	34.300
Sólidos Totais	mg L <sup>-1</sup>	5.800	56.460
Sólidos Solúveis	mg L <sup>-1</sup>	4.900	20.460
Sólidos em Suspensão	mg L <sup>-1</sup>	950	16.000
Sólidos Fixos	mg L <sup>-1</sup>	1.800	20.460
Matéria Orgânica	mg L <sup>-1</sup>	1.500	30.000
Nitrogênio Total	mg L <sup>-1</sup>	140	1.150
Fosfatos Totais	mg L <sup>-1</sup>	155	598
Cinzas	mg L <sup>-1</sup>	350	800
Sólidos Sedimentáveis (1 h)	mg L <sup>-1</sup>	11	33
Teor CN	mg L <sup>-1</sup>	22	27,1

Fonte: Adaptado de LAMO e MENEZES (1979) *apud* CEREDA (2001).

Algumas pesquisas já demonstraram os efeitos benéficos da aplicação da manipueira, quando usada na agricultura como adubo orgânico. GAMEIRO *et al.* (2003) observaram que empresas que aplicaram este efluente na fertirrigação estão extremamente satisfeitas com os resultados, pois as pastagens assim adubadas triplicaram a capacidade de lotação animal. Estes autores, analisando o destino dos resíduos de 68 indústrias de amido, observaram que 93% delas acumulavam a manipueira em lagoas, realizando ou não

algum tipo de tratamento. Apenas 6% jogavam o resíduo na lavoura, servindo como fertirrigação e 1% lançava o líquido diretamente no rio.

SARAIVA *et al.* (2007) estudaram o uso de manipueira no desenvolvimento vegetativo do milho em ambiente protegido e de um modo geral, a irrigação com água residuária tratada por sistema de lagoas, proporcionou aumento em todos os parâmetros químicos do solo, em todos os tratamentos aplicados.

BORSZOWSKI *et al.* (2009) utilizaram manipueira no cultivar de morangueiro no município de Rio Azul - PR e concluíram que doses crescentes de manipueira contribuíram para o aumento de sua produtividade, no decorrer de duas safras de cultivo

SILVA *et al.* (2004) avaliaram o impacto da aplicação de efluente tratado de fecularia de mandioca em solo e na cultura do sorgo, sendo que o efluente tratado de fecularia de mandioca supriu as necessidades nutricionais exigidas pelo sorgo para o seu pleno desenvolvimento e produção de massa verde (ou massa seca), proporcionando aumento de crescimento até a dose máxima adicionada de 900 m<sup>3</sup>.

## 2.5 QUALIDADE DA ÁGUA NA IRRIGAÇÃO E FERTIGAÇÃO

A utilização de águas de qualidade inferior na agricultura minimiza uma possível contaminação das águas subterrâneas e superficiais, sendo fundamental em regiões áridas e semiáridas, nas quais a escassez de água torna necessário o aproveitamento de todos os recursos hídricos disponíveis (SOUZA *et al.*, 2005). Embora a irrigação venha sendo praticada há vários milênios, a qualidade da água só começou a ter importância a partir do início do século XX (SANTOS *et al.*, 2003).

Para SOUSA, LEITE e LUNA (2001), a adequação da água para irrigação ainda é muito subjetiva, porém é necessária a avaliação de alguns parâmetros que poderão produzir efeitos indesejáveis na relação água, planta e solo. Dessa forma, é importante analisar as características físico-químicas, a qualidade sanitária da água, as características do solo, a tolerância das culturas a serem utilizadas, o clima local, o manejo da irrigação e a drenagem.

Os sistemas de irrigação por gotejamento apresentam elevada susceptibilidade e, portanto, o monitoramento da qualidade da água deve ser constante, evitando assim o risco de entupimento dos emissores, diminuindo a eficiência do sistema. O emissor de gotejamento pode sofrer obstrução parcial ou completa. As razões para a obstrução, segundo RIBEIRO *et al.* (2005a), podem ser classificadas em 3 tipos:

- Obstrução física: causada pelo suspenso de partículas inorgânicas (areia, sedimentos, argila, plásticos);

- Obstrução química: devido a materiais sólidos dissolvidos que interagem uns com os outros, como precipitados de carbonatos e bicarbonatos de cálcio;
- Obstrução biológica: devido a algas, limos de ferro e enxofre.

Entre os poluentes mais comuns, estão: a matéria orgânica, representada pela demanda bioquímica de oxigênio (DBO), pela demanda química de oxigênio (DQO) e pelos sólidos suspensos totais (SST); poluentes orgânicos, como os agrotóxicos; poluentes inorgânicos, como os metais pesados; excesso de macronutrientes, como o nitrogênio e o fósforo; microrganismos patogênicos, como as bactérias, os vírus e os parasitas e os elementos que conferem salinidade à água.

### 2.5.1 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

A avaliação da qualidade da água é fundamental, principalmente em sistemas de irrigação por gotejamento, incluindo principalmente análises de condutividade elétrica, pH, sólidos dissolvidos totais e sólidos em suspensão, DQO, DBO e microrganismos. A Tabela 2 apresenta a classificação da água de irrigação.

**Tabela 2** Classificação das águas de irrigação

Fatores de Entupimentos	Níveis de Risco		
	Baixo	Moderado	Severo
		Físico	
Sólidos em suspensão ( $\text{mg L}^{-1}$ )	< 50	50 – 100	> 100
Condutividade elétrica ( $\text{dS m}^{-1}$ )	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
		Químico	
pH	< 7	7 – 8	> 8
Sólidos dissolvidos ( $\text{mg L}^{-1}$ )	< 500	500 – 2000	> 2000

Fonte: Adaptado de NAKAYAMA e BUCKS (1986).

Nos sistemas de irrigação localizada os sólidos suspensos, em altas concentrações, são considerados um dos principais problemas de qualidade de água, ocasionando a obstrução física dos emissores. BLUM (2003) ressalta que águas residuárias que apresentem teores de sólidos em suspensão superiores a  $30 \text{ mg L}^{-1}$  podem comprometer sistemas de irrigação por aspersão, gotejamento e causar danos a sistemas de bombeamento, devido a potenciais riscos de entupimento.

Substâncias químicas dissolvidas na água de irrigação como o carbonato de cálcio e o sulfeto de cálcio em elevadas concentrações podem precipitar e formar incrustações nas

paredes das tubulações e emissores, limitando a passagem da água (RIBEIRO *et al.*, 2005b). Os sólidos totais dissolvidos na água de irrigação para fins agrícolas não devem ultrapassar  $500 \text{ mg L}^{-1}$ .

A concentração total de sais na água para irrigação normalmente é expressa em relação a sua condutividade elétrica (CE), que está relacionada basicamente com os sais e indica, portanto, a quantidade de íons mono e multivalentes contidos no líquido (SAMPAIO *et al.*, 2007). Para RIBEIRO *et al.* (2004), a CE é a variável mais aplicada para o monitoramento do nível de salinidade ou a concentração de sais solúveis na água de irrigação. Esta medida cresce proporcionalmente, à medida que a concentração de sais aumenta.

Em geral, pode-se dizer que uma água com  $CE < 0,7 \text{ dS m}^{-1}$  não apresenta nenhuma restrição para uso na irrigação e fertigação. Porém, valores de CE acima de  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$  passam a apresentar certa restrição de uso, sendo desaconselhável o uso dessa água para a irrigação (NAKAYAMA e BUCKS, 1986).

O valor do potencial hidrogeniônico (pH) não indica a quantidade de ácidos das amostras de água ou efluentes, mas a intensidade de acidez ou de alcalinidade da amostra, sendo um parâmetro que pode contribuir para obstrução de tubulações e emissores (FRAVET e CRUZ, 2007). FOLEGATTI (2001) cita valores de pH ideais na faixa de 6,5 a 8,4, para possibilitar o uso para a fertigação.

RIBEIRO *et al.* (2005a) avaliaram o risco de entupimento em função da qualidade da água utilizada em sistema de irrigação por gotejamento e observaram que os parâmetros químicos que apresentaram médio risco de obstrução aos emissores, foram: pH, ferro e sulfetos. Os parâmetros físicos e biológicos analisados apresentaram baixo risco de entupimento dos emissores.

SOUZA *et al.* (2005) estudaram a susceptibilidade ao entupimento do sistema de gotejamento com águas residuárias de bovinocultura com concentrações de sólidos totais de  $18.629 \text{ mg L}^{-1}$ , observando que a partir de 21 horas de funcionamento do sistema ocorreu entupimento de origem física em todos os bocais, exceto no de diâmetro de 1,80 mm.

SOUZA *et al.* (2006) utilizaram água residuária avícola (ARA) com concentrações de sólidos totais de  $15.437 \text{ mg L}^{-1}$ , sendo que estas propiciaram o entupimento de origem física dos bocais de diâmetro 0,90 e 1,00 mm, a partir de 20 h de funcionamento do sistema. Os bocais de diâmetro de 1,20, 1,40 e 1,80 mm foram os mais adequados para utilização nas concentrações de sólidos totais avaliadas.

## 2.6 UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA

Um dos fatores que deve ser considerado na aquisição de um equipamento de irrigação está relacionado à sua uniformidade de aplicação. Esta influencia diretamente na produtividade agrícola, que tende a aumentar com a melhoria da uniformidade.

Outro fator a ser avaliado é a possibilidade deste sistema ser usado para a fertirrigação, em que a uniformidade de distribuição destes fertilizantes está diretamente ligada à uniformidade de aplicação da água afetando não só a produtividade, mas a possibilidade de lixiviação de nutrientes (GONÇALVES *et al.*, 2006). LI, MENG e LI (2006) destacam a importância da uniformidade na fertirrigação, pois sua ausência implica a redução da qualidade da irrigação, causando contaminação e degradação do solo.

VIEIRA *et al.* (2004) descrevem a uniformidade na distribuição de água como um dos aspectos mais importantes no método de irrigação localizada, utilizando o sistema de gotejamento, porém, a desuniformidade dos gotejadores, devido a processos de fabricação, o dimensionamento inadequado do sistema, além do entupimento dos emissores são fatores que podem comprometer esta uniformidade.

RESENDE, COELHO e PIEDADE (2000) afirmam que, devido à pequena magnitude dos agentes causadores de desuniformidade (declividade, perda de carga e outros), as variações no coeficiente de variação de vazão (CVQ) dos gotejadores usados são relativas ao processo de entupimento, ligado ao tipo de água usada na irrigação. Neste caso, a qualidade da água para irrigação localizada é um dos primeiros fatores a serem considerados, pois refletirá na vida útil do sistema e na qualidade da irrigação.

Muitos coeficientes são utilizados para expressar a variabilidade de distribuição da água na irrigação, como o coeficiente de variação de vazão (CVQ) e o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por CHRISTIANSEN (1942). Segundo BERNARDO, SOARES e MANTOVANI (2005), o valor mínimo admitido do CUC é de 80% dentro da parcela de irrigação no caso da irrigação localizada. Com relação à classificação do CVQ, esta pode ser observada na Tabela 3.

**Tabela 3** Classificação da uniformidade em função do coeficiente de variação de vazão (CVQ)

Coeficiente de Variação de Vazão (%)	Classificação da Uniformidade
> 0,4	Inaceitável
0,4 – 0,3	Baixa
0,3 – 0,2	Aceitável
0,2 – 0,1	Muito Boa
< 0,1	Excelente

Fonte: PEIXOTO, CHAVES e GUERRA (2005).

A ASAE (1996) propõe a utilização do coeficiente de uniformidade de emissão (UE). A Tabela 4 apresenta a classificação dos sistemas de irrigação localizada, pelo valor da uniformidade de emissão (UE).

**Tabela 4** Valor de uniformidade de emissão (UE) e a respectiva classificação dos sistemas de irrigação localizada

CLASSE	UE (%)
Excelente	> 90
Bom	90 – 80
Aceitável	80 – 70
Ruim	< 70
Inaceitável	-

Fonte: ASAE (1996).

BASSO, VILLAFANE e TORRES (2008) avaliaram a uniformidade de irrigação e fertirrigação nitrogenada da alface, sendo que o valor de CUC foi acima de 85% e os valores de CVQ menores que 0,15 para todos os tratamentos tanto de irrigação quanto de fertirrigação. Concluíram que a topografia, variações próprias entre emissores não afetaram de maneira significativa a uniformidade e de acordo com as observações realizadas não houve entupimento nos emissores durante os ensaios.

No que se refere ao manejo do sistema, CUNHA *et al.* (2006) descrevem como uma consequência direta da baixa uniformidade de aplicação de água o aumento do volume aplicado, já que o aplicador, ao constatar a diminuição da vazão média dos gotejadores, pelo efeito do entupimento, tende a aumentar o tempo de aplicação. Dessa forma, as plantas que receberam menor lâmina de água passam a ser compensadas com o prolongamento do tempo de aplicação, conseqüentemente, as plantas que recebiam a lâmina adequada passam a ter uma aplicação em excesso, podendo ocorrer problemas de perdas de água por percolação, no caso de irrigação e de superadubação, no caso de fertigação.

## 2.7 CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE

O controle estatístico de qualidade (CEQ) é uma técnica que consiste em analisar o processo, estabelecer padrões, comparar desempenhos, verificar e estudar desvios, buscar e implementar soluções, analisar novamente o processo após as modificações, buscando a melhor performance de máquinas e/ou pessoas (MONTGOMERY, 2004).

Para entender melhor a técnica do controle estatístico de qualidade, é necessário ter-se em mente que a qualidade de um produto fabricado por um determinado processo esteja,

inevitavelmente, sujeita à variação e, quando esta variação é significativa pode-se obter produtos não conformes, ou seja, que não atendam às especificações (RUSSO, 2002).

Um processo está sob controle estatístico quando as causas especiais de variação são eliminadas do processo, e os pontos plotados no gráfico de controle permanecem dentro dos limites de controle (MONTGOMERY, 2004).

O controle de qualidade é perfeitamente adaptável ao sistema de produção agrícola. Sabe-se que, com a correção e a eliminação de desperdícios e falhas, redução de custos e aumento da produtividade, inúmeras vantagens serão acrescentadas à competitividade no campo.

### **2.7.1 GRÁFICOS DE CONTROLE**

Gráficos ou cartas de controle estatístico são ferramentas de monitoramento do desempenho de processos, utilizando medições de variáveis que influenciam na qualidade dos itens manufaturados como dados de entrada. As medições são realizadas em pontos espaçados no tempo e registradas nas cartas. Este registro resulta em gráficos temporais que apresentam os valores de medição da variável no eixo vertical e os pontos no tempo nos quais as medições são efetuadas no eixo horizontal. A cada medição, compara-se o resultado obtido com limites de controle: medições fora dos limites indicam a presença de causas especiais de variabilidade, anomalias ao processo, que prejudicam a qualidade do produto manufaturado (MICHEL e FLOGIATTO, 2002).

O gráfico de controle é uma das principais ferramentas utilizadas no controle estatístico da qualidade e o seu principal objetivo é diferenciar a ocorrência de causas especiais, que provocam mudanças importantes no processo daquelas provocadas por causas comuns ou aleatórias.

Identificadas as causas especiais, torna-se possível a atuação sobre elas, melhorando a qualidade do produto, minimizando a variabilidade nas características de qualidade do produto, por meio de variáveis monitoradas. Dessa maneira, melhora-se a qualidade intrínseca, a produtividade, a confiabilidade e o custo do que está sendo produzido (MICHEL e FLOGIATTO, 2002).

As cartas de controle do tipo Shewhart, introduzidas por volta de 1930, continuam a ser uma das ferramentas mais utilizadas em controle de qualidade. Na sua concepção e utilização é necessário ter-se em conta três aspectos fundamentais: os instantes de amostragem, o tamanho das amostras e os limites de controle. Nas cartas Shewhart clássicas, os valores destas grandezas são fixos durante todo o processo de controle. Em particular, usando uma carta de controle para a média, utilizam-se usualmente os limites 3- sigma (INFANTE; DIAS, 2006).

O gráfico de controle de Shewhart para medidas individuais pode ser aplicado em situações em que o tamanho da amostra para monitoramento do processo é  $n = 1$ , ou seja, a amostra consiste de uma única unidade individual. Em muitas aplicações dos gráficos de controle para unidades individuais usamos a amplitude móvel de suas observações consecutivas como base para estimar a variabilidade do processo (MONTGOMERY, 2004). Este autor ainda menciona que um gráfico de controle é composto de três linhas paralelas: uma linha média que reflete o nível de operação do processo, e duas linhas externas denominadas limite superior de controle (LSC) e limite inferior de controle (LIC), calculados em função do desvio padrão de alguma variável do processo.

WERKEMA (1995) descreve os critérios indicativos da falta de controle de um processo:

- Pontos fora de controle: é a indicação mais evidente da falta de controle de um processo. Essa ocorrência pode ser resultado principalmente de erros de registros de dados, cálculos de medições, além da utilização incorreta ou defeitos de equipamentos;
- Periodicidade: representa uma 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: em que 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 dos pontos do gráfico de controle em uma direção (ascendente ou descendente), sendo que a existência de sete pontos ou mais pontos indica a falta de controle de processo;
- Aproximação dos limites de controle: corresponde à ocorrência de dois ou três pontos consecutivos fora dos limites  $2\sigma$ , apesar destes ainda estarem dentro dos limites de controle  $3\sigma$ . Podem existir duas diferentes distribuições sobrepostas gerando o resultado do processo. Neste 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 está muito próxima da linha média, dentro das linhas centrais de  $1\sigma$ , apresentando uma variabilidade menor do que a esperada, observa-se a possibilidade de erros nos cálculos dos limites de controle.



Para SOUZA *et al.* (2008), um processo está fora de controle quando um ou mais pontos situarem-se fora dos limites, sob a configuração aleatória ou quando há configurações especiais com pontos dentro ou fora dos limites de controle.

WERKEMA (1995) entende que o processo está sob controle estatístico quando todos os pontos traçados no gráfico estão dentro dos dois limites de controle e se a disposição dos pontos é aleatória em torno da linha média (LM).

MILAN e FERNANDES (2002) utilizaram o controle estatístico de processo (CEP) em seu trabalho cujo objetivo foi verificar os efeitos do controle de qualidade aplicado a operações de preparo de solo para a cultura do milho. Os métodos estatísticos utilizados para ambas as operações foram os histogramas, as cartas de controle por variáveis e o teste T.

RUSSO (2002) utilizou dados de uma indústria têxtil do estado de Santa Catarina, onde aplicou os gráficos de controle convencionais de Shewart e verificou que, quando a gramatura da fita de ráfia estava fora das especificações, um a dois dias após, eram obtidos itens não conformes na fabricação do tecido. Assim, com o modelo estatístico desenvolvido, pode-se fornecer informações para que pessoas envolvidas, possam realmente alcançar a melhoria contínua no processo.

### **2.7.2 ÍNDICE DE CAPACIDADE DE PROCESSO**

O estudo da capacidade do processo reflete a aptidão que o processo tem de produzir de acordo com as especificações dos clientes. O índice de capacidade de processo (ICP) é um parâmetro adimensional que indiretamente mede o quanto o processo consegue atender às especificações, sendo que quanto maior o seu valor melhor o processo consegue atender às exigências (COSTA, EPPRESCHT; CARPINETTI, 2004).

LOPES (2009) descreve que quando  $C_p < 1$  a capacidade do processo é inadequada, sendo recomendada a realização do trabalho com um processo que seja mais adequado às especificações; se  $1 \leq C_p \leq 1,33$  a capacidade do processo está em torno da diferença, entre as especificações, Neste caso, é interessante a utilização de cartas de controle para manter o processo sob controle; e se  $C_p > 1,33$ , a capacidade do processo é adequada à tolerância exigida; se a capacidade do processo é menor que metade da tolerância, não é preciso tomar maiores cuidados com o processo. Pode-se dizer que o processo é excelente ou altamente confiável.

PEARN e LIN (2004) trabalharam com um índice da capacidade de processo utilizando dois índices e optaram pelo que apresentou melhores resultados. O índice de capacidade de processo escolhido para analisar uma indústria de manufatura representou várias medidas que obedeceram a critérios como rendimento, perdas, entre outros.

SOUZA *et al.* (2007a) utilizando dados de uma indústria de fundição, concluíram que com relação à qualidade da produção de blocos para motores de caminhão, a empresa trabalhava com um processo estável, porém, ficou evidenciada a presença de pequenas oscilações em torno da média, detectadas pelos gráficos de controle. No entanto, observou-se, pelo índice de capacidade de processo, que este era incapaz, pois o valor calculado ficou abaixo de 1. O autor conclui que o processo esteve na maior parte do tempo em controle, porém se mostrou incapaz, produzindo uma quantidade significativa de itens defeituosos.

RAFAELLI, VILAS BOAS e OPAZO-URIBE (2002) trabalharam com amostras de teor de proteína em uma fábrica de ração, aplicaram o controle de qualidade e o índice de capacidade de processo e conseguiram identificar os problemas que estavam ocorrendo, podendo atuar sobre as causas dos desvios, sendo que, neste estudo, objetiva-se que o controle estatístico de processo atue da mesma maneira.

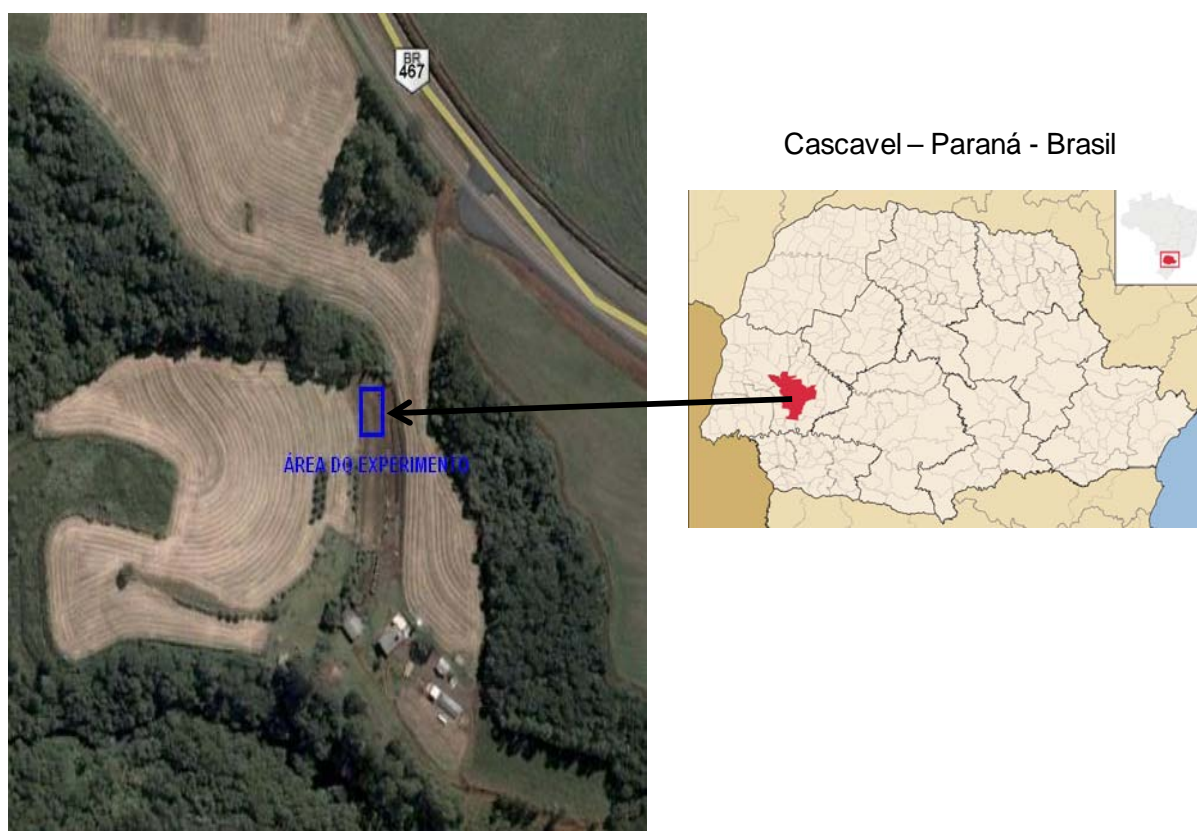
### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida em uma área plana levemente inclinada, localizada no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola (NEEA), pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), no município de Cascavel – PR, cujas coordenadas geográficas são: 24°54' latitude Sul e 53°31'57" longitude Oeste e altitude de 750 m.

Segundo a classificação climática feita por SILVA (2002), a região de Cascavel é caracterizada por temperaturas moderadas com chuvas bem distribuídas e verões quentes. Os meses de inverno apresentam uma probabilidade acentuada de ocorrências de geadas no período de junho a setembro. A média de temperatura nesse período é inferior a 16 °C, no mês mais quente as máximas superam 30 °C, com a média anual de precipitação pluvial de 2.011 mm. O solo da região é classificado em Latossolo Bruno Distrófico de textura argilosa (EMBRAPA, 1999).

Na Figura 1 é indicada a localização da área experimental e a região onde foi instalado o experimento.



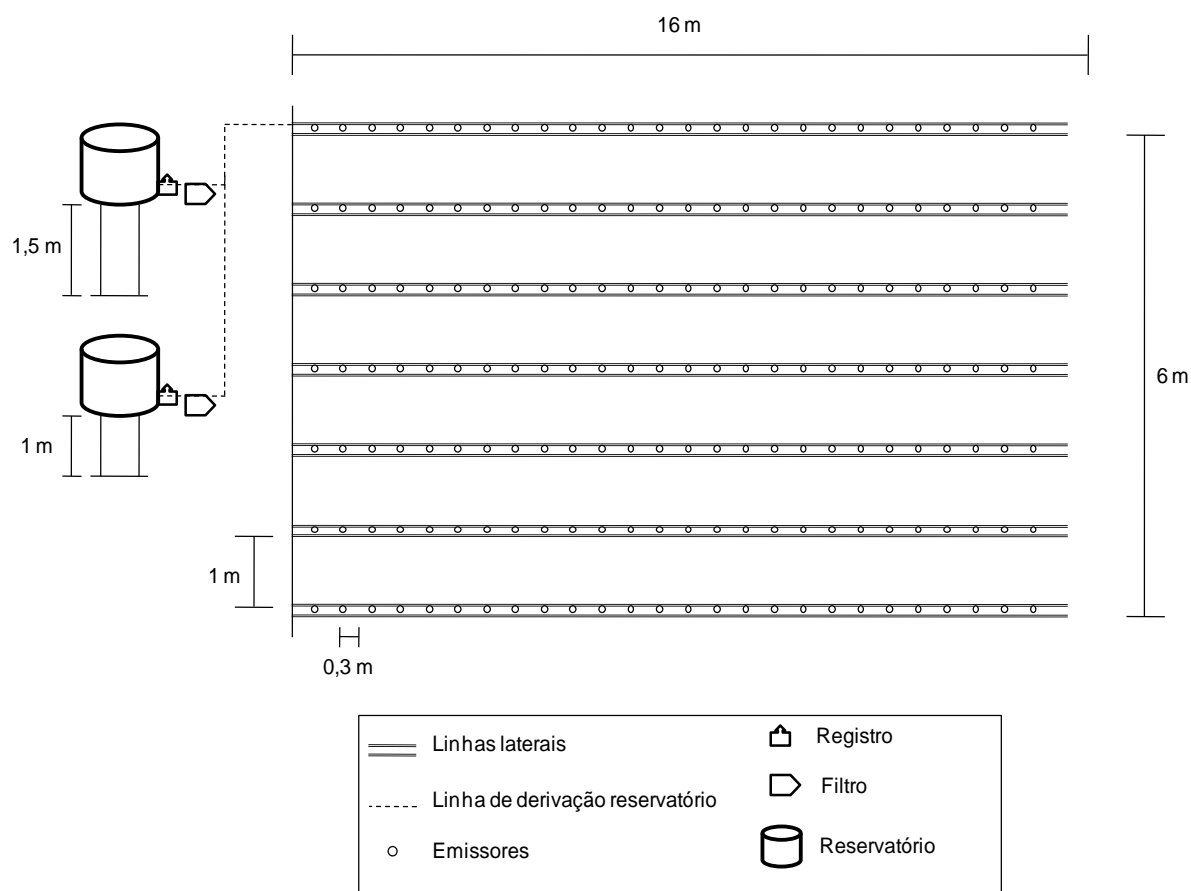
**Figura 1** Localização da área experimental.

### 3.2 IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO

O sistema de irrigação utilizado foi o Kit de Irrigação Familiar - KIF NET da Netafim, aplicado a uma área de 96 m<sup>2</sup> (6 x 16 m), constituído por um tubo gotejador Micro Drip com espaçamento de 0,3 m entre os gotejadores e vazão controlada de 0,65 L h<sup>-1</sup> a cada 0,3 m. A área possuía 7 linhas laterais em nível, proporcionando uma vazão total média de 240 L h<sup>-1</sup>. A linha de derivação para condução da água e efluente era constituída por um tubo PE 20 de 1,2 mm.

Além disso, outros acessórios acompanhavam o equipamento como: conectores, válvulas, registro para controle da pressão desejada e um filtro de tela plástica de 1" que foi instalado junto ao reservatório, visando a um pré-tratamento em termos de sólidos, objetivando a minimização de possíveis problemas de entupimento no sistema para que não houvesse comprometimento da qualidade da irrigação.

O sistema era composto de dois reservatórios de 500 L para o armazenamento da água e do efluente de processamento de mandioca, suspensos a duas alturas: 1,0 e 1,5 m, aplicadas em épocas diferentes. A Figura 2 ilustra o *layout* do sistema de irrigação por gotejamento.



**Figura 2** *Layout* do sistema de irrigação por gotejamento.

O tempo de operação do sistema foi de 6 ensaios para cada tratamento, com média de 1 h cada, com tempo de coleta de 5 min para cada ponto amostrado, mantendo-se as mesmas características de operação do sistema para todos os tratamentos. Nos tratamentos com carga hidráulica de 1,5 m foram realizados 25 ensaios, visando à aplicação do controle estatístico de processo para os coeficientes de variação de vazão (CVQ), de uniformidade de emissão (UE) e de uniformidade de Christiansen (CUC).

A pressão foi medida no início do sistema com um manômetro digital ITMPD-15 Instrutemp, Modelo 8215, com precisão de  $\pm 0,3\%$  à  $\pm 25$  °C, medida em triplicata a cada ensaio. Para a coleta da água proveniente dos gotejadores foram utilizados coletores plásticos e, posteriormente, a vazão era medida com uma proveta de 100 mL. A ordem de realização dos ensaios foi primeiramente a irrigação, seguida da fertigação com água residuária de processamento de mandioca, realizados no período de setembro a novembro de 2009.

### **3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA E DO EFLUENTE DE PROCESSAMENTO DE MANDIOCA**

A água utilizada nos ensaios de irrigação era oriunda da Companhia de Abastecimento do Paraná (Sanepar). Para caracterização desta água foram considerados os parâmetros de pH, condutividade elétrica (CE), sólidos dissolvidos (SD) e turbidez. Devido à utilização de uma água tratada não houve a necessidade do monitoramento dos sólidos suspensos (SS), já que este parâmetro está diretamente relacionado com a turbidez, que apresentou valores mínimos.

A água residuária de processamento de mandioca era proveniente de uma fecularia do município de Toledo – PR, onde primeiramente foram realizadas análises com o efluente bruto e o tratado no Laboratório de Reatores da UNIOESTE por meio de digestão anaeróbia para a redução da concentração de microrganismos e série de sólidos. Os parâmetros monitorados foram os mesmos utilizados para a água tratada, além do parâmetro de sólidos suspensos.

A Tabela 5 apresenta a caracterização físico-química prévia da água residuária de processamento de mandioca.

Considerando-se o risco de entupimento, a concentração de sólidos suspensos tanto na água residuária bruta quanto na tratada encontram-se muito acima do recomendado para aplicação na irrigação por gotejamento. Desta forma, para a realização dos ensaios de fertigação o efluente bruto foi diluído em água numa relação 1:50, possibilitando que a

concentração de sólidos suspensos permanecesse numa faixa considerada como de risco moderado de entupimento, ou seja, entre 50 e 100 mg. L<sup>-1</sup>.

**Tabela 5** Caracterização físico-química prévia da água residuária de processamento de mandioca

Características	Água residuária bruta	Água residuária tratada
pH	5,6	7,26
Condutividade elétrica (dS m <sup>-1</sup> )	1,26	1,56
Sólidos dissolvidos (mg. L <sup>-1</sup> )	807,68	998,40
Turbidez (UNT)	10.000	203
Sólidos suspensos (mg. L <sup>-1</sup> )	4.980	375,00

Na Tabela 6 encontra-se a caracterização físico-química após a diluição da água residuária de processamento de mandioca bruta.

**Tabela 6** Caracterização físico-química prévia da água residuária de processamento de mandioca bruta diluída

Características	Água residuária bruta diluída (1:50)
pH	5,7
Condutividade elétrica (dS m <sup>-1</sup> )	0,08
Sólidos dissolvidos (mg. L <sup>-1</sup> )	51,2
Turbidez (UNT)	148
Sólidos suspensos (mg. L <sup>-1</sup> )	99,60

Com relação ao pH este se encontrou numa faixa ideal para aplicação em sistemas de irrigação por gotejamento, pois foi inferior a 7,0. Os valores de condutividade elétrica e sólidos dissolvidos encontravam-se bem abaixo do mínimo recomendável para a ocorrência de problemas referentes ao entupimento dos emissores.

A avaliação da qualidade físico-química da água para irrigação e da água residuária, aplicada por fertigação, foi realizada pela coleta de amostras nos 16 pontos monitorados no sistema de irrigação por gotejamento, durante a realização dos primeiros seis ensaios de cada tratamento, visando à sua avaliação segundo os critérios descritos pela NBR ISO 9261 (ABNT, 2006), (NAKAYAMA; BUCKS, 1986), e pela Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005).

As amostras eram refrigeradas e conduzidas ao Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) – campus Cascavel, para realização das análises, utilizando os equipamentos de bancada: pHmêtro, condutímetro e turbidímetro.

O parâmetro sólidos dissolvidos foi determinado pela razão de proporcionalidade entre os valores de condutividade elétrica medida e este parâmetro (RIBEIRO *et al.*, 2005). A relação para determinação dos sólidos dissolvidos é dada pela Equação 1:

$$SD = CE \times 640 \quad (1)$$

em que:

SD – sólidos dissolvidos ( $\text{mg L}^{-1}$ );

CE – condutividade elétrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ).

### 3.4 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental foi um fatorial  $2 \times 2$ , em que o fator 1 corresponde à carga hidráulica (altura do reservatório) que foi de: 1,0 e 1,5 m. O fator 2 corresponde ao tipo de água aplicada: água para irrigação e água residuária de processamento de mandioca diluída, tendo como variáveis resposta a vazão ( $\text{L h}^{-1}$ ), o pH, a condutividade elétrica ( $\text{dS cm}^{-1}$ ), os sólidos dissolvidos ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e a turbidez (UNT), medido em cada gotejador amostrado. Os tratamentos ficaram assim constituídos:

- T1: água para irrigação com carga hidráulica de 1,0 m;
- T2: água para irrigação com carga hidráulica de 1,5 m;
- T3: fertigação com água residuária de mandioca diluída com carga hidráulica de 1,0 m;
- T4: fertigação com água residuária de mandioca diluída com carga hidráulica de 1,5 m.

Após a aplicação de todos os tratamentos e antes da análise de variância (ANOVA), foi realizada uma análise estatística por meio do programa MINITAB (versão 15) e do *software* livre SISVAR, para o cálculo das medidas de tendência central (média aritmética e mediana), das medidas de dispersão (valores máximo e mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação) e das medidas de assimetria e de curtose e equações de regressão em função da relação entre a vazão e a pressão fornecida pelo sistema.

Além disso, foi utilizada a análise de variância e teste Tukey de comparação de médias a 5% de significância para determinar o efeito e a interação de cada fator dentro do sistema, objetivando a posterior aplicação dos gráficos de controle (VIEIRA *et al.*, 2002).

### 3.5 ANÁLISE FATORIAL DOS DADOS

Na análise de variância com dois fatores, tem-se a níveis do fator A e b níveis do fator B, arranjados de forma que cada repetição do estudo contenha uma observação de todos os ab tratamentos.

Sendo  $Y_{ijk}$  a observação correspondente a  $k$ -ésima unidade experimental submetida ao  $i$ -ésimo nível do fator A e  $j$ -ésimo nível do fator B. Na Tabela 7 é apresentada a matriz de dados utilizada em estudos com dois fatores.

**Tabela 7** Estrutura básica de dados utilizada em estudos com dois fatores

Fator A	Fator B				Médias
	1	2	...	b	
1	$Y_{111}$	$Y_{121}$	...	$Y_{1b1}$	$\bar{Y}_{1..}$
	$Y_{112}$	$Y_{122}$	...	$Y_{1b2}$	
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
	$Y_{11r}$	$Y_{12r}$	...	$Y_{1br}$	
2	$Y_{211}$	$Y_{221}$	...	$Y_{2b1}$	$\bar{Y}_{2..}$
	$Y_{212}$	$Y_{222}$	...	$Y_{2b2}$	
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
	$Y_{21r}$	$Y_{22r}$	...	$Y_{2br}$	
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
A	$Y_{a11}$	$Y_{a21}$	...	$Y_{ab1}$	$\bar{Y}_{a..}$
	$Y_{a12}$	$Y_{a22}$	...	$Y_{ab2}$	
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
	$Y_{a1r}$	$Y_{a2r}$	...	$Y_{abr}$	
Médias	$\bar{Y}_{.1.}$	$\bar{Y}_{.2.}$	...	$\bar{Y}_{.b.}$	$\bar{Y}_{...}$

O modelo associado a este experimento é da forma:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + e_{ijk}, \quad (2)$$

em que:

$\alpha_i$  – é o efeito do  $i$ -ésimo nível do fator A;

$\beta_j$  - é o efeito do  $j$ -ésimo nível do fator B;

$\alpha\beta_{ij}$  – é o efeito de interação entre o  $i$ -ésimo nível do fator A e o  $j$ -ésimo nível do fator B.

As hipóteses de interesse a serem testadas são:

a)  $H_{01} : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_a = 0$ , não existe efeito do fator A

*versus*

$H_{11} : \text{pelo menos um } \alpha_i \text{ é diferente de zero.}$

b)  $H_{02} : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$ , não existe efeito do fator B

*versus*

$H_{12} : \text{pelo menos um } \beta_j \text{ é diferente de zero.}$

c)  $H_{03} : \alpha\beta_{11} = \alpha\beta_{12} = \dots = \alpha\beta_{ab} = 0$ , não existe interação



versus

$H_{13}$  : pelo menos um  $\alpha\beta_{ij}$  é diferente de zero.

Para testar as hipóteses descritas foi utilizada a Análise de Variância (ANOVA), descrita na Tabela 8.

**Tabela 8** Estrutura da tabela de análise de variância

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p-valor
Fator A	a - 1	SQA	QMA	$F_{01}$	$p_1$
Fator B	b - 1	SQB	QMB	$F_{02}$	$p_2$
Interação AB	(a - 1)(b - 1)	SQAB	QMAB	$F_{03}$	$p_3$
Erro	ab(r - 1)	SQR	QMR		
Total	abr - 1	SQT			

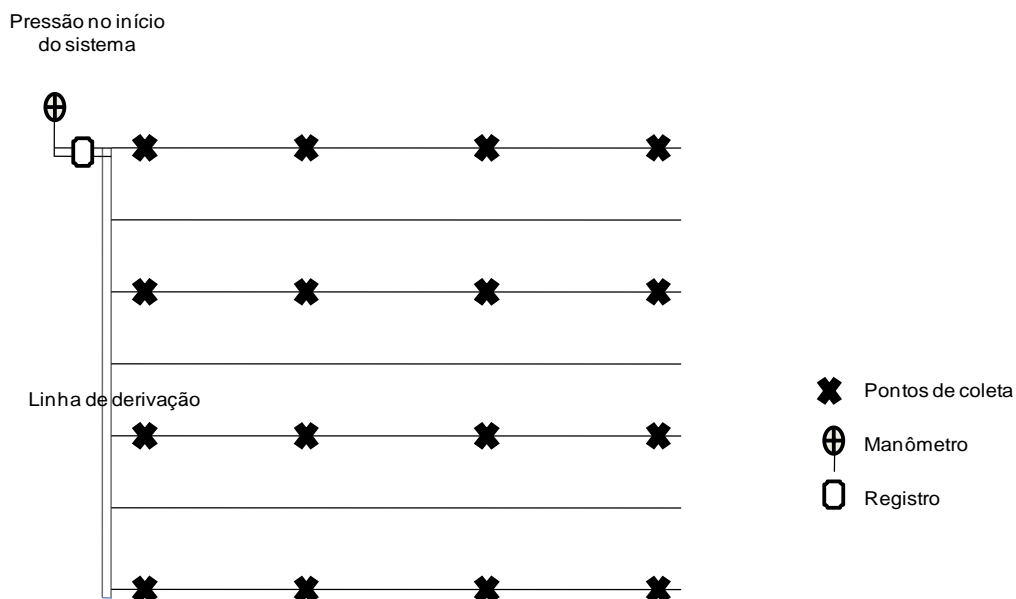
Nota: Se os valores de F foram maiores que  $F_c$  (ponto crítico segundo a distribuição F-Snedecor), rejeitou-se  $H_0$ .

Quando a análise de variância indicou que os efeitos dos fatores considerados no estudo foram significativos, foi aplicado o teste Tukey, a 5% de significância para analisar a natureza dos efeitos.

### 3.6 AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

#### 3.6.1 UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA

A avaliação do sistema de irrigação consistiu na coleta das vazões aplicadas, considerando-se neste estudo a metodologia proposta por KELLER e KARMELI (1975), em que foram coletadas as vazões em quatro emissores ao longo da linha lateral, da seguinte maneira: o primeiro gotejador, o segundo situado a 1/3; o terceiro a 2/3 do comprimento da linha; e o último gotejador. Foram utilizadas as 1°, 3°, 5° e 7° linhas dentro do sistema, resultando num total de 16 valores de lâmina, como é demonstrado na Figura 3.



**Figura 3** Metodologia utilizada para a coleta de vazões para o teste de uniformidade na irrigação localizada.

Os critérios utilizados, para avaliar o entupimento do emissor e o sistema de irrigação por gotejamento neste estudo, seguiram o proposto por LIU e HUANG (2009) que são: a média da vazão ( $\bar{q}$ ) do emissor, a relação de vazão do emissor ( $R$ ), a redução da vazão ( $q_{redução}$ ) em porcentagem, o coeficiente de variação de vazão (CVQ) do emissor na linha lateral, a uniformidade de emissão (UE) e o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).

A relação de vazão do emissor ( $R$ ) foi calculada pela Equação 3.

$$R = \frac{\bar{q}}{\bar{q}_{ini}} \quad (3)$$

em que:

$\bar{q}$  e  $\bar{q}_{ini}$  - vazão média dos emissores em cada lateral em cada medição e a vazão média correspondente de 16 novos emissores na mesma pressão de operação.

A redução da vazão média em porcentagem ( $q_{redução}$ ) é dada pela Equação 4.

$$q_{redução} = 100 \left( \frac{\bar{q}_{ini} - \bar{q}}{\bar{q}_{ini}} \right) = 100(1 - R) \quad (4)$$

O coeficiente de variação da vazão (CVQ) de emissão na lateral foi calculado, segundo BRALTS e KESNER (1983), por meio da Equação 5.

$$CVQ = 100 \frac{DV}{\bar{q}} \quad (5)$$

em que:

DV - desvio padrão da média das vazões dos gotejadores, L h<sup>-1</sup>.

O CVQ da Equação 5 inclui a variação da vazão dos emissores devido a todas as possíveis causas, como efeitos da tubulação, características hidráulicas dos emissores e da obstrução parcial ou total destes.

A uniformidade de emissão foi calculada, de acordo com KELLER e KARMELI (1974), pela Equação 6.

$$UE = 100 \left( \frac{q_{\min 1/4}}{\bar{q}} \right) \quad (6)$$

em que:

$q_{\min 1/4}$  - vazão média dos 25% menores valores, L h<sup>-1</sup>;

$\bar{q}$  - vazão média na lateral em L h<sup>-1</sup>.

O coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) proposto por CHRISTIANSEN (1942) é um dos mais utilizados, em que este adota o desvio médio absoluto como medida de dispersão, como pode se observar na Equação 7.

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - \bar{q}|}{N \bar{q}} \right) \quad (7)$$

em que:

CUC – coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

$q_i$  – vazão coletada no ponto i, mm;

$\bar{q}$  - vazão média, mm;

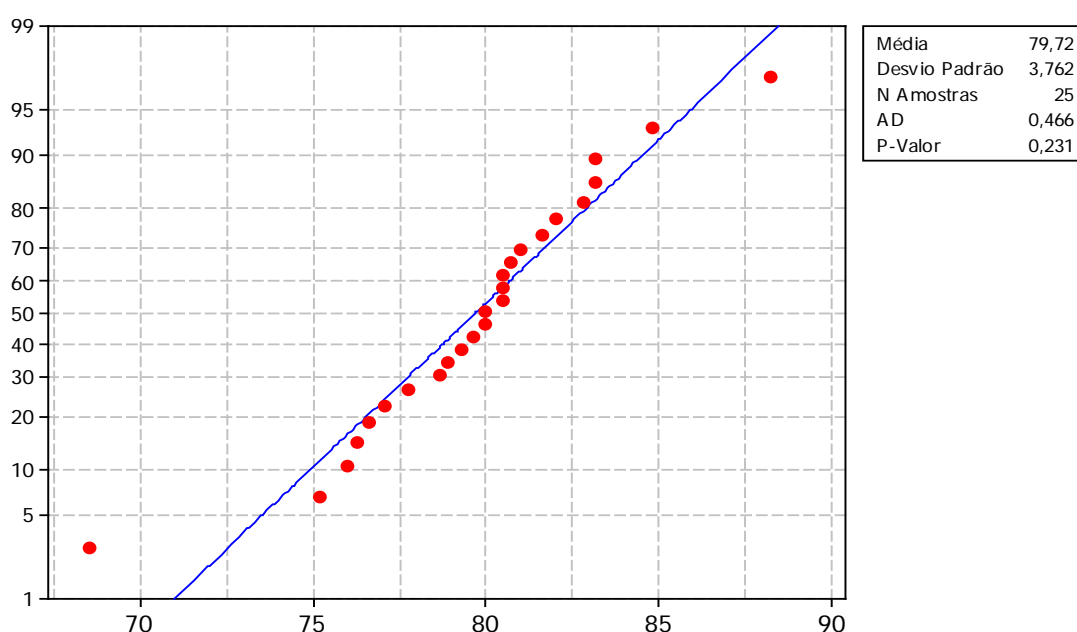
$N$  – número de coletores.

Os índices UE e CUC assumem diferentes significados. O UE mostra a condição de menor vazão do emissor quando comparado com a vazão média, enquanto que o CUC representa o desvio da vazão a partir do valor da média.

### 3.6.2 TESTE DE NORMALIDADE

Para a aplicação das ferramentas fornecidas pelo controle estatístico de processo, houve a necessidade de que os dados apresentassem distribuição normal, que foi observada por meio do teste de Anderson-Darling, Ryan-Joiner e Kolmogorov-Smirnov, determinados por meio do programa MINITAB (versão 15). Quando os dados apresentaram distribuição não normal, foi utilizada a transformação do tipo box-cox.

A Figura 4 apresenta o modelo de gráfico utilizado para o teste da normalidade nos tratamentos com carga hidráulica de 1,5 m, definida quando o p-valor é maior do que 0,05.



**Figura 4** Exemplo de gráfico de normalidade aplicado nos tratamentos com carga hidráulica de 1,5 m.

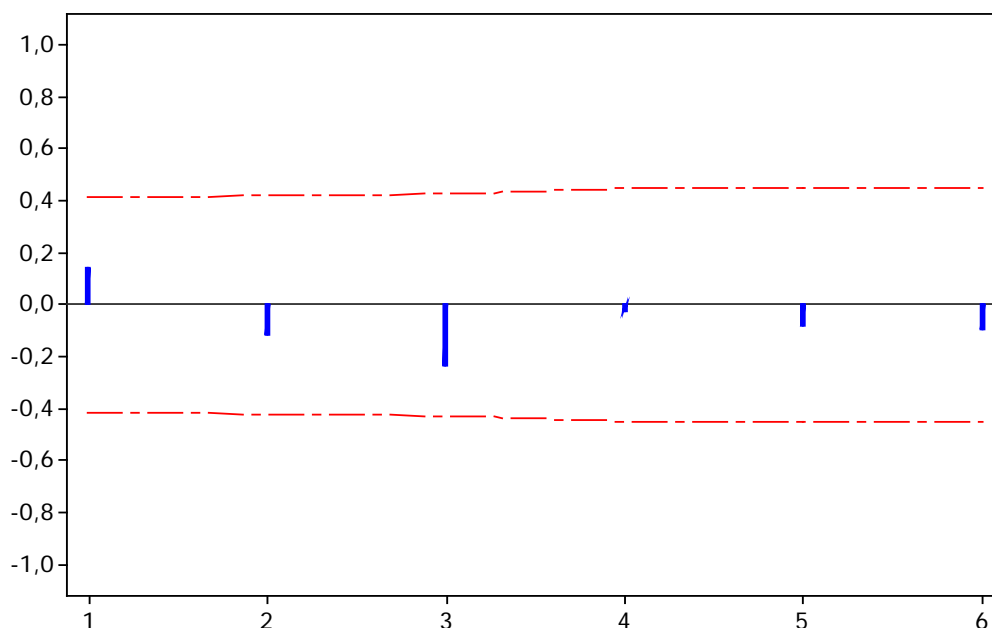
### 3.6.3 ESTUDO DA AUTOCORRELAÇÃO

Os dados utilizados deviam possuir independência entre si, para que pudessem ser aplicados nos gráficos de controle, havendo portanto a necessidade do estudo da autocorrelação entre eles. A existência de autocorrelação proporciona o comprometimento do desempenho da técnica, porquanto pode vir a confundir as causas especiais com as comuns do processo.

No entanto, COSTA, EPPRESCHT e CARPINETTI (2004) não descrevem a impossibilidade de aplicação dos gráficos de controle, mesmo que os dados apresentem autocorrelação, os autores somente alertam para o fato da ocorrência de enganos diante

dos resultados por eles apresentados. O estudo se deu por meio da aplicação do gráfico de autocorrelação constituído no programa MINITAB (versão 15), demonstrado na Figura 5.

As linhas tracejadas em vermelho representam os limites equivalentes a dois desvios padrão e, quando os mesmos são excedidos pelas linhas azuis que correspondem às amostras coletadas, significa que os dados apresentam autocorrelação (MONTGOMERY, 2001).

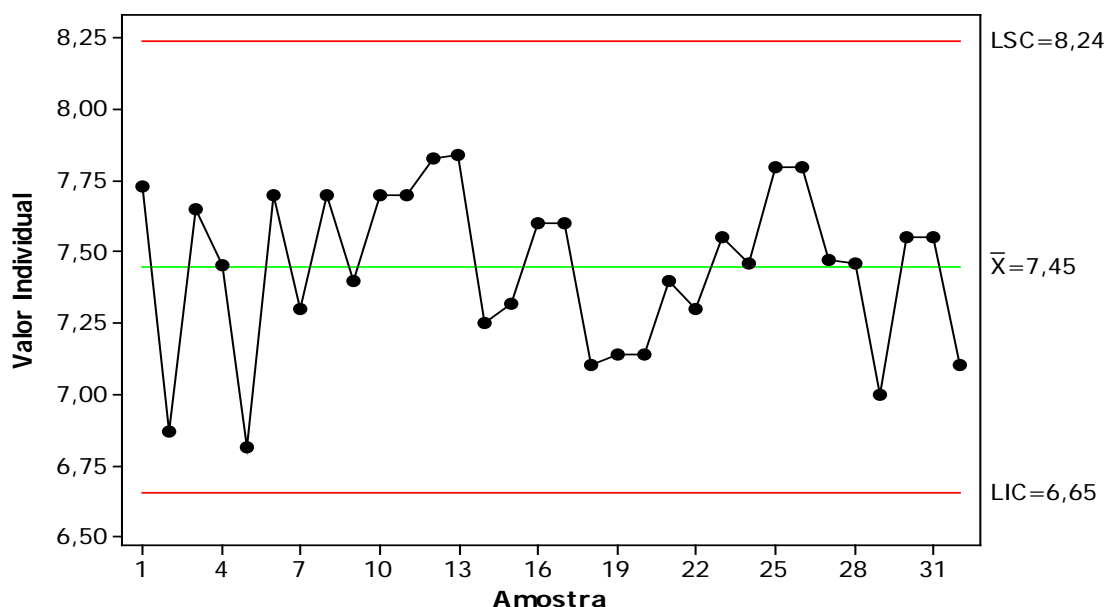


**Figura 5** Exemplo de gráfico de autocorrelação aplicado nos tratamentos com carga hidráulica de 1,5 m.

### 3.6.4 GRÁFICOS DE CONTROLE

O gráfico de controle utilizado neste estudo foi o gráfico de controle de Shewhart para medidas individuais, sendo que este foi realizado por meio do programa MINITAB (versão 15). A Figura 6 apresenta o gráfico de controle aplicado no presente estudo.

O gráfico de controle para as observações individuais tem a finalidade de observar a existência de pontos fora de controle, ou seja, que estão fora dos limites e também avaliar a ocorrência de configurações indesejáveis como tendências, pontos muito próximo dos limites ou da linha média. Na Figura 6, observa-se que o processo está sob controle estatístico em relação à média e a variabilidade, pois não apresenta pontos fora do controle e nenhuma configuração não aleatória em torno da linha média (WERKEMA, 1995).



**Figura 6** Exemplo de gráfico de controle Shewart para as observações individuais aplicado nos tratamentos com carga hidráulica de 1,5 m.

Este gráfico foi utilizado para o monitoramento dos coeficientes de variação de vazão (CVQ), uniformidade de emissão (UE) e uniformidade de Christiansen (CUC) no tempo (ensaios).

### 3.6.5 ÍNDICE DE CAPACIDADE DE PROCESSO

Para a utilização do índice de capacidade de processo (Cpk), WERKEMA (1995) descreve a necessidade de que o processo esteja sob controle estatístico, que a variável de interesse tenha distribuição próxima da normal e que as amostras não apresentem autocorrelação, sendo que estas duas condições foram testadas por meio do programa MINITAB (versão 15). O processo encontrando-se estável aplica-se o Cpk e o que é definido por meio das equações 8 e 9.

$$Cpk = \frac{LSC - \mu}{3\sigma} \quad (8)$$

$$Cpk = \frac{\mu - LIC}{3\sigma} \quad (9)$$

em que:

$\mu$  – média;

$LSC$  – limite superior de controle e;

*LIC* – limite inferior de controle.

O índice referente à Eq. 8 considera apenas a existência do limite superior de especificação, que foi aplicado para o coeficiente de variação de vazão e a Eq. 9 considera a existência do limite inferior de especificação, utilizado no coeficiente de uniformidade de emissão e de uniformidade de Christiansen, já que estes possuem apenas um limite mínimo de especificação.

O LSC e o LIC podem ser determinados estatisticamente, a partir da média e do desvio padrão das amostras, é função da variabilidade do processo, de acordo com as equações 10 e 11.

$$LSC = \mu + K\sigma \quad (10)$$

$$LIC = \mu - K\sigma \quad (11)$$

em que:

$\mu$  - média;

$K$  – é uma constante positiva; usa-se normalmente o valor 3 e têm-se os limites a 3 desvios padrão;

$\sigma$  - desvio padrão.

A classificação do processo procedeu da seguinte forma, segundo LOPES (2009): se o valor de  $Cpk \geq 1,33$  o processo era capaz ou adequado; se  $1 \leq Cpk < 1,33$  o processo era aceitável; se  $Cpk < 1$  o processo era incapaz ou inadequado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Os dados referentes a cada ensaio foram calculados considerando-se os 16 pontos de amostragem dentro do sistema de irrigação por gotejamento, sendo então determinada a média referente a cada ensaio, e estes valores foram utilizados na análise estatística descritiva dos tratamentos aplicados, em que foram considerados os parâmetros de vazão, pH, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos e turbidez.

A Tabela 9 apresenta a análise estatística descritiva referente à vazão ( $L h^{-1}$ ) para os tratamentos aplicados.

**Tabela 9** - Estatística descritiva dos tratamentos para a variável vazão

Tratamento	Nº amostras	Média	Desvio Padrão	CV (%)	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
Irrigação 1,0 m	6	0,552	0,051	9,28	0,495	0,609	0,04	-2,90
Irrigação 1,5 m	6	0,644	0,022	3,37	0,620	0,673	0,63	-1,63
Fertigação 1,0 m	6	0,520	0,029	5,67	0,492	0,560	0,37	-2,13
Fertigação 1,5 m	6	0,559	0,049	8,88	0,510	0,642	0,96	0,48

Nota: CV = coeficiente de variação.

Observa-se que os tratamentos que aplicaram uma carga hidráulica de 1,5 m apresentaram médias de vazão mais elevadas em relação aos demais. O desvio padrão em todos os tratamentos demonstrou um comportamento semelhante, com pouca variabilidade, o que pode ser comprovado pelos valores de CV que se encontram abaixo de 10%, indicando dados homogêneos (PIMENTEL GOMES, 2000).

Quanto à assimetria, em todos os tratamentos os valores ficaram próximos de zero, indicando, segundo SILVA *et al.* (2007), simetria da distribuição. Com relação à média e mediana, quando a distribuição for simétrica seus valores serão coincidentes ou próximos, o que pode ser verificado na Tabela 9. Pelo valor da medida de assimetria, percebe-se que, se o valor for negativo, a distribuição está desviada para a esquerda e caso o valor seja positivo, está desviada para a direita. Uma distribuição razoavelmente simétrica tem coeficiente de assimetria variando entre  $-1$  e  $+1$ . Pode-se verificar que os dados encontram-se na faixa descrita anteriormente e todos estão desviados para a direita.

A Tabela 10 apresenta a análise de variância para a vazão em função dos diferentes tratamentos aplicados.



**Tabela 10** Resumo da análise de variância para a obtenção dos valores de F da vazão em função dos tratamentos de irrigação e fertigação aplicados

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Decisão
Carga hidráulica	1	0.023625	0.023625	14.796	*
Tipo de água	1	0.022878	0.022878	14.328	*
Carga hidráulica*Tipo de água	1	0.005251	0.005251	3.288	ns
erro	20	0.001597			
Total corrigido	23	0.083691			
Coeficiente de variação (%)	7,05				
Média geral	0,567	Número de Observações: 24			

Notas: \* indica que o valor de F é significativo e "ns" que o valor de F não é significativo ao nível de 5% de significância. Fc é o ponto crítico segundo a distribuição F-Snedecor.

Por meio dos resultados apresentados na Tabela 10 foi possível verificar, com 95% de confiança, que a carga hidráulica e o tipo de água aplicada afetaram a vazão durante o processo de irrigação e fertigação. A interação entre os dois fatores apresentou p-valor de 0,0848, não tendo influência significativa, pois o p-valor foi superior a 0,05. O coeficiente de variação foi classificado como baixo, uma vez que foi inferior a 10%, representando dados homogêneos (PIMENTEL GOMES, 2000). Portanto, houve a necessidade de realização do teste de Tukey para comparação das médias do Fator A (carga hidráulica) e do fator B (tipo de água), demonstrado na Tabela 11.

**Tabela 11** Teste de Tukey para a comparação de médias do Fator Carga hidráulica e do Fator Tipo de água

Carga Hidráulica	Fator A		Fator B		
	Média	Resultado	Tipo de água	Média	Resultado
1,0	0,538	a	Água tratada	0,598	a
1,5	0,598	b	Água residuária diluída	0,536	b

As letras distintas correspondem a duas cargas hidráulicas ou tipos de água com a característica de vazão diferente, a 5% de significância, sendo que, assim, verificou-se que ambos os fatores apresentam médias diferentes entre si, influenciando de maneira significativa nos dados de vazão, ou seja, tanto a qualidade da água aplicada quanto a carga hidráulica utilizada influenciaram nos resultados, já seus valores foram bem diferentes entre si e a média de todos os tratamentos encontrou-se abaixo do valor de 0,65 L h<sup>-1</sup>, indicado pelo fabricante.

A Tabela 12 apresenta a análise estatística descritiva referente ao pH para os tratamentos aplicados.

**Tabela 12** Estatística descritiva dos tratamentos para a variável pH

Tratamento	Nº amostras	Média	Desvio Padrão	CV (%)	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
Irrigação 1,0 m	6	7,15	0,117	1,64	7,02	7,32	0,28	-1,12
Irrigação 1,5 m	6	7,07	0,222	3,14	6,67	7,32	-1,28	2,29
Fertigação 1,0 m	6	5,41	0,137	2,53	5,22	5,62	0,31	0,42
Fertigação 1,5 m	6	5,58	0,075	1,35	5,45	5,68	-0,64	1,99

Nota: CV = coeficiente de variação.

Observou-se uma diferença nas médias de pH em função do tipo de água aplicada, porquanto a água residuária de processamento de mandioca proporcionou valores de pH inferiores, em relação à água utilizada na irrigação. O desvio padrão apresentou valores semelhantes exceto para o tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m que esteve um pouco mais elevado em relação aos demais e, conseqüentemente, seu CV apresentou o mesmo comportamento. Todos foram classificados como baixos, uma vez que foram inferiores a 10%, representando dados homogêneos (PIMENTEL GOMES, 2000).

Os dados de assimetria ficaram próximos de zero, exceto no tratamento 2 que não se encontra na faixa entre -1 e +1 o que indica uma distribuição simétrica. Os tratamentos com carga hidráulica de 1,5 m possuem uma distribuição desviada para a esquerda, pois seus dados foram negativos. A média e mediana obtiveram resultados próximos, sendo que no tratamento 4 os valores foram iguais.

A Tabela 13 apresenta a análise de variância para o pH em função dos diferentes tratamentos aplicados.

**Tabela 13** Resumo da análise de variância para a obtenção dos valores de F de pH em função dos tratamentos de irrigação e fertigação aplicados

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Decisão
Carga hidráulica	1	0.011704	0.011704	0.536	ns
Tipo de água	1	15.697838	15.697838	718.738	*
Carga hidráulica*Tipo de água	1	0.092504	0.092504	4.235	ns
erro	20	0.436817	0.021841		
Total corrigido	23	33.645783			
Coeficiente de variação (%)	2,06				
Média geral	6,30	Número de Observações: 24			

Notas: \* indica que o valor de F é significativo e "ns" que o valor de F não é significativo ao nível de 5% de significância. Fc é o ponto crítico segundo a distribuição F-Snedecor.

Verifica-se pela Tabela 13 que o valor de F foi significativo apenas para o fator tipo de água, ao nível de 5% de significância. O coeficiente de variação indicou homogeneidade dos dados e foi classificado como baixo, uma vez que foi menor que 10% (PIMENTEL GOMES, 2000). Na Tabela 14 é apresentado o teste de comparação de médias Tukey para o fator B.

**Tabela 14** Teste de Tukey para a comparação de médias do fator tipo de água

Tipo de Água	Fator Tipo de água	
	Média	Resultado
Água tratada	7,11	a
Água residuária diluída	5,49	b

As letras minúsculas diferentes correspondem a dois tipos de água com característica do parâmetro pH diferentes a 5% de significância, ou seja, apresentam médias diferentes entre si, influenciando de maneira significativa nos dados de pH, pois os valores nos diferentes tratamentos eram bem distintos entre si, sendo que alguns dados de pH nos ensaios de irrigação apresentaram valores superiores a 8,0, indicando um risco severo ao entupimento, enquanto que no geral os dados na fertigação proporcionaram um baixo risco, pois estavam abaixo de 7,0 (NAKAYAMA; BUCKS, 1986).

A Tabela 15 apresenta a análise estatística descritiva referente à condutividade elétrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ) para os tratamentos aplicados.

**Tabela 15** Estatística descritiva dos tratamentos para a variável condutividade elétrica

Tratamento	Nº amostras	Média	Desvio Padrão	CV (%)	Mínimo	Máximo	Simetria	Curtose
Irrigação 1,0 m	6	0,066	0,005	7,90	0,058	0,072	-0,48	-0,82
Irrigação 1,5 m	6	0,064	0,001	1,87	0,062	0,065	0,14	-1,89
Fertigação 1,0 m	6	0,119	0,002	2,16	0,115	0,122	-0,97	0,39
Fertigação 1,5 m	6	0,123	0,003	2,41	0,117	0,125	-1,58	2,94

Nota: CV = coeficiente de variação.

Observa-se que as médias dos tratamentos apresentaram valores semelhantes quando foi utilizado o mesmo tipo de água e o desvio padrão indicou pouca variabilidade, pois todos os CV indicam homogeneidade entre os dados, pois foram menores que 10% (PIMENTEL GOMES, 2000).

A assimetria obteve dados próximos de zero, porém, no tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,5 m, os valores ficaram acima do considerado para que a distribuição seja simétrica e os demais tratamentos indicaram uma tendência para a esquerda, pois seus valores foram negativos. Os valores de média e mediana foram muito semelhantes, reforçando a simetria entre os dados.

A Tabela 16 apresenta a análise de variância para a condutividade elétrica em função dos diferentes tratamentos aplicados.

Verifica-se que o valor de F foi significativo somente para o Fator B: Tipo de água, ao nível de 5% de significância. O coeficiente de variação indicou heterogeneidade dos dados e foi classificado como média, uma vez que foi um pouco maior que 10% (PIMENTEL GOMES, 2000).

**Tabela 16** Resumo da análise de variância para a obtenção dos valores de F de condutividade elétrica em função dos tratamentos de irrigação e fertigação aplicados

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Decisão
Carga hidráulica	1	0.000083	0.000083	0.697	ns
Tipo de água	1	0.015996	0.015996	134.520	*
Carga hidráulica*Tipo de água	1	0.000027	0.000027	0.226	ns
erro	20	0.002378	0.000119		
Total corrigido	23				
Coeficiente de variação (%)	12,04				
Média geral	0,091	Número de Observações: 24			

Notas: \* indica que o valor de F é significativo e "ns" que o valor de F não é significativo ao nível de 5% de significância. Fc é o ponto crítico segundo a distribuição F-Snedecor.

Assim como para a variável pH, foi realizado o teste de Tukey para comparação de médias demonstrado na Tabela 17, considerando-se apenas o fator Tipo de água, pois este foi significativo, já que seu p-valor foi inferior a 0,05.

**Tabela 17** Teste de Tukey para a comparação de médias do fator tipo de água

Fator Tipo de água		
Tipo de Água	Média	Resultado
Água tratada	0,065	a
Água residuária diluída	0,116	b

As letras minúsculas diferentes correspondem a dois tipos de água com característica do parâmetro de condutividade elétrica diferentes a 5% de significância, ou seja, as médias foram distintas, afetando de forma significativa os dados, porém, todos os dados foram classificados como de baixo risco ao entupimento, pois se encontravam abaixo de  $0,7 \text{ dS m}^{-1}$  (NAKAYAMA; BUCKS, 1986).

A Tabela 18 apresenta a análise estatística descritiva referente os sólidos dissolvidos ( $\text{mg. L}^{-1}$ ) para os tratamentos aplicados.

**Tabela 18** Estatística descritiva dos tratamentos para a variável sólidos dissolvidos

Tratamento	Nº amostras	Média	Desvio Padrão	CV (%)	Mínimo	Máximo	Simetria	Curtose
Irrigação 1,0 m	6	42,64	2,271	5,33	40,13	46,03	0,54	-1,19
Irrigação 1,5 m	6	40,95	0,758	1,85	39,99	41,85	0,11	-1,80
Fertigação 1,0 m	6	76,46	1,633	2,14	73,60	77,92	-1,20	1,15
Fertigação 1,5 m	6	78,72	2,780	3,53	74,86	82,02	-0,20	-1,34

Nota: CV = coeficiente de variação.

Analisando-se os dados dispostos na Tabela 18, verifica-se que as médias dos tratamentos com aplicação de águas distintas resultaram em valores bem diferentes e os

desvios padrão dos tratamentos de irrigação com carga hidráulica de 1,0 m e fertigação com carga hidráulica de 1,5 m são superiores aos demais e, conseqüentemente, apresentaram CV mais altos, porém, ainda indicando homogeneidade, já que todos se encontram abaixo de 10% (PIMENTEL GOMES, 2000).

Em geral, nos tratamentos os valores de assimetria ficaram próximos de zero e na faixa -1 +1, menos para o tratamento de fertigação de 1,0 m que obteve um valor acima do recomendado para que a distribuição seja simétrica, além deste juntamente com o valor referente ao tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,5 m possuírem um desvio para a esquerda pois foram negativos. Com relação à média e mediana, quando a distribuição for simétrica seus valores devem ser coincidentes ou próximos, o que pode ser identificado em todos os quatro tratamentos.

A Tabela 19 apresenta a análise de variância para os sólidos dissolvidos em função dos diferentes tratamentos aplicados.

**Tabela 19** Resumo da análise de variância para a obtenção dos valores de F de sólidos dissolvidos em função dos tratamentos de irrigação e fertigação aplicados

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Decisão
Carga hidráulica	1	0.495938	0.495938	0.123	ns
Tipo de água	1	7686.618337	7686.618337	1908.724	*
Carga hidráulica*Tipo de água	1	23.344537	23.344537	5.797	ns
erro	20	80.541950	4.027098		
Total corrigido	23				
Coeficiente de variação (%)	3,36				
Média geral	59,69	Número de Observações: 24			

Notas: \* indica que o valor de F é significativo e "ns" que o valor de F não é significativo ao nível de 5% de significância. Fc é o ponto crítico segundo a distribuição F-Snedecor.

Observa-se que o valor de F foi significativo apenas para o Fator B: Tipo de água, a 5% de significância. O coeficiente de variação apresentou-se inferior a 10%, indicando homogeneidade entre os dados (PIMENTEL GOMES, 2000).

Na Tabela 20 é demonstrado o teste de Tukey para comparação de média para o fator tipo de água que apresentou interação significativa.

**Tabela 20** Teste de Tukey para a comparação de médias do fator tipo de água

Tipo de Água	Fator Tipo de água	
	Média	Resultado
Água tratada	41,80	a
Água residuária diluída	77,59	b

As letras minúsculas diferentes correspondem a dois tipos de água com característica de sólidos dissolvidos diferentes a 5% de significância, ou seja, as médias foram distintas, afetando de forma significativa os dados. Assim como para a condutividade

elétrica, os sólidos dissolvidos também obtiveram dados que indicam um baixo risco de entupimento, pois todos foram inferiores a 500 mg. L<sup>-1</sup> (NAKAYAMA; BUCKS, 1986).

A Tabela 21 apresenta a análise estatística descritiva referente à turbidez (UNT) para os tratamentos aplicados.

**Tabela 21** Estatística descritiva dos tratamentos para a variável turbidez

Tratamento	Nº amostras	Média	Desvio Padrão	CV (%)	Mínimo	Máximo	Simetria	Curtose
Irrigação 1,0 m	6	1,047	0,273	26,12	0,861	1,59	2,16	4,91
Irrigação 1,5 m	6	0,806	0,205	25,50	0,47	1,074	-0,61	0,88
Fertigação 1,0 m	6	71,58	14,09	19,69	47,16	87,90	-1,09	1,40
Fertigação 1,5 m	6	76,60	13,81	18,03	56,71	91,81	-0,57	-1,36

Nota: CV = coeficiente de variação.

Em relação às médias dos tratamentos demonstradas, observa-se uma diferença grande entre os valores dos tratamentos de irrigação comparados aos de fertigação, haja vista a própria característica da água residuária de processamento de mandioca diluída aplicada. Os desvios padrão apresentaram valores altos em relação ao observados nos demais parâmetros monitorados e desta maneira os CV também foram superiores, e todos obtiveram valores superiores a 10% indicando heterogeneidade (PIMENTEL GOMES, 2000).

Para a assimetria, os tratamentos com carga hidráulica de 1,0 m demonstram valores fora do limite de -1 +1, que é característico para que a distribuição seja considerada simétrica e os 3 últimos tratamentos possuem uma inclinação para a esquerda, pois foram negativos. A média e mediana nos tratamentos de fertigação foram bem diferentes entre si.

Na Tabela 22 é demonstrada a análise de variância para a turbidez em função dos diferentes tratamentos aplicados.

**Tabela 22** Resumo da análise de variância para a obtenção dos valores de F de turbidez em função dos tratamentos de irrigação e fertigação aplicados

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Decisão
Carga hidráulica	1	34.380234	34.380234	0.353	ns
Tipo de água	1	32116.58160	32116.5816	329.829	*
Carga hidráulica*Tipo de água	1	41.646176	41.646176	0.428	ns
erro	20	1947.466580	97.373329		
Total corrigido	23				
Coeficiente de variação (%)	26,31				
Média geral	37,508	Número de Observações: 24			

Notas: \* indica que o valor de F é significativo e "ns" que o valor de F não é significativo ao nível de 5% de significância. Fc é o ponto crítico segundo a distribuição F-Snedecor.

Analisando-se os dados da Tabela 22, verifica-se que o valor de F foi significativo apenas para o fator tipo de água, a 5% de significância. O coeficiente de variação apresentou-se superior a 10%, indicando dados não homogêneos (PIMENTEL GOMES, 2000). Na Tabela 23 é apresentado o resultado do teste de comparação de médias da turbidez, considerando-se o fator tipo de água.

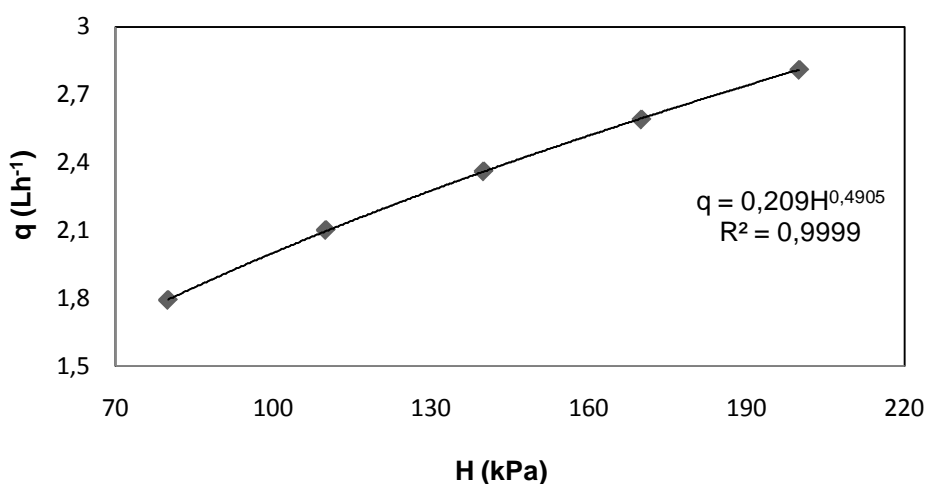
**Tabela 23** Teste de Tukey para a comparação de médias do fator tipo de água

Tipo de Água	Fator Tipo de água	
	Média	Resultado
Água tratada	0,926	a
Água residuária diluída	74,089	b

As letras minúsculas diferentes correspondem a dois tipos de água com características de turbidez diferentes, a 5% de significância, sendo que assim se verificou que estes apresentam médias diferentes entre si, influenciando de maneira significativa os dados de turbidez. NAKAYAMA e BUCKS (1986) não apresentam os níveis de risco ao entupimento para este parâmetro, sendo que foi utilizado como referência o valor máximo de 100 UNT, descrito pela Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) e todos os dados encontravam-se abaixo deste.

## 4.2 RELAÇÃO ENTRE VAZÃO E PRESSÃO

Na Figura 7 observa-se a curva vazão *versus* pressão fornecida pelo fabricante para o tubo gotejador Microdrip novo utilizado no experimento.



**Figura 7** Representação gráfica da equação característica de vazão-pressão do tubo gotejador Microdrip novo utilizado no experimento.

Por análise de regressão, foi determinada a relação vazão-pressão que apresenta a equação  $q = 0,209 H^{0,49}$ , com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,9999, com valor de expoente de descarga ( $x$ ) de 0,49. PLETSCH *et al.* (2009) em seu experimento com tubo gotejador da marca Netafim, modelo Tiran 17, obtiveram a equação  $q = 0,2417 H^{0,47}$ , com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,9952 e expoente de descarga ( $x$ ) de 0,47.

A Tabela 24 apresenta a vazão média obtida nos 16 pontos amostrados durante os 6 ensaios, referentes ao tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,0 m.

**Tabela 24** Valores médios de volume coletados e vazão para o tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,0 m

Lateral	Emissor	Volume médio coletado (ml)	Vazão média $q_i$ (L h <sup>-1</sup> )
início	início	558	0,558
	1/3 abaixo	490	0,490
	2/3 abaixo	465	0,465
	final	483	0,483
1/3 abaixo	início	566	0,566
	1/3 abaixo	533	0,533
	2/3 abaixo	520	0,520
	final	550	0,550
2/3 abaixo	início	625	0,625
	1/3 abaixo	575	0,575
	2/3 abaixo	558	0,558
	final	525	0,525
final	início	608	0,608
	1/3 abaixo	616	0,616
	2/3 abaixo	600	0,600
	final	541	0,541

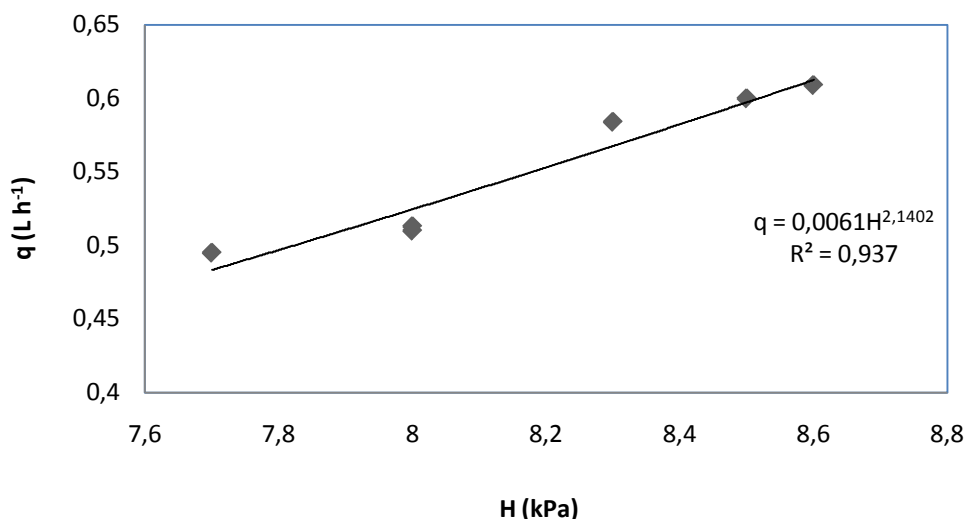
O fabricante descreve uma vazão média de 0,65 L h<sup>-1</sup> a cada 0,3 m para uma carga hidráulica de 1,5 m. Todos os ensaios apresentaram um valor abaixo do descrito, justificado pela carga hidráulica aplicada de 1,0 m que, conseqüentemente, forneceu uma pressão menor ao sistema.

ELLA, REYES e YODER (2009) avaliaram o efeito de diferentes cargas hidráulicas na uniformidade de distribuição de água, e os ensaios, a que aplicaram uma carga igual a 1,0 m, apresentaram médias de vazão menores, em comparação aos demais. Os valores variaram entre 0,50 e 0,55 L h<sup>-1</sup>, estes muito próximos aos descritos na Tabela 24.

Durante a realização dos ensaios referentes ao tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,0 m, a pressão fornecida ao sistema apresentou valores que variaram entre 7,7 e 8,6 kPa, resultando em baixos coeficientes de variação para a vazão ao longo das linhas laterais, todos se encontraram abaixo de 10% (PIMENTEL GOMES, 2000).

A curva vazão *versus* pressão fornecida pelo sistema e a equação de ajuste é apresentada na Figura 8.





**Figura 8** Representação gráfica da equação característica de vazão-pressão do tubo gotejador no tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,0 m.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 93,70%. Este resultado significa que o modelo ajustado explicou 93,70% da variação na variável resposta Y (vazão). Isto é, 93,70% da variabilidade de vazão são explicados pela variável regressora pressão. FARIA *et al.* (2002), estudando o entupimento de gotejadores e seu efeito da pressão de rede hidráulica, obtiveram  $R^2$  de 99,76%, índice superior ao descrito nesta pesquisa.

A Tabela 25 apresenta a vazão média obtida nos 16 pontos amostrados, durante os 6 ensaios, referentes ao tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m.

**Tabela 25** Valores médios de volume coletados e vazão para o tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m

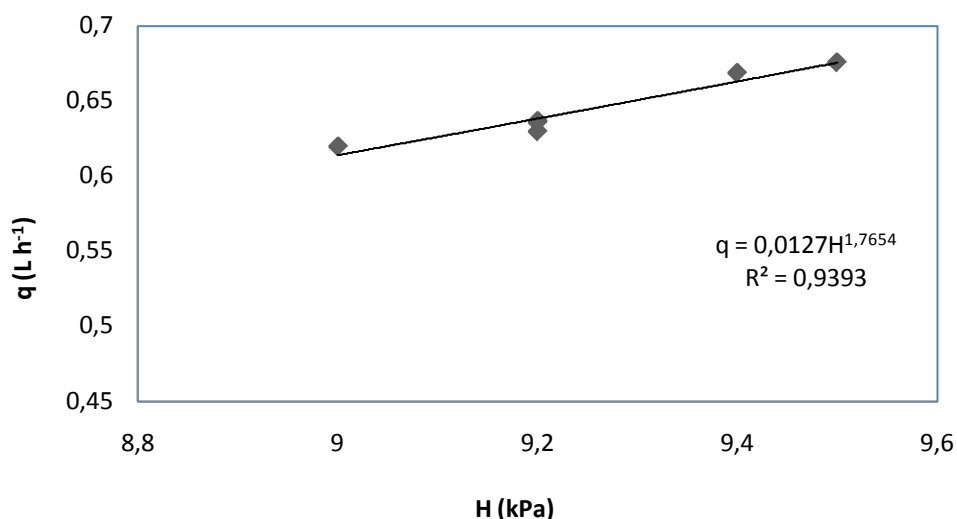
Lateral	Emissor	Volume médio coletado (ml)	Vazão média $q_i$ (L h <sup>-1</sup> )
início	início	646	0,646
	1/3 abaixo	616	0,616
	2/3 abaixo	608	0,608
	final	679	0,679
1/3 abaixo	início	666	0,666
	1/3 abaixo	625	0,625
	2/3 abaixo	616	0,616
	final	650	0,650
2/3 abaixo	início	687	0,687
	1/3 abaixo	666	0,666
	2/3 abaixo	608	0,608
	final	616	0,616
final	início	683	0,683
	1/3 abaixo	679	0,679
	2/3 abaixo	633	0,633
	final	625	0,625

Nos ensaios de irrigação que utilizaram a carga hidráulica de 1,5 m que é a recomendada pelo fabricante, alguns valores ainda encontram-se um pouco abaixo de 0,65 L h<sup>-1</sup>, porém estão mais elevados do que os obtidos no tratamento de irrigação com

carga hidráulica de 1,0 m, principalmente em virtude da pressão fornecida ao sistema, que apresentou valores mais elevados.

No período de realização dos ensaios, a pressão apresentou médias que variaram entre 9,0 e 9,8 kPa, também resultando em baixos coeficientes de variação para a vazão ao longo das linhas laterais, todos se encontraram abaixo de 6% (PIMENTEL GOMES, 2000).

A curva vazão *versus* pressão fornecida pelo sistema e a equação de ajuste para o tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m, é apresentada na Figura 9.



**Figura 9** Representação gráfica da equação característica de vazão-pressão do tubo gotejador no tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 93,93%, semelhante ao obtido no tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,0 m. Este resultado significa que o modelo ajustado explicou 93,93% da variação na variável resposta Y (vazão). Isto é, 93,93% da variabilidade da vazão são explicados pela variável regressora pressão. AHMED *et al.* (2007), avaliando a vazão do emissor em ensaios de irrigação utilizando água poluída, obtiveram um coeficiente de determinação de 99,00%, bem acima do aqui relatado.

Observa-se uma diminuição no expoente x, na equação entre os tratamentos de irrigação aplicados, pois no tratamento com carga hidráulica de 1,0 m o valor era 2,1374 e no tratamento com carga hidráulica de 1,5 m, este valor passou para 1,7654, o que significa que o regime de escoamento pode ser considerado turbulento, segundo KELLER e KARMELI (1975), e que a variação de vazão se tornou menos influenciada pela variação de pressão.

No tratamento com a carga hidráulica de 1,0 m e aplicação de água residuária de processamento de mandioca diluída, observa-se uma diminuição na vazão, em relação ao tratamento de irrigação que utilizou a mesma carga hidráulica, podendo ser justificada pela

qualidade da água aplicada que influenciou no comportamento do sistema. Todos os valores obtidos encontram-se abaixo da vazão média a cada gotejador descrita pela fabricante.

A Tabela 26 apresenta a vazão média obtida nos 16 pontos amostrados, durante os 6 ensaios, referentes ao tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,0 m.

**Tabela 26** Valores médios de volume coletados e vazão para o tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,0 m

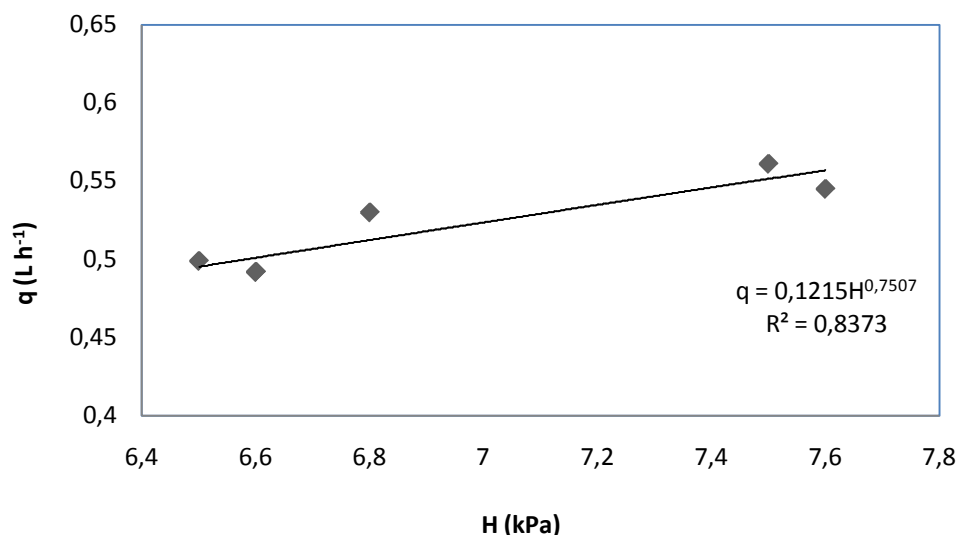
Lateral	Emissor	Volume médio coletado (ml)	Vazão média $q_i$ (L h <sup>-1</sup> )
início	início	540	0,540
	1/3 abaixo	420	0,420
	2/3 abaixo	413	0,413
	final	386	0,386
1/3 abaixo	início	590	0,590
	1/3 abaixo	520	0,520
	2/3 abaixo	546	0,546
	final	553	0,553
2/3 abaixo	início	610	0,610
	1/3 abaixo	520	0,520
	2/3 abaixo	493	0,493
	final	470	0,470
final	início	597	0,597
	1/3 abaixo	580	0,580
	2/3 abaixo	600	0,600
	final	480	0,480

A pressão do sistema no decorrer da realização dos ensaios do tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,0 m apresentou valores que variaram entre 6,5 e 7,6 kPa, valores menores do que os apresentados no tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,0 m, proporcionando conseqüentemente médias inferiores de vazão.

BATISTA *et al.* (2005a) determinaram a alteração da vazão de gotejadores com a aplicação de água residuária da despolpa de frutos do cafeeiro, sendo que a variação de pressão foi de 10,1 kPa, ou seja, com grande variabilidade e alguns resultados inferiores ao obtidos nesta pesquisa.

A curva vazão *versus* pressão fornecida pelo sistema, para o tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,0 m e a equação de ajuste, está disposta na Figura 10.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 83,73%, inferior aos valores encontrados nos tratamentos de irrigação. Este resultado significa que o modelo ajustado explicou 83,73% da variação na variável resposta Y (vazão). Isto é, 83,73% da variabilidade da vazão são explicados pela variável regressora pressão.



**Figura 10** Representação gráfica da equação característica de vazão-pressão do tubo gotejador no tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,0 m.

A Tabela 27 apresenta a vazão média obtida nos 16 pontos amostrados, durante os 6 ensaios, referentes ao tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,5 m.

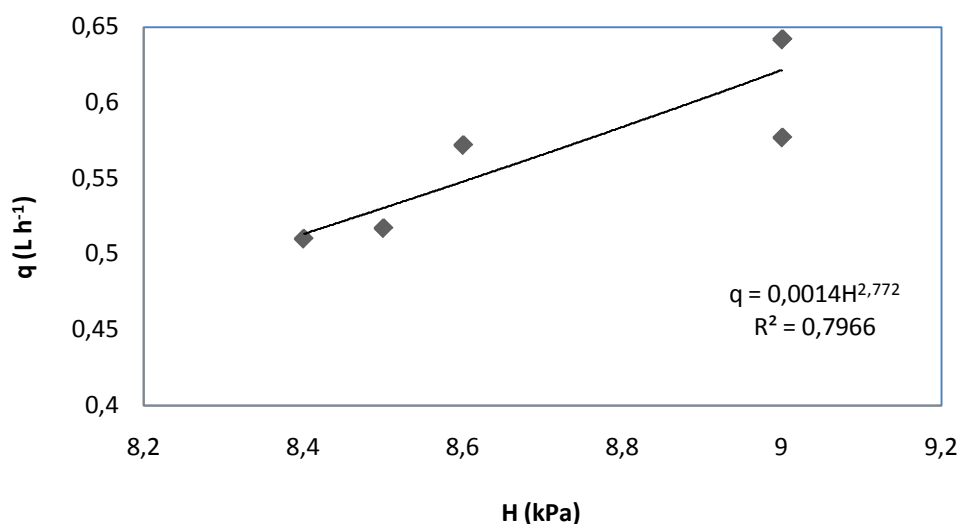
**Tabela 27** Valores médios de volume coletados e vazão para o tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,5 m

Lateral	Emissor	Volume médio coletado (ml)	Vazão média $q_i$ (L h <sup>-1</sup> )
início	início	613	0,613
	1/3 abaixo	513	0,513
	2/3 abaixo	460	0,460
	final	420	0,420
1/3 abaixo	início	600	0,600
	1/3 abaixo	566	0,566
	2/3 abaixo	586	0,586
	final	580	0,580
2/3 abaixo	início	673	0,673
	1/3 abaixo	580	0,580
	2/3 abaixo	533	0,533
	final	520	0,520
final	início	620	0,620
	1/3 abaixo	580	0,580
	2/3 abaixo	586	0,586
	final	506	0,506

No tratamento com a carga hidráulica de 1,5 m e aplicação de água residuária de processamento de mandioca diluída, observa-se uma diminuição na vazão em relação ao tratamento de irrigação que utilizou a mesma carga hidráulica, ou seja, houve uma influência da qualidade da água utilizada na vazão obtida pelo sistema. Exceto pelo emissor da lateral 2/3 abaixo e no início da linha (0,673 L h<sup>-1</sup>), todos os demais obtiveram médias inferiores ao descrito pelo fabricante. O menor valor foi determinado no emissor da primeira lateral e no final da linha (0,420 L h<sup>-1</sup>).

As médias de pressão fornecidas pelo sistema de irrigação durante a realização dos ensaios referentes a este tratamento encontravam-se entre 8,4 e 9,0 kPa, inferiores às obtidas no tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m, resultando em médias de vazão em torno de 13,35% menores.

A curva vazão *versus* pressão fornecida pelo sistema para o tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,5 m e a equação de ajuste é apresentada na Figura 11.



**Figura 11** Representação gráfica da equação característica de vazão-pressão do tubo gotejador no tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,5 m

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 79,66%. Esse resultado significa que o modelo ajustado explicou 79,66% da variação na variável resposta Y (vazão). Isto é, 79,66% da variabilidade de Y são explicados pela variável regressora X (pressão).

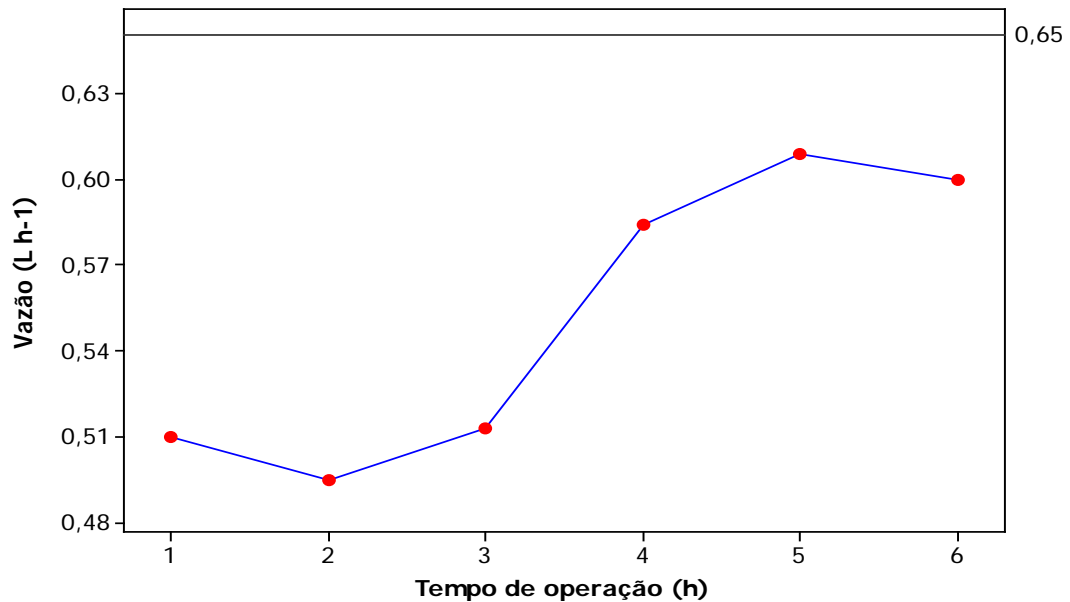
SANTOS *et al.* (2003) avaliaram o efeito do uso de águas residuárias na vazão, trabalhando com pressões que variam de 50 a 250 kPa obtiveram um  $R^2$  de 98,68%, bem superior ao descrito neste estudo.

Ao contrário do obtido nos tratamentos de irrigação, observa-se um aumento no expoente x na equação entre os tratamentos de fertigação aplicados, pois no tratamento com carga hidráulica de 1,0 m o valor era 0,7498 e no tratamento com carga hidráulica de 1,5 m este valor passou para 2,077, o que significa que o regime de escoamento pode ser considerado turbulento, segundo KELLER & KARMELI (1975), e que a variação de vazão se tornou mais influenciada pela variação de pressão.

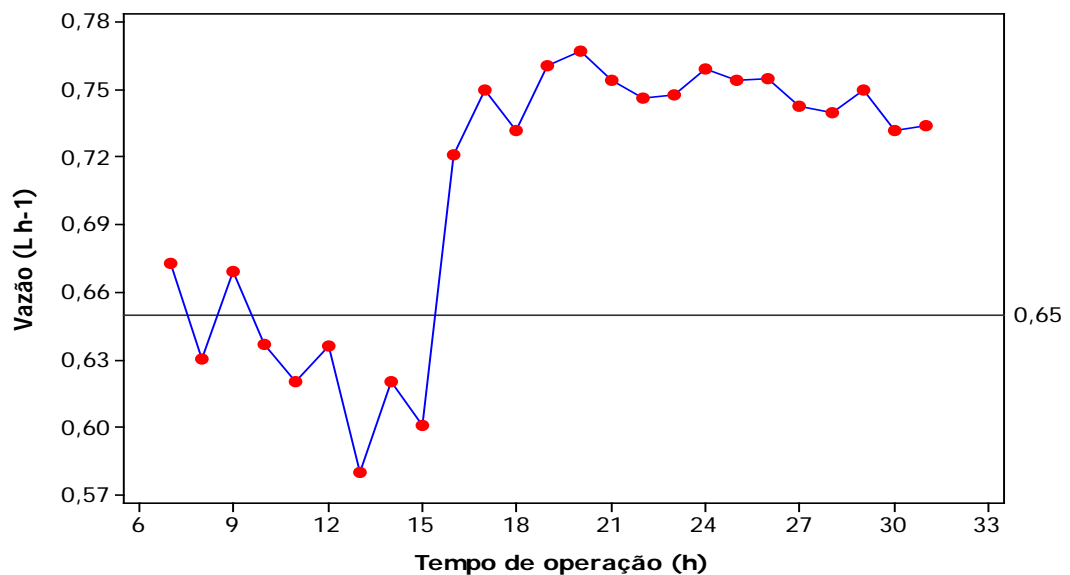
Comparando-se com o valor do expoente fornecido pelo fabricante que é de 0,49, assim como na irrigação, os resultados determinados foram bem distintos, o que pode ser devido às características dos diferentes tratamentos aplicados, principalmente em função da pressão fornecida ao sistema.

### 4.3 REDUÇÃO DA VAZÃO AO LONGO DO TEMPO

As figuras 12 e 13 apresentam, respectivamente, a distribuição da vazão ao longo do tempo de realização dos tratamentos de irrigação com carga hidráulica de 1,0 e 1,5 m.



**Figura 12** Distribuição dos dados de vazão ao longo do tempo para o tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,0 m.

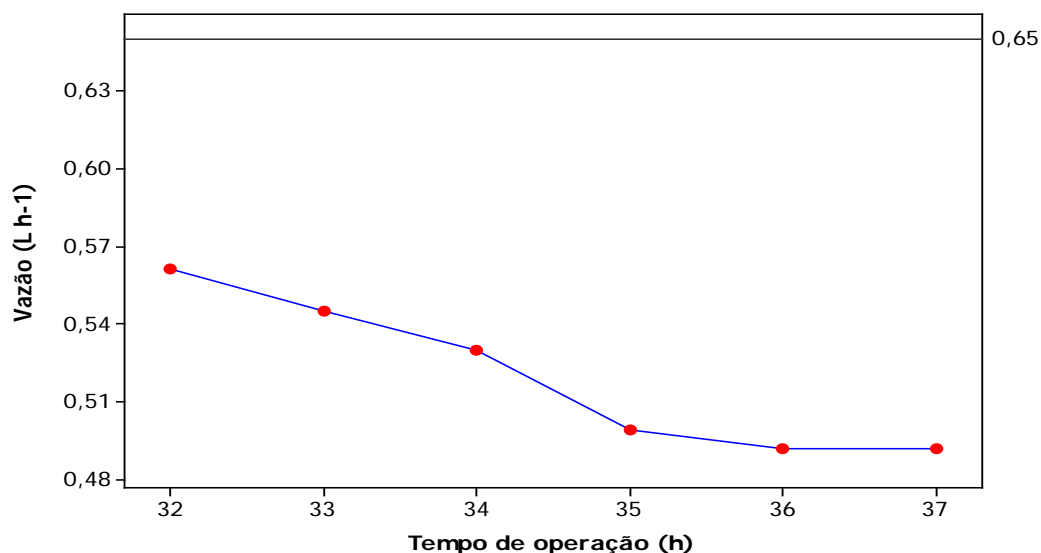


**Figura 13** Distribuição dos dados de vazão ao longo do tempo para o tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m.

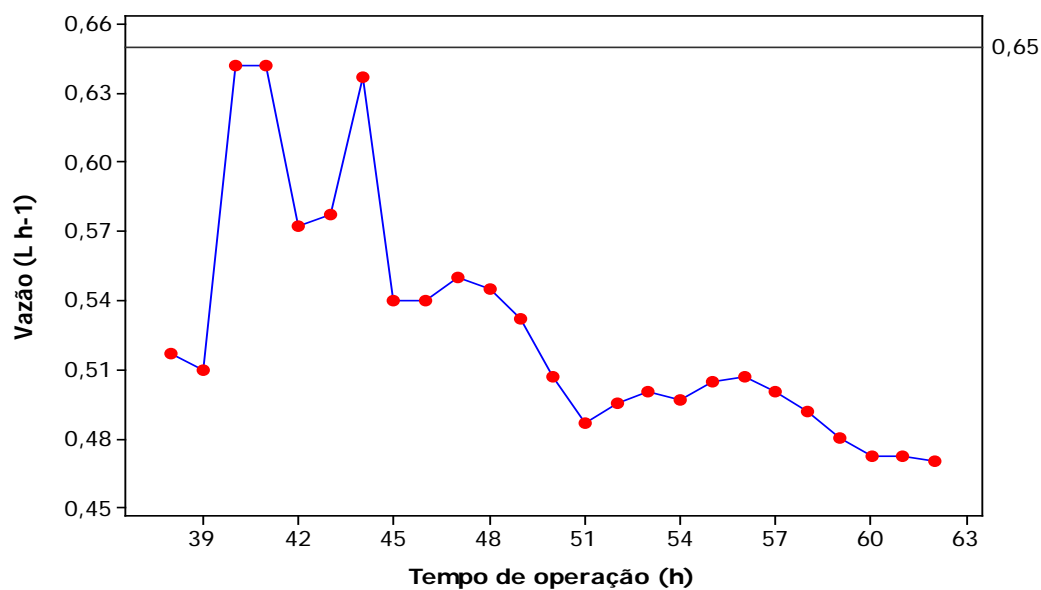
Observa-se que os dados apresentaram um acréscimo na vazão com o decorrer dos ensaios, em ambos os tratamentos de irrigação, estando mais altos entre as 15 e 25 h de

funcionamento do sistema, ou seja, quando foram realizados os ensaios do tratamento com carga hidráulica de 1,5 m, possivelmente devido ao efeito rebarba, ou seja, a presença de resíduos que foram eliminados no decorrer dos ensaios proporcionando o aumento da vazão.

As figuras 14 e 15 apresentam, respectivamente, a distribuição da vazão ao longo do tempo de realização do tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,0 e 1,5 m.



**Figura 14** Distribuição dos dados de vazão ao longo do tempo para o tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,0 m.



**Figura 15** Distribuição dos dados de vazão ao longo do tempo para o tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,5 m.

Em ambos os tratamentos de fertigação, observa-se um decréscimo da vazão no decorrer do tempo, provavelmente justificado pela qualidade da água utilizada que pode ter promovido o entupimento do tubo gotejador, ocasionando diminuição da vazão. Este comportamento não foi encontrado durante os ensaios de irrigação.

Os maiores valores de vazão na fertigação com água residuária de processamento de mandioca diluída foram obtidos no tempo de operação entre 40 e 45 h, este referente à aplicação da carga hidráulica de 1,5 m e os menores entre 35 e 37 h, durante a utilização da carga hidráulica de 1,0 m.

O cálculo da redução da vazão em porcentagem, descrito na equação 3, e aplicado para os tratamentos de fertigação foi determinado considerando-se como valor de vazão inicial  $0,65 \text{ L h}^{-1}$ , este descrito pelo fabricante como obtido com carga hidráulica de 1,5 m e pressão de 10,0 kPa, pois o comportamento das vazões nos tratamentos de irrigação foi aumentando no decorrer do tempo, impossibilitando que fosse utilizado o valor de vazão obtido no primeiro ensaio. Antes do cálculo da redução foi determinada a relação de vazão do emissor (R), dada pela relação entre o valor médio de vazão em cada ensaio e o valor inicial, ou seja,  $0,65 \text{ L h}^{-1}$ .

A Tabela 28 apresenta os valores da relação de vazão do emissor (R) e a redução da vazão (%) para o tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,0 m.

**Tabela 28** Valores de relação de vazão do emissor e redução da vazão para o tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,0 m

Fertigação	q média ( $\text{L h}^{-1}$ )	Relação de vazão do emissor (R)	Redução da vazão (%)
1	0,561	0,863	13,69
2	0,545	0,838	16,15
3	0,530	0,815	18,46
4	0,499	0,768	23,23
5	0,492	0,757	24,30
6	0,492	0,757	24,30

Observa-se que, ao longo dos ensaios, com o decréscimo dos valores de vazão houve um conseqüente aumento nos resultados referentes à porcentagem de redução, que apresentou valores distintos, com um mínimo de 13,69 e máximo de 24,30%. Valores semelhantes foram obtidos por LIU e HUANG (2009), utilizando água tratada e efluente tratado com diferentes emissores, determinando reduções nas vazões que variaram entre 11 e 20%.

Na Tabela 29 estão dispostos os valores da relação de vazão do emissor (R) e a redução da vazão (%) para o tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,5 m.



**Tabela 29** Valores de relação de vazão do emissor e redução da vazão para o tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,5 m

Fertigação	q média (L h <sup>-1</sup> )	Relação de vazão do emissor (R)	Redução da vazão (%)
1	0,517	0,795	20,46
2	0,510	0,785	21,54
3	0,642	0,988	1,23
4	0,642	0,988	1,23
5	0,572	0,880	12,00
6	0,577	0,888	11,23
7	0,637	0,980	2,00
8	0,540	0,831	16,92
9	0,540	0,831	16,92
10	0,550	0,846	15,38
11	0,545	0,838	16,15
12	0,532	0,818	18,15
13	0,507	0,780	22,00
14	0,487	0,749	25,08
15	0,495	0,761	23,85
16	0,500	0,769	23,08
17	0,497	0,764	23,54
18	0,505	0,777	22,31
19	0,507	0,780	22,00
20	0,500	0,769	23,08
21	0,492	0,757	24,30
22	0,480	0,738	26,15
23	0,472	0,726	27,38
24	0,472	0,726	27,38
25	0,470	0,723	27,69

Assim como no tratamento com carga hidráulica de 1,0 m, houve um decréscimo significativo nos valores de vazão ao longo do tempo, resultando em maiores porcentagens de redução de vazão, em que o menor valor foi de 1,23% nas fertigações 3 e 4 e o maior foi de 27,69%, obtido no último ensaio.

CAPRA e SCICOLONE (2004) concluíram em seu estudo com efluente doméstico tratado que a redução das vazões foi de 10% ao longo dos ensaios com tempo médio de operação de cerca de 30 h. Estes resultados foram inferiores aos apresentados na presente pesquisa.

Diferentemente dos valores acima descritos, SANTOS *et al.* (2003) aplicando efluente tratado por um reator de manta de lodo UASB (*upflow anaerobic sludge blanket*) e por uma lagoa de polimento, determinaram uma redução média da vazão de apenas 4,97%, após 750 h de funcionamento do sistema.

#### 4.4 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA E DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE PROCESSAMENTO DE MANDIOCA

##### 4.4.1 TEMPERATURA

Durante a realização dos ensaios referentes ao tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,0 m, a temperatura da água oscilou entre 23 e 24 °C e no tratamento com

carga hidráulica de 1,5 m entre 22 e 24 °C, cumprindo o critério que determina que esta deve estar entre 23°C ± 3°C (NBR ISO 9261 – ABNT, 2006). COSTA *et al.* (2005) realizaram a caracterização qualitativa da água de irrigação no município de Brejo Santo - CE e obtiveram valores entre 27,4 e 29,2 °C, valores acima do aqui relatados, porém, apresentando pequena variação, como mencionado no presente estudo.

Na realização dos ensaios referentes ao tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,0 m, a temperatura da água oscilou entre 23 e 24 °C e no tratamento com carga hidráulica de 1,5 m entre 22 e 24 °C, cumprindo o critério que determina que esta deve estar entre 23°C ± 3°C (NBR ISO 9261 - ABNT, 2006).

DAZHUANG *et al.* (2009) detectaram uma temperatura da água máxima de 29 °C no mês de agosto e a mínima de 8 °C no mês de dezembro, durante a realiza o dos ensaios de fertiga o com efluente doméstico, ou seja, o sistema esteve em opera o em épocas distintas, fornecendo médias de temperatura bem variadas.

#### 4.4.2 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO

A Tabela 30 apresenta os valores mínimos, máximos e médios do parâmetro pH para os ensaios de irriga o e fertiga o, bem como a sua classifica o quanto ao potencial de risco de causar danos no sistema de irriga o por gotejamento.

**Tabela 30** Valores mínimos, máximos e médios do pH e sua respectiva classifica o quanto ao risco de entupimento

Tratamento	Irriga�o	N� Amostras	pH			Potencial de Risco		
			M�nimo	M�ximo	M�dio	Baixo	Moderado	Severo
						% das amostras		
Irriga�o 1,0 m	1	16	7,28	8,11	7,32	0,00	75,00	25,00
Irriga�o 1,0 m	2	16	7,07	7,57	7,18	0,00	100,00	00,00
Irriga�o 1,0 m	3	16	6,90	7,66	7,02	25,00	75,00	00,00
Irriga�o 1,0 m	4	16	6,96	7,18	7,12	37,50	62,50	00,00
Irriga�o 1,0 m	5	16	7,17	7,76	7,23	0,00	100,00	00,00
Irriga�o 1,0 m	6	16	6,75	7,46	7,03	32,50	67,50	00,00
Irriga�o 1,5 m	1	16	5,89	7,50	6,67	62,5	37,5	00,00
Irriga�o 1,5 m	2	16	5,70	7,99	7,10	43,75	56,25	00,00
Irriga�o 1,5 m	3	16	5,92	8,01	7,32	31,25	62,50	6,25
Irriga�o 1,5 m	4	16	5,90	8,03	7,00	56,25	18,75	25,00
Irriga�o 1,5 m	5	16	6,03	8,19	7,15	50,00	18,75	31,25
Irriga�o 1,5 m	6	16	6,09	7,97	7,18	43,75	56,25	00,00
Fertiga�o 1,0 m	1	16	4,86	5,45	5,33	100,00	0,00	0,00
Fertiga�o 1,0 m	2	16	4,87	5,58	5,37	100,00	0,00	0,00
Fertiga�o 1,0 m	3	16	5,34	6,03	5,62	100,00	0,00	0,00
Fertiga�o 1,0 m	4	16	5,04	5,39	5,22	100,00	0,00	0,00
Fertiga�o 1,0 m	5	16	5,21	5,63	5,43	100,00	0,00	0,00
Fertiga�o 1,0 m	6	16	5,33	5,82	5,48	100,00	0,00	0,00
Fertiga�o 1,5 m	1	16	5,49	6,03	5,68	100,00	0,00	0,00
Fertiga�o 1,5 m	2	16	5,34	5,69	5,58	100,00	0,00	0,00
Fertiga�o 1,5 m	3	16	5,35	5,59	5,45	100,00	0,00	0,00
Fertiga�o 1,5 m	4	16	5,32	5,70	5,56	100,00	0,00	0,00
Fertiga�o 1,5 m	5	16	5,51	5,73	5,61	100,00	0,00	0,00
Fertiga�o 1,5 m	6	16	5,48	5,72	5,58	100,00	0,00	0,00

O potencial hidrogeniônico (pH) no tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,0 m apresentou valores muito próximos com um coeficiente de variação de 1,64% entre os ensaios, sendo este considerado baixo (PIMENTEL GOMES, 2000). Com relação ao risco de entupimento por meio deste parâmetro, apenas a irrigação 1 apresentou valores que indicam um risco severo, pois estão acima de 8,0. Os demais ensaios obtiveram a maioria dos valores entre 7,0 e 8,0, demonstrando um risco moderado a problemas relacionados à obstrução nos equipamentos. O ideal em sistemas de irrigação por gotejamento é que o pH esteja abaixo de 7,0, proporcionando assim um baixo risco de entupimento.

No tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m os valores foram semelhantes aos observados no tratamento com carga hidráulica de 1,0 m, apresentando em todos os ensaios alguns valores inferiores a 7,0, indicando um baixo risco de entupimento, nos ensaios 3, 4 e 5 alguns dados encontram-se acima de 8,0, demonstrando um risco severo e os demais apresentaram médias na faixa de 7,0-8,0, correspondendo a um risco moderado de entupimento. O coeficiente de variação obtido entre os ensaios foi baixo: 3,14% (PIMENTEL GOMES, 2000).

COSTA *et al.* (2005) realizaram a caracterização qualitativa da água de irrigação no município de Brejo Santo no Ceará e os valores de pH obtidos das amostras coletadas nas áreas estudadas variaram entre 6,5 e 8,2. FERNANDES *et al.* (2009) avaliaram a qualidade físico-química das águas utilizadas no perímetro urbano irrigado Cachoeira II e Serra Talhada no estado de Pernambuco e obtiveram médias situadas na faixa entre 6,5 a 8,4.

SILVA JUNIOR e MEDEIROS (2007) aplicando água oriunda de poços arenítico e calcário encontraram, respectivamente, médias de 8,0 e 7,1. Todas as pesquisas citadas apresentam médias próximas às obtidas no presente estudo.

BHARDWAY *et al.* (2007) utilizaram água potável e água residuária tratada em ensaios com gotejamento, sendo que a média do pH na irrigação foi de 7,60, próximo ao monitorado neste trabalho.

Os coeficientes de variação obtidos nos tratamentos de fertigação foram de 2,53% para a carga hidráulica de 1,0 m e 1,35% para a de 1,5 m, proporcionando dados homogêneos, pois estão abaixo de 10% (PIMENTEL GOMES, 2000). Com relação ao risco de entupimento por meio deste parâmetro, todos os ensaios de ambos os tratamentos apresentam baixo risco, pois se encontraram abaixo de 7,0.

DAZHUANG *et al.* (2009) avaliaram a formação de biofilme com a aplicação de efluente doméstico, em que esta foi utilizada com uma faixa de pH entre 8,04 a 8,21, sendo classificada como de risco severo ao entupimento em sistemas de irrigação por gotejamento, diferentemente da água residuária utilizada no presente estudo que apresentou valores bem inferiores.

BARRINGTON *et al.* (2007) monitoraram a qualidade da fertigação com água residuária proveniente da atividade leiteira e a faixa de pH estava entre 5,5-7,0, acima do

aqui apresentado, porém também proporcionando um baixo risco de entupimento ao sistema de irrigação por gotejamento.

BATISTA *et al.* (2005b) determinaram a obstrução de gotejadores por meio do estudo do efeito da água residuária bruta e filtrada da despolpa dos frutos do cafeeiro e encontraram uma faixa de pH de 4,4 e 4,5, respectivamente, mais próximas aos valores obtidos nesta pesquisa.

#### 4.4.3 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

Os valores mínimos, máximos e médios do parâmetro de condutividade elétrica nos ensaios de irrigação e fertigação e sua classificação quando ao risco de entupimento do sistema estão dispostos na Tabela 31.

Para a condutividade elétrica os ensaios do tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,0 m apresentaram um coeficiente de variação de 7,90%, indicando dados homogêneos (PIMENTEL GOMES, 2000). Todas as médias obtidas encontram-se muito abaixo do valor máximo de  $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ , indicado como inicial para a ocorrência de obstruções e entupimentos. Valores acima deste podem comprometer a qualidade da irrigação.

**Tabela 31** Valores mínimos, máximos e médios de condutividade elétrica e sua respectiva classificação quanto ao risco de entupimento

Tratamento	Irrigação	N° Amostras	Condutividade elétrica ( $\text{dS m}^{-1}$ )			Potencial de Risco		
			Mínimo	Máximo	Médio	Baixo	Moderado	Severo
Irrigação 1,0 m	1	16	0,0594	0,0762	0,0665	100,00	0,00	0,00
Irrigação 1,0 m	2	16	0,0643	0,0754	0,0670	100,00	0,00	0,00
Irrigação 1,0 m	3	16	0,0558	0,0710	0,0610	100,00	0,00	0,00
Irrigação 1,0 m	4	16	0,0606	0,0746	0,0690	100,00	0,00	0,00
Irrigação 1,0 m	5	16	0,0690	0,0820	0,0720	100,00	0,00	0,00
Irrigação 1,0 m	6	16	0,0492	0,0634	0,0580	100,00	0,00	0,00
Irrigação 1,5 m	1	16	0,0516	0,0677	0,0642	100,00	0,00	0,00
Irrigação 1,5 m	2	16	0,0619	0,0841	0,0653	100,00	0,00	0,00
Irrigação 1,5 m	3	16	0,0533	0,0661	0,0631	100,00	0,00	0,00
Irrigação 1,5 m	4	16	0,0599	0,0714	0,0654	100,00	0,00	0,00
Irrigação 1,5 m	5	16	0,0511	0,0655	0,0625	100,00	0,00	0,00
Irrigação 1,5 m	6	16	0,0603	0,0665	0,0635	100,00	0,00	0,00
Fertigação 1,0 m	1	16	0,1200	0,1250	0,1220	100,00	0,00	0,00
Fertigação 1,0 m	2	16	0,1190	0,1240	0,1210	100,00	0,00	0,00
Fertigação 1,0 m	3	16	0,1180	0,1250	0,1210	100,00	0,00	0,00
Fertigação 1,0 m	4	16	0,1130	0,1200	0,1150	100,00	0,00	0,00
Fertigação 1,0 m	5	16	0,1140	0,1230	0,1180	100,00	0,00	0,00
Fertigação 1,0 m	6	16	0,1140	0,1230	0,1190	100,00	0,00	0,00
Fertigação 1,5 m	1	16	0,1090	0,1300	0,1230	100,00	0,00	0,00
Fertigação 1,5 m	2	16	0,1120	0,1370	0,1250	100,00	0,00	0,00
Fertigação 1,5 m	3	16	0,1150	0,1260	0,1170	100,00	0,00	0,00
Fertigação 1,5 m	4	16	0,1160	0,1350	0,1230	100,00	0,00	0,00
Fertigação 1,5 m	5	16	0,1080	0,1280	0,1220	100,00	0,00	0,00
Fertigação 1,5 m	6	16	0,1130	0,1310	0,1250	100,00	0,00	0,00

A condutividade elétrica para as irrigações do tratamento com carga hidráulica de 1,5 m apresentou valores próximos aos obtidos para o tratamento com carga hidráulica de 1,0 m, apresentando também médias bem abaixo do máximo admitido para a não ocorrência de

obstruções em equipamentos de gotejamento. O coeficiente de variação obtido foi de 1,85%, o que indica que os dados são homogêneos (PIMENTEL GOMES, 2000).

SILVA JUNIOR e MEDEIROS (2007), aplicando água proveniente de poços arenítico e calcário, obtiveram respectivamente valores de 0,55 e 4,00 dS m<sup>-1</sup>, bem acima dos valores aqui encontrados. classificados como de potencial severo de risco ao entupimento em sistemas de irrigação por gotejamento. ESTRELA (2008) estudou a qualidade da água de irrigação no município de Turuçu - RS e encontrou médias que variaram entre 0,028 e 0,106 dS m<sup>-1</sup>, próximas aos resultados observados no presente estudo.

Assim como nos tratamentos referentes à irrigação, os de fertigação obtiveram valores baixos, indicando pequeno risco de entupimento em ambos os tratamentos de fertigação. Os coeficientes de variação encontram-se abaixo de 10%, indicando homogeneidade entre os ensaios (PIMENTEL GOMES, 2000).

CAPRA e SCICOLONE (2007) aplicaram efluente doméstico bruto em um sistema de irrigação por gotejamento e encontraram valores entre 0,9 e 1,7 dS m<sup>-1</sup>, classificados como de risco moderado ao entupimento.

SILVA *et al.* (2004) avaliaram o impacto da aplicação de efluente de fecularia de mandioca maturado e o valor médio foi de 0,049 dS m<sup>-1</sup>, valor mais próximo do que foi descrito neste estudo, talvez podendo ser justificado pela origem da água residuária que foi proveniente do mesmo tipo de agroindústria.

#### 4.4.4 SÓLIDOS DISSOLVIDOS

Os sólidos dissolvidos foram obtidos por meio da equação de proporcionalidade com a condutividade elétrica. Seus valores mínimos, máximos e médios, juntamente com sua classificação quanto ao risco de entupimento do sistema estão dispostos na Tabela 32.

Os valores de sólidos dissolvidos são bastante baixos, visto que para um risco médio de entupimento dos gotejadores este parâmetro deve ser maior que 500 mg L<sup>-1</sup> (NAKAYAMA; BUCKS, 1986). Os coeficientes de variação entre os ensaios foram de 5,33% para o tratamento com carga hidráulica de 1,0 m e 1,85% para o tratamento com carga hidráulica de 1,5 m, sendo estes classificados como baixos (PIMENTEL GOMES, 2000).

LIU e HUANG (2009) aplicaram água doce potável e água de esgoto tratado para monitorar o risco de entupimento em um sistema de irrigação por gotejamento e encontraram valores que são classificados como de baixo risco de entupimento. A média obtida foi de 339 mg L<sup>-1</sup>.

**Tabela 32** Valores mínimos, máximos e médios dos sólidos dissolvidos e sua respectiva classificação quanto ao risco de entupimento

Tratamento	Irrigação	N° Amostras	Sólidos Dissolvidos (mg L <sup>-1</sup> )			Potencial de Risco		
			Mínimo	Máximo	Médio	Baixo	Moderado	Severo
						% das amostras		
Irrigação 1,0 m	1	16	38,02	48,77	42,56	100,00	0,00	0,00
Irrigação 1,0 m	2	16	41,15	48,26	42,88	100,00	0,00	0,00
Irrigação 1,0 m	3	16	35,71	45,44	39,04	100,00	0,00	0,00
Irrigação 1,0 m	4	16	38,78	47,74	44,16	100,00	0,00	0,00
Irrigação 1,0 m	5	16	44,16	52,48	46,08	100,00	0,00	0,00
Irrigação 1,0 m	6	16	31,49	40,58	37,12	100,00	0,00	0,00
Irrigação 1,5 m	1	16	33,02	43,32	41,10	100,00	0,00	0,00
Irrigação 1,5 m	2	16	39,62	53,82	41,78	100,00	0,00	0,00
Irrigação 1,5 m	3	16	34,15	42,94	40,38	100,00	0,00	0,00
Irrigação 1,5 m	4	16	38,33	45,69	41,85	100,00	0,00	0,00
Irrigação 1,5 m	5	16	32,70	42,92	39,99	100,00	0,00	0,00
Irrigação 1,5 m	6	16	38,59	42,56	40,63	100,00	0,00	0,00
Fertigação 1,0 m	1	16	76,16	80,00	77,92	100,00	0,00	0,00
Fertigação 1,0 m	2	16	74,88	79,36	77,48	100,00	0,00	0,00
Fertigação 1,0 m	3	16	75,52	80,00	77,72	100,00	0,00	0,00
Fertigação 1,0 m	4	16	71,68	76,80	73,60	100,00	0,00	0,00
Fertigação 1,0 m	5	16	72,96	78,72	75,96	100,00	0,00	0,00
Fertigação 1,0 m	6	16	72,96	78,72	76,08	100,00	0,00	0,00
Fertigação 1,5 m	1	16	69,76	83,20	78,72	100,00	0,00	0,00
Fertigação 1,5 m	2	16	71,68	87,68	80,00	100,00	0,00	0,00
Fertigação 1,5 m	3	16	73,60	80,64	74,88	100,00	0,00	0,00
Fertigação 1,5 m	4	16	74,24	86,40	78,72	100,00	0,00	0,00
Fertigação 1,5 m	5	16	69,12	81,92	78,08	100,00	0,00	0,00
Fertigação 1,5 m	6	16	72,32	83,84	80,00	100,00	0,00	0,00

Para a fertigação, os valores de sólidos dissolvidos foram bastante baixos, visto que para um risco médio de entupimento dos gotejadores este parâmetro deve ser maior que 500 mg L<sup>-1</sup> (NAKAYAMA; BUCKS, 1986). Os coeficientes de variação entre os ensaios foram de 2,14% para o tratamento com carga hidráulica de 1,0 m e 3,53% para o tratamento com carga hidráulica de 1,5 m, sendo estes classificados como baixos (PIMENTEL GOMES, 2000).

DAZHUANG *et al.* (2009) estudaram a formação de um biofilme e sua influência no entupimento de emissores em um sistema de irrigação por gotejamento com efluente doméstico e a concentração de sólidos dissolvidos aplicada estava entre 542 e 567 mg. L<sup>-1</sup>, indicando um risco moderado de entupimento.

#### 4.4.5 TURBIDEZ

Na Tabela 33 estão dispostos os valores mínimos, máximos e médios do parâmetro de turbidez. A classificação deste está relacionada ao excesso de sólidos e da carga orgânica, de acordo com os padrões de qualidade de água estabelecidos na Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), que descreve como maior máximo 100 UNT.

**Tabela 33** Valores mínimos, máximos e médios para a turbidez e sua classificação, segundo Resolução CONAMA 357/2005

Tratamento	Irrigação	N° Amostras	Turbidez (UNT)			Classificação	
			Mínimo	Máximo	Médio	Adequada	Inadequada
						% das amostras	
Irrigação 1,0 m	1	16	0,65	6,94	1,59	100,00	0,00
Irrigação 1,0 m	2	16	0,62	1,38	1,03	100,00	0,00
Irrigação 1,0 m	3	16	0,62	1,58	0,94	100,00	0,00
Irrigação 1,0 m	4	16	0,60	2,02	0,98	100,00	0,00
Irrigação 1,0 m	5	16	0,50	1,70	0,87	100,00	0,00
Irrigação 1,0 m	6	16	0,61	1,46	0,86	100,00	0,00
Irrigação 1,5 m	1	16	0,38	1,64	0,87	100,00	0,00
Irrigação 1,5 m	2	16	0,27	0,72	0,47	100,00	0,00
Irrigação 1,5 m	3	16	0,32	1,60	0,78	100,00	0,00
Irrigação 1,5 m	4	16	0,39	1,89	0,71	100,00	0,00
Irrigação 1,5 m	5	16	0,27	1,49	0,92	100,00	0,00
Irrigação 1,5 m	6	16	0,29	2,52	1,07	100,00	0,00
Fertigação 1,0 m	1	16	47,30	122,00	87,90	75,00	25,00
Fertigação 1,0 m	2	16	41,00	105,00	75,82	87,50	12,50
Fertigação 1,0 m	3	16	34,90	118,00	77,96	87,50	12,50
Fertigação 1,0 m	4	16	25,40	65,60	47,16	100,00	0,00
Fertigação 1,0 m	5	16	34,40	89,40	64,45	100,00	0,00
Fertigação 1,0 m	6	16	52,40	92,30	76,16	100,00	0,00
Fertigação 1,5 m	1	16	45,00	143,00	77,06	81,25	18,75
Fertigação 1,5 m	2	16	37,30	118,00	63,66	93,75	6,25
Fertigação 1,5 m	3	16	44,40	63,70	56,71	100,00	0,00
Fertigação 1,5 m	4	16	58,60	117,00	82,79	87,50	12,50
Fertigação 1,5 m	5	16	60,00	117,00	87,59	75,00	25,00
Fertigação 1,5 m	6	16	49,10	151,00	91,81	68,75	31,25

Os valores obtidos em ambos os tratamentos encontram-se bem abaixo do valor máximo permitido. O coeficiente de variação entre os ensaios foi 24,70% para o tratamento 1 e 25,50% para o tratamento com carga hidráulica de 1,5 m, ambos apresentando dados não homogêneos (PIMENTEL GOMES, 2000).

RIBEIRO *et al.* (2005b) avaliaram a variação temporal de parâmetros físico-químicos de águas utilizadas para irrigação, em que a turbidez apresentou valores entre 2,93 e 16,90, acima dos obtidos nesta pesquisa.

PITTS, HAMAN e SMAJSTLA (1990) mencionam que a turbidez é um indicador de sólidos suspensos, mas somente ela não é parâmetro preciso para se determinar o grau de risco de entupimento de emissores para fontes de água. No entanto, devido aos baixos valores encontrados para a turbidez, não houve necessidade da realização das análises de sólidos suspensos. Esta análise foi realizada apenas para a fertigação com água residuária de processamento de mandioca.

Na fertigação a turbidez obteve coeficientes de variação altos, de 19,69% para o tratamento com carga hidráulica de 1,0 m e de 18,03% para o tratamento com carga hidráulica de 1,5 m. Observa-se que a maioria dos ensaios apresentou valores acima do máximo de 100 UNT, sendo que em apenas quatro ensaios todas as amostras estavam em uma faixa adequada.

DURAN-ROS *et al.* (2009) avaliaram o efeito do filtro e da localização do emissor no entupimento, usando efluente doméstico e industrial tratado, trabalhando com faixas entre 2,61 e 6,76 UNT, muito inferiores às aplicadas nesta pesquisa e, conseqüentemente, a

concentração de sólidos suspensos também se apresentou baixa, estando entre 3,01 e 10,59 mg, L<sup>-1</sup>, promovendo um baixo risco de entupimento ao sistema.

CARARO (2004), em estudo utilizando efluente de uma estação de tratamento, obteve valores para a turbidez num intervalo entre 1,5 e 4,0 UNT e para sólidos suspensos entre 14 e 35 mg. L<sup>-1</sup>, muito inferiores aos apresentados para turbidez e dos encontrados nesta pesquisa, em relação aos sólidos suspensos.

A qualidade da água residuária utilizada nos tratamentos de fertigação foi boa, exceto por alguns valores de turbidez que não foram ideais, justificados pela concentração inicial de sólidos suspensos aplicada que se encontrava na faixa de risco moderado ao entupimento. Esses valores inadequados podem ter influenciado na diminuição da vazão nos tratamentos de fertigação em relação aos de irrigação.

## 4.5 UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA

### 4.5.1 IRRIGAÇÃO

A Tabela 34 apresenta o comportamento do sistema no decorrer das irrigações para o tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,0 m, com relação à uniformidade de aplicação de água.

**Tabela 34** Resultados obtidos para o coeficiente de variação de vazão (CVQ), coeficiente de uniformidade de emissão (UE) e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) no tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,0 m

Irrigação N°	q média (L h <sup>-1</sup> )	q 25% (L h <sup>-1</sup> )	CVQ (%)	UE (%)	CUC (%)
1	0,510	0,430	0,120	84,20	90,60
2	0,495	0,442	0,110	89,40	91,30
3	0,513	0,427	0,127	83,31	89,75
4	0,584	0,512	0,102	87,70	90,90
5	0,609	0,525	0,110	86,15	91,08
6	0,600	0,525	0,078	88,42	93,31

Os coeficientes de variação de vazão (CVQ) apresentaram um comportamento muito semelhante no decorrer dos ensaios, não apresentando grande variabilidade entre si. Os cinco primeiros ensaios possuem valores que podem ser classificados como uma irrigação muito boa. No ensaio 6, obteve-se um coeficiente que é classificado como excelente (PEIXOTO, CHAVES; GUERRA, 2005), pois se encontra abaixo de 0,1%. Observa-se que o menor valor de CVQ propiciou o maior CUC e o maior CVQ determinou um menor CUC.



Para a uniformidade de emissão (UE), os valores determinados são classificados como bons (ASAE, 1996) para todos os ensaios, pois estes se encontram na faixa entre 80 e 90%.

Com relação ao coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), apenas um valor se encontra um pouco abaixo de 90%, no ensaio 3, valor descrito como mínimo para a irrigação por gotejamento (MANTOVANI; RAMOS, 1994). No entanto, BERNARDO, SOARES e MANTOVANI (2005) descrevem que o valor mínimo admitido é de 80%. Considerando-se esta última classificação todos os índices estão dentro dos parâmetros aceitáveis.

ELLA, REYES e YODER (2009) determinaram o efeito da carga hidráulica em sistemas de baixo custo e para uma carga hidráulica de 1,0 m, o valor de CUC foi de 64,8%, bem inferior a determinada neste trabalho, justificada pelas características do sistema de irrigação ou pela qualidade da água utilizada que não foi caracterizada na pesquisa e que demonstrou que com o aumento da carga hidráulica o valor do coeficiente foi acrescido.

No tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m, os coeficientes de variação de vazão (CVQ) apresentaram um comportamento muito semelhante no decorrer dos ensaios, não apresentando grande variabilidade entre si. Pode-se observar uma tendência na sua diminuição no decorrer dos ensaios. Todos os valores obtidos podem ser classificados como uma irrigação excelente (PEIXOTO, CHAVES; GUERRA, 2005), pois se encontram abaixo de 0,1%. Comparando-se com o tratamento com carga hidráulica de 1,0 m, os valores são bem menores, talvez em virtude da carga hidráulica utilizada no presente tratamento, que proporcionou uma menor variabilidade.

A Tabela 35 apresenta o comportamento do sistema no decorrer das irrigações para o tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m. Este tratamento compreende 25 ensaios, devido a sua posterior aplicação no controle estatístico de processo.

Diferentemente do tratamento com carga hidráulica de 1,0 m, a uniformidade de emissão (UE), aqui obtida, está na faixa acima de 90% e os valores determinados são classificados como excelente (ASAE, 1996), exceto para o ensaio 9 (88,31%) que é classificado como bom.

LIU e HUANG (2009) realizaram experimentos laboratoriais para avaliar o entupimento dos emissores e determinaram valores médios de 98% para a irrigação, bem elevados quando comparados aos obtidos no presente trabalho.

Com relação ao coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), todos os ensaios apresentaram valores superiores a 90%, alguns chegando a atingir 97,20%, estando todos os valores acima do mínimo aceitável para este método de irrigação.

**Tabela 35** Resultados obtidos para o coeficiente de variação de vazão (CVQ), coeficiente de uniformidade de emissão (UE) e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) no tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m

Irrigação N°	q média (L h <sup>-1</sup> )	q 25 % (L h <sup>-1</sup> )	CVQ (%)	UE (%)	CUC (%)
1	0,676	0,631	0,058	93,30	95,12
2	0,630	0,575	0,069	91,27	94,76
3	0,669	0,612	0,087	93,46	92,20
4	0,637	0,575	0,076	90,20	93,40
5	0,620	0,575	0,079	92,93	93,45
6	0,636	0,581	0,073	91,40	93,90
7	0,580	0,525	0,086	90,56	93,10
8	0,620	0,556	0,069	90,13	94,50
9	0,601	0,531	0,084	88,31	93,50
10	0,721	0,675	0,050	93,65	95,80
11	0,750	0,693	0,061	92,65	95,70
12	0,732	0,675	0,053	92,20	95,36
13	0,761	0,731	0,040	95,77	97,00
14	0,767	0,740	0,038	96,54	96,90
15	0,754	0,703	0,048	93,22	96,30
16	0,746	0,703	0,040	94,24	97,20
17	0,748	0,712	0,033	95,19	96,60
18	0,759	0,718	0,045	94,66	96,40
19	0,754	0,715	0,046	94,83	92,80
20	0,755	0,728	0,030	96,54	94,10
21	0,743	0,709	0,032	95,26	94,60
22	0,740	0,712	0,034	96,59	97,00
23	0,750	0,706	0,038	94,34	97,20
24	0,732	0,700	0,041	95,63	96,40
25	0,734	0,709	0,032	96,57	97,00

SOUZA *et al.* (2008) avaliaram o desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento em vila rural e obtiveram uma média de 93,7% para o CUC e 89,3% para a UE, sendo estes um pouco inferiores aos determinados neste estudo. MAHAJAN e SINGH (2006) investigaram o efeito da irrigação e fertirrigação sobre a cultura do tomate e obtiveram valores para o CUC de 92,6% na irrigação, inferiores à média determinada nos ensaios realizados neste estudo.

#### 4.5.2 FERTIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE PROCESSAMENTO DE MANDIOCA

A Tabela 36 apresenta o comportamento do sistema de irrigação no decorrer dos ensaios para o tratamento com aplicação de água residuária de processamento de mandioca diluída e carga hidráulica de 1,0 m.

Os valores referentes aos coeficientes de variação de vazão (CVQ) estão muito próximos, não apresentando grande variabilidade entre eles, os dados são homogêneos já que seu coeficiente de variação foi de 9,58% (PIMENTEL GOMES, 2000). Todos os valores podem ser classificados como uma irrigação muito boa, pois se encontram entre 0,1 e 0,2%. Assim como no tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,0 m, nota-se que o menor valor de CVQ propiciou o maior de CUC e que o maior CVQ resultou em um valor inferior para o CUC.

**Tabela 36** Resultados obtidos para o coeficiente de variação de vazão (CVQ), coeficiente de uniformidade de emissão (UE) e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) no tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,0 m

Fertigação N°	q média (L h <sup>-1</sup> )	q 25% (L h <sup>-1</sup> )	CVQ (%)	UE (%)	CUC (%)
1	0,561	0,446	0,148	79,50	86,57
2	0,545	0,430	0,160	78,90	85,80
3	0,530	0,430	0,136	81,13	88,90
4	0,499	0,410	0,157	82,16	86,70
5	0,492	0,410	0,125	83,33	90,35
6	0,492	0,400	0,135	81,30	89,60

Para a uniformidade de emissão (UE) nos dois primeiros ensaios, os valores indicam uma irrigação aceitável, enquanto que para os demais é classificada como boa. O menor valor de CVQ forneceu a melhor UE e o maior CVQ resultou em valores inferiores de UE.

Essas relações vêm ao encontro dos resultados descritos por LIU & HUANG (2009) que realizaram um experimento em laboratório para investigar o entupimento padrão do emissor com aplicação de água e de efluentes de esgoto tratado. O CVQ foi maior para a água residuária do que para a água potável. Os valores de CVQ aumentaram com o tempo de tratamento, enquanto os valores da UE e CUC diminuíram.

Para o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) foi obtido apenas um valor acima de 90%, os demais estão na faixa de varia entre 80 e 90%, sendo que 80% é o valor mínimo admitido por alguns autores (BERNARDO, SOARES; MANTOVANI, 2005).

Nota-se que os dois coeficientes de uniformidade aplicados possuem médias inferiores quando comparadas ao tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,0 m que utilizou a mesma carga hidráulica, o que pode ser justificado pela qualidade da água residuária que apresentava concentrações mais elevadas de sólidos suspensos, influenciando na qualidade da fertigação.

A Tabela 37 apresenta o comportamento do sistema no decorrer das irrigações para o tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,5 m. Este tratamento compreende 25 ensaios, devido a sua posterior aplicação no controle estatístico de processo.

Os valores do coeficiente de variação de vazão (CVQ) possuem heterogeneidade entre si, pois o coeficiente de variação foi de 12,89% (PIMENTEL GOMES, 2000). Todos os dados foram classificados como uma irrigação muito boa, pois estão entre 0,1 e 0,2%. Em comparação ao tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m, que utilizou a mesma carga hidráulica, sua média foi maior, em função do tipo de água aplicada.

**Tabela 37** Resultados obtidos para o coeficiente de variação de vazão (CVQ), coeficiente de uniformidade de emissão (UE) e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) no tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,5 m

Fertigação N°	q média (L h <sup>-1</sup> )	q 25 % (L h <sup>-1</sup> )	CVQ (%)	UE (%)	CUC (%)
1	0,517	0,430	0,140	83,17	88,30
2	0,510	0,450	0,101	88,23	91,90
3	0,642	0,520	0,137	81,00	89,50
4	0,642	0,440	0,137	68,53	89,50
5	0,572	0,450	0,146	78,67	88,50
6	0,577	0,440	0,154	76,26	87,70
7	0,637	0,520	0,138	81,63	89,40
8	0,540	0,420	0,175	77,77	86,10
9	0,540	0,430	0,158	79,63	86,60
10	0,550	0,440	0,142	80,00	88,60
11	0,545	0,440	0,144	80,73	88,30
12	0,532	0,400	0,177	75,19	85,80
13	0,507	0,400	0,172	78,89	86,70
14	0,487	0,370	0,183	75,97	86,80
15	0,495	0,410	0,138	82,83	89,90
16	0,500	0,410	0,134	82,00	89,50
17	0,497	0,400	0,150	80,48	88,50
18	0,505	0,420	0,126	83,17	90,40
19	0,507	0,430	0,121	84,81	91,02
20	0,500	0,400	0,140	80,00	89,00
21	0,492	0,390	0,153	79,27	88,30
22	0,480	0,370	0,161	77,08	88,60
23	0,472	0,380	0,140	80,51	90,20
24	0,472	0,380	0,140	80,51	90,20
25	0,470	0,360	0,172	76,59	87,50

BARGUÉS *et al.* (2005) avaliaram a performance hidráulica de sistema de irrigação por gotejamento com a utilização de efluente doméstico tratado, no qual o CVQ obteve valores inferiores a 0,10%, indicando uma classificação excelente, diferente da obtida nos ensaios aqui relatados.

LI, MENG e LI (2006) determinaram a uniformidade da fertigação por gotejamento e obtiveram valores de CVQ de 0,276, superiores aos relatados neste estudo e classificado, segundo PEIXOTO, CHAVES e GUERRA (2005), como aceitável.

A uniformidade de emissão (UE) obteve 10 ensaios como valores que indicam uma irrigação aceitável e os demais dados promoveram uma classificação boa para o sistema. Os valores estão bem inferiores aos descritos para o tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m, além de apresentarem maior variabilidade entre si.

LIU e HUANG (2009) em testes laboratoriais com efluente doméstico tratado obtiveram índices médios de UE de 81,4%, acima dos obtidos nesta pesquisa, porém semelhantes.

BARGUÉS *et al.* (2005) estudaram a performance hidráulica de sistema de irrigação por gotejamento com a utilização de efluente doméstico tratado e determinaram a UE com valores que variaram entre 88 e 92%, classificados entre bom e excelente. Esses dados se encontram bem acima dos descritos na nesta pesquisa, o que pode ser devido à qualidade da água aplicada, pois o CVQ determinado também foi superior, promovendo um decréscimo dos valores de UE.

Nos valores obtidos para o coeficiente de uniformidade Christiansen (CUC), 4 ensaios encontram-se acima de 90% e o restante está entre 80 e 90%. A média também foi inferior a avaliada para o tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1, 5 m. No geral, os valores indicam uma irrigação que variou entre aceitável e muito boa.

Assim como nos demais tratamentos, o menor valor do CVQ indicou as maiores uniformidades tanto para a UE quanto para o CUC, no entanto, o maior CVQ não obteve os menores valores para os coeficientes de uniformidade.

BAUMGARTNER *et al.* (2007) aplicaram águas residuárias da piscicultura e suinocultura. No tratamento com efluentes de peixes os valores de CUC foram acima de 85% e para os efluentes de suínos, o CUC foi de 74,05%, indicando que este apresenta maior potencial de entupimento de gotejadores.

CUNHA *et al.* (2006) avaliaram a aplicação de águas residuárias da despolpa dos frutos de cafeeiro e concluíram que, tanto as águas brutas quanto as águas tratadas, apresentaram potencial de entupimento de gotejadores. Com apenas 36 horas de funcionamento a água bruta propiciou redução no CUC de 100% e para a água tratada o CUC teve redução de 76%, após 144 h de funcionamento do sistema.

#### **4.6 TESTE DE NORMALIDADE E AUTOCORRELAÇÃO**

Os dados de irrigação referentes ao coeficiente de variação de vazão (CVQ) apresentaram normalidade pelo teste de Ryan-Joiner e os coeficientes de uniformidade de emissão (UE) e de uniformidade de Christiansen (CUC) por meio do teste de Anderson-Darling, não havendo necessidade de nenhuma transformação do tipo box-cox. Na fertigação, todos os coeficientes obtiveram normalidade pelo teste de Anderson Darling.

Todos os coeficientes do tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m apresentaram autocorrelação, não sendo recomendada a aplicação dos gráficos de controle (MONTGOMERY, 2004). No entanto os autores descrevem a possibilidade da retirada dos dados que estejam influenciando o processo. Assim, para o CVQ e a UE houve a necessidade de retirada de sete amostras e do CUC foram retirados seis dados, eliminado-se a existência de autocorrelação. Os dados do tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,5 m não apresentaram autocorrelação, portanto não foram retiradas amostras.

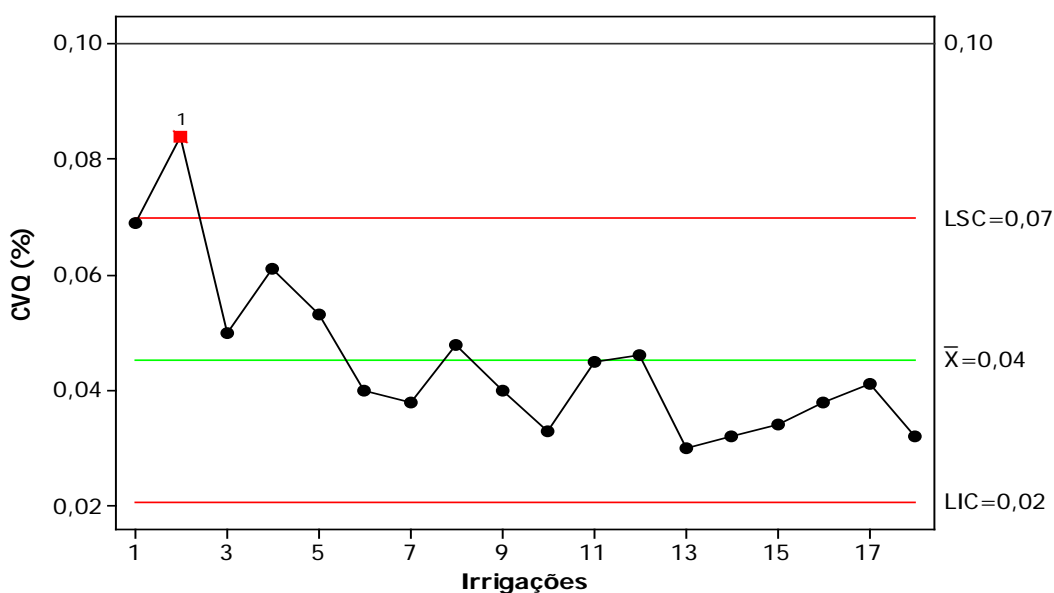
## 4.7 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO

### 4.7.1 IRRIGAÇÃO

Para controlar a qualidade, MONTGOMERY (2004) diz que é necessária a identificação e a medição das variações ocorridas no processo por meio dos gráficos de controle, pois estes servem para determinar se as variações que ocorrem são devidas a causas assinaláveis ou a causas aleatórias. Por isso foram construídos gráficos com os valores dos coeficientes de variação e de uniformidade objetivando avaliar a qualidade do sistema de irrigação por gotejamento.

Após a realização dos testes de normalidade e autocorrelação, foram gerados os gráficos de controle para os coeficientes de variação e de uniformidade referentes ao tratamento com carga hidráulica de 1,5 m.

A Figura 16 apresenta o gráfico referente ao coeficiente de variação de vazão (CVQ) ao longo dos 18 ensaios de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m.



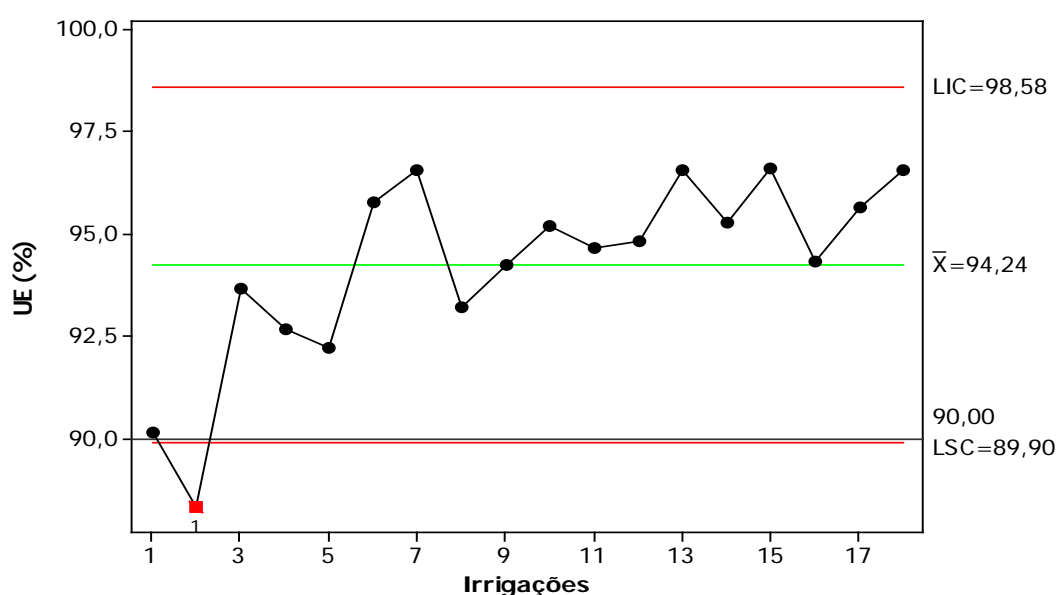
**Figura 16** Gráfico de controle de medidas individuais para o coeficiente de variação de vazão (CVQ) no tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m.

Observa-se que este se apresenta fora de controle estatístico, porquanto possui um ponto fora do limite superior de controle (LSC = 0,07%), além da existência de periodicidade, ou seja, uma tendência de vários pontos consecutivos do lado inferior da linha central, próximos ao limite inferior de controle (LIC = 0,02%) e poucos pontos se encontram distribuídos próximos da linha média ( $\bar{X} = 0,04\%$ ). Pode-se verificar que no decorrer dos

ensaios houve um movimento contínuo de mais de sete pontos em uma direção descendente, contribuindo para a falta de controle durante o processo.

Ressalta-se que, embora todos os valores de CVQ sejam classificados como excelente, pois se encontram todos abaixo do valor de 0,1%, o que pode ser observado por meio da Figura 16, o processo mostrou não estar sob controle estatístico, pois apresentou diversos indicativos da falta de controle.

Na Figura 17 encontra-se o gráfico de controle para medidas individuais com a distribuição dos 18 ensaios referentes ao coeficiente de uniformidade de emissão (UE) para a irrigação com carga hidráulica de 1,5 m.



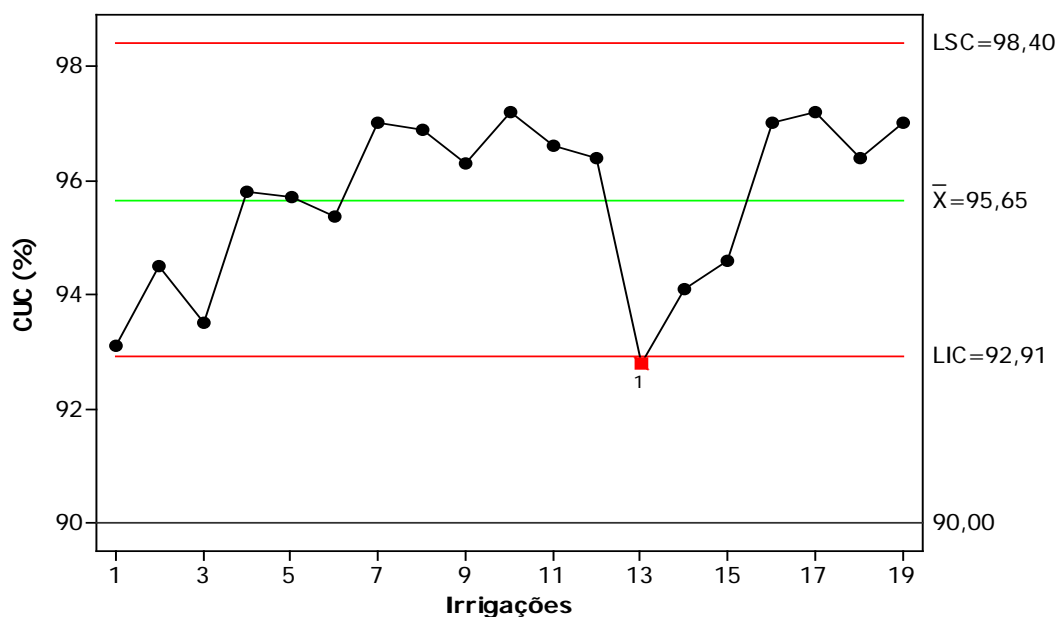
**Figura 17** Gráfico de controle de medidas individuais para o coeficiente de uniformidade de emissão (UE) no tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m.

Assim como para o CVQ, a uniformidade de emissão também se encontra fora de controle estatístico, porquanto a irrigação 2 apresenta-se fora do limite inferior de controle (LIC = 89,90%). Quando o gráfico mostra que algum ponto encontra-se fora do limite de controle e principalmente quando o ponto situa-se abaixo do limite inferior de controle indica que este deve merecer uma atenção especial e ser investigado (JACOBI, SOUZA; PEREIRA, 2002).

Além disso, observa-se uma tendência entre os ensaios 10 e 18 que estão dispostos acima da linha média ( $\bar{X} = 94,24\%$ ). Pode-se visualizar que, no decorrer dos ensaios, houve ascendência dos pontos, ou seja, um aumento gradual no valor da UE, promovendo a ocorrência da falta de controle durante o processo. Isso pode ocorrer, segundo WERKEMA (1995), devido a mudanças sistemáticas nas condições ambientais ou em alguma variável dos equipamentos utilizados.

Muitos pontos encontram-se próximos da linha média, dentro dos limites centrais de  $1,5\sigma$ , apresentando uma variabilidade menor do que a esperada e o ponto que está fora de controle, apresenta um valor inferior a 90%, sendo o único que não apresenta uma uniformidade classificada como excelente.

A Figura 18 apresenta o gráfico de controle para as medidas individuais com a distribuição dos 19 ensaios referentes ao coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para a irrigação com carga hidráulica de 1,5 m.



**Figura 18** Gráfico de controle de medidas individuais para o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) no tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m.

Verifica-se que a irrigação 13 encontra-se abaixo do limite inferior de controle (LIC = 92,91%) e que nenhum apresentou valor maior que o limite superior de controle (LCL = 98,40%). Exceto pela irrigação 13, todas as demais estiveram sob controle, porém com uma grande variabilidade em relação à linha média ( $\bar{X} = 95,65\%$ ).

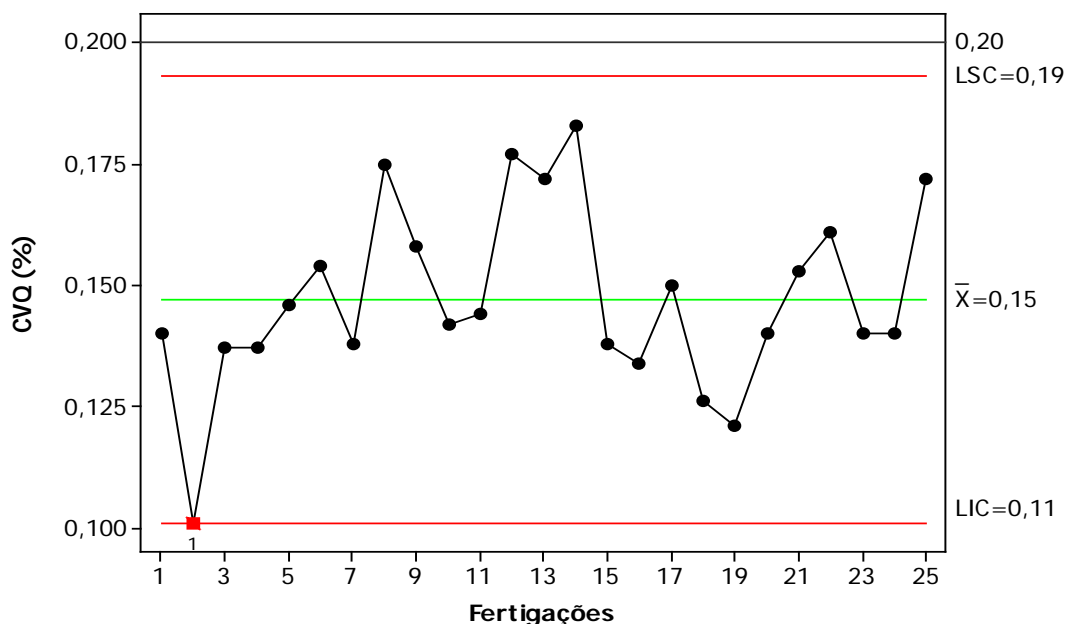
Podem ser analisados alguns indicativos de falta de controle de processo, como a existência de uma sequência de valores consecutivos na parte de cima do gráfico dos ensaios 7 a 12, sendo que além da própria ocorrência de um ponto fora dos limites de controle. Ressalta-se que todas as irrigações foram superiores a 90%, indicando uma classificação excelente.

JUSTI (2008) aplicou cartas de controle  $\bar{X}$  para o coeficiente de uniformidade de Christiansen em um sistema de irrigação por aspersão e observou a existência de um ponto fora do limite superior de controle, sendo que, de maneira geral, o gráfico apresentou um comportamento semelhante ao descrito no presente estudo.



#### 4.7.2 FERTIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE PROCESSAMENTO DE MANDIOCA

A Figura 19 apresenta o gráfico referente ao coeficiente de variação de vazão (CVQ) ao longo dos 25 ensaios de fertigação com carga hidráulica de 1,5 m.

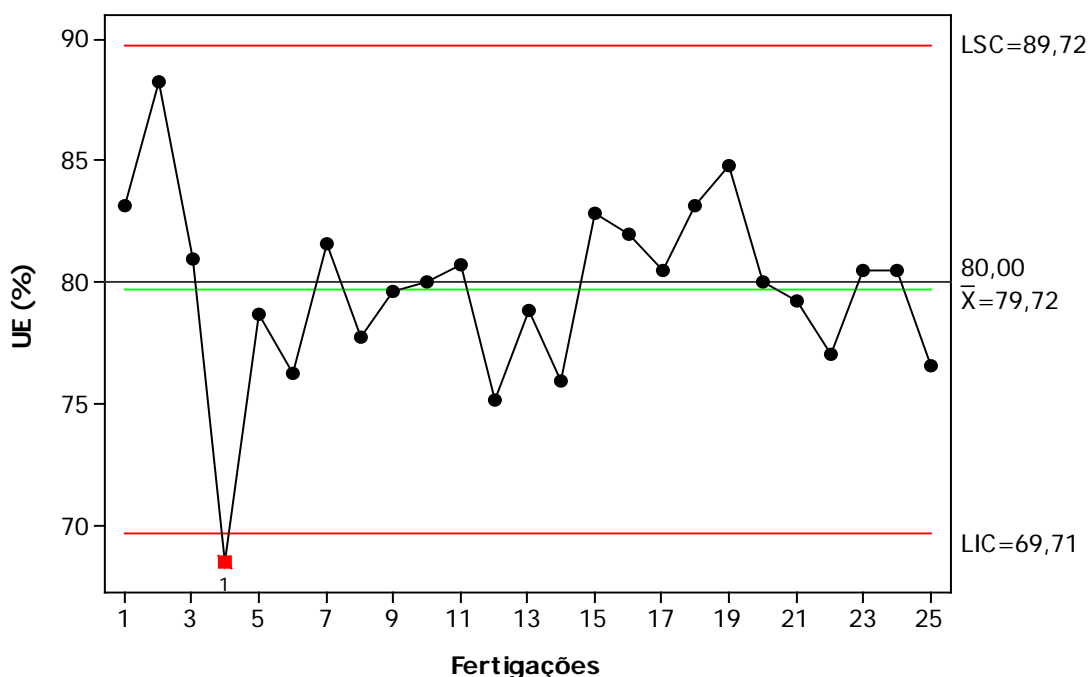


**Figura 19** Gráfico de controle de medidas individuais para o coeficiente de variação de vazão (CVQ) no tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,5 m.

Observa que o processo encontra-se fora de controle estatístico, pois a irrigação 2 se apresenta fora do limite inferior de controle (LIC = 0,11%). No entanto, não há a ocorrência de tendências de vários pontos de um mesmo lado do gráfico ou de ascendência e descendência de dados. Diferentemente do observado na Figura 16, não houve uma diminuição gradual do valor de CVQ no decorrer do tempo.

Mesmo que todos os valores indiquem que a irrigação mostrou-se boa, pois todas as fertigações encontram-se entre 0,1 e 0,2%, o gráfico demonstra que o processo está fora de controle, pois apresenta um ponto fora de controle.

Na Figura 20 encontra-se o gráfico de controle para medidas individuais referentes ao coeficiente de uniformidade de emissão (UE) para a fertigação com carga hidráulica de 1,5 m.



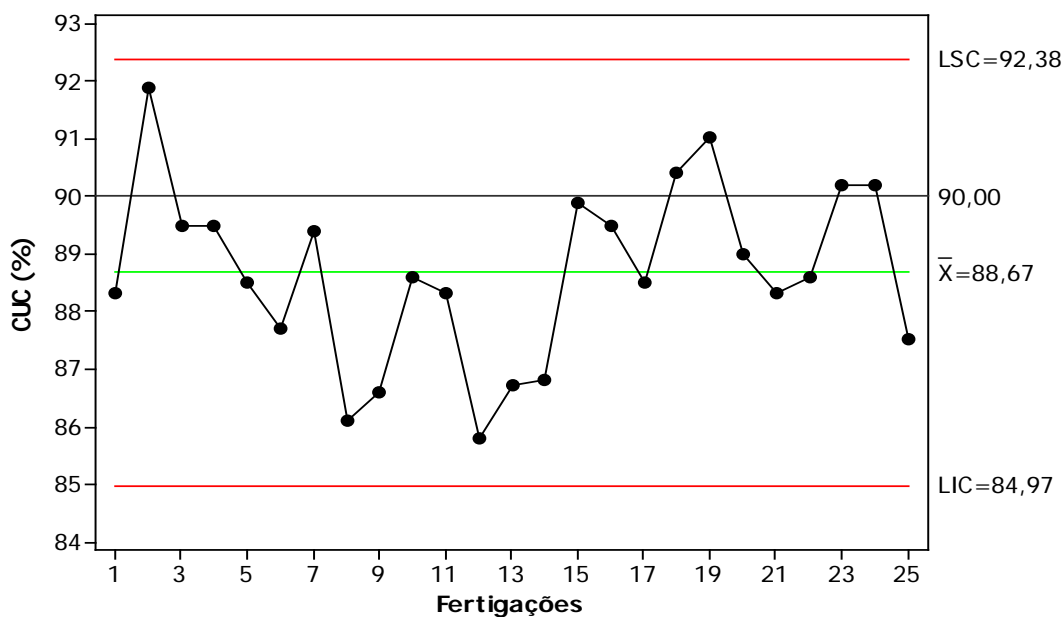
**Figura 20** Gráfico de controle de medidas individuais para o coeficiente de uniformidade de emissão (UE) no tratamento de fertigação com carga hidráulica de 1,5 m.

O gráfico de UE teve um comportamento muito semelhante ao de CVQ, pois este também se encontra fora de controle estatístico, apresentando um ponto fora do limite inferior de controle (LIC = 69,71%). Não houve ocorrência de tendências, porém a maioria dos dados se encontra próxima à linha média ( $\bar{X} = 79,72\%$ ).

O ponto que está fora de controle se apresenta com valor inferior a 70%, classificado como ruim e os demais considerados como aceitáveis a bons, pois se encontram na faixa de 70 a 90%. Com a retirada do ponto que se encontra fora dos limites de especificação este ainda estaria fora de controle, pois apresenta muitos dados em torno da linha média, o que é um indicativo de não conformidade.

A Figura 21 apresenta o gráfico de controle para as medidas individuais do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para a fertigação com carga hidráulica de 1,5 m.

Na distribuição do CUC não houve nenhum ponto fora dos limites de especificação. Além disso, como pode ser observado, não ocorreram sequências ou tendências indesejáveis e a distribuição dos valores não esteve concentrada próxima à linha média.



**Figura 21** Gráfico de controle de medidas individuais para o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) no tratamento de fertirrigação com carga hidráulica de 1,5 m.

De acordo com TRINDADE *et al.* (2000), quando as cartas de controle se apresentam como as do CUC, significa que o processo está sob controle estatístico com diminuição brusca da variação, como no caso do gráfico referente à Figura 21.

Observa-se também que considerando a uniformidade mínima de 80%, todos os valores encontram-se acima, sendo que em cinco fertirrigações os valores foram superiores a 90%, indicando uma qualidade muito boa quanto ao CUC.

JUSTI (2008) aplicou cartas de controle  $\bar{X}$ , para o coeficiente de uniformidade de Christiansen na fertirrigação, em um sistema de irrigação por aspersão e diferentemente deste estudo, seu processo esteve fora de controle estatístico, pois apresentou um ponto fora do limite inferior de especificação além de uma sequência de 11 pontos acima da linha média, comprometendo o processo.

LOPES e PARENTE (2005) utilizaram o gráfico de controle de Shewart em uma indústria de filmes fotográficos do distrito industrial de Manaus e também obtiveram um processo que não apresentou nenhum ponto sobre ou fora dos limites de controle e nenhuma configuração especial (não aleatória), estas evidências mostraram que a dispersão do processo esteve sob controle estatístico.

### 4.7.3 ÍNDICE DE CAPACIDADE DE PROCESSO

Os índices de capacidade de processo (Cpk) foram determinados para os três coeficientes aplicados na irrigação e fertigação. Foram eliminados os pontos que se encontravam fora dos limites de controle dos gráficos de Shewhart para medidas individuais

Para o CVQ foi utilizada a equa o que considera apenas a existência do limite superior de especifica o, para a UE e o CUC foi aplicada a equa o que considera a existência somente do limite inferior de especifica o. Na Tabela 38 são demonstrados os valores do  ndice de capacidade do processo (Cpk) em fun o do limite superior de controle para o CVQ.

**Tabela 38**  ndice de capacidade de processo para o coeficiente de varia o de vazão (CVQ) nos tratamentos com carga hidráulica de 1,5 m

Tratamento	CVQ	Cpk LSC = 0,1%	Cpk LSC = 0,2%
Irriga�o	0,054	2,70	7,44
Fertiga�o	0,147	-1,23	1,28

Observa-se um comportamento inversamente proporcional entre os valores de CVQ e do Cpk, pois com o aumento da variabilidade da vazão houve a diminui o do  ndice de capacidade, o que significa que quando as irriga es foram mais eficientes o processo apresentou melhores  ndices.

Considerando-se a classifica o de LOPES (2009) e tendo como limite superior de controle o valor de 0,1%, pois dados menores que esta porcentagem indicam uma irriga o excelente, o  ndice para o tratamento de irriga o foi classificado como muito capaz, já para a fertiga o o  ndice foi negativo, pois nenhum dos valores se encontrava abaixo desta porcentagem.

Utilizando o limite superior de controle de 0,2%, pois dados até esta porcentagem promovem uma irriga o classificada como muito boa, a irriga o obteve um  ndice muito elevado, pois nenhum valor ultrapassou o limite de 0,1%, sendo que este processo foi altamente capaz, enquanto que para a fertiga o o  ndice foi classificado como aceitável, pois esteve entre 1 e 1,33.

Em estudo realizado por CORRÊA (2007), considerando-se a utiliza o de técnicas estatísticas de processo e estabelecimento de índices de capacidade de processo em uma esta o de tratamento de água, os parâmetros apresentaram Cpk médio de 2,3, indicando que os índices poderiam ser classificados como muito capazes.

Na Tabela 39 são demonstrados os valores do  ndice de capacidade do processo (Cpk) em fun o do limite inferior de controle para a UE.

**Tabela 39** Índice de capacidade de processo para o coeficiente de uniformidade de emissão (UE) nos tratamentos com carga hidráulica de 1,5 m

Tratamento	UE	Cpk LIC = 90%	Cpk LIC = 80%	Cpk LIC = 70%
Irrigação	93,58	1,15	3,64	6,14
Fertigação	79,72	-1,21	-0,02	1,26

A UE, tanto na irrigação quanto na fertigação, foi diretamente proporcional aos valores de Cpk, pois com o aumento da uniformidade houve um acréscimo no índice de capacidade. Considerando como limite inferior uma UE de 90%, que indica uma irrigação excelente, em ambos os tratamentos os valores foram baixos, sendo que nenhum apresentou um processo capaz, pois o índice para a irrigação foi classificado como aceitável, segundo LOPES (2009), porquanto esteve entre 1,0 e 1,33 e para fertigação, o índice foi negativo, pois nenhum valor atingiu uma uniformidade acima ao limite inferior.

Quando considerado como LIC o valor de 80% de uniformidade, que promove uma irrigação boa, o índice para a irrigação pode ser classificado como muito capaz. Na fertigação ele permaneceu negativo, pois apenas onze irrigações apresentavam valores acima do limite inferior aplicado no cálculo do Cpk.

Com a utilização do LIC de 70%, que fornece uma classificação aceitável, a irrigação demonstrou ser altamente capaz e para a fertigação o índice foi classificado como aceitável.

Na Tabela 40 são demonstrados os valores do índice de capacidade do processo ( $C_{pk}$ ) em função do limite inferior de controle para o CUC.

**Tabela 40** Índice de capacidade de processo para o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) nos tratamentos com carga hidráulica de 1,5 m

Tratamento	CUC	Cpk LIC = 90%	Cpk LIC = 80%
Irrigação	95,21	2,06	5,70
Fertigação	87,69	-0,36	2,34

Assim como para a UE, o CUC também demonstrou ser diretamente proporcional aos valores do Cpk. Utilizando-se como LIC o valor de 90%, descrito como excelente para a uniformidade, a irrigação demonstrou ser capaz, enquanto que a fertigação obteve um índice negativo, pois apenas cinco valores foram superiores ao limite mínimo aplicado.

Quando foi aplicado como LIC a uniformidade de 80%, descrita como aceitável, ambos os tratamentos apresentaram, segundo LOPES (2009), índices muito capazes, pois se encontram acima do valor de 1,33.

JUSTI (2008) em ensaios de irrigação por aspersão obteve um índice de capacidade de 2,00 quando utilizou um CUC mínimo de 80 % como limite inferior, enquanto que para a fertigação o índice determinado foi de 0,06, sendo este muito baixo, mostrando que o

sistema tendeu a manter valores de CUC abaixo de 80% para obter menores índices de variabilidade.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que:

1. Nos tratamentos com água residuária de processamento de mandioca houve um decréscimo nos valores de vazão ao longo do tempo, com redução média de 20,0 e 18,8% para a carga hidráulica de 1,0 e 1,5 m, respectivamente;
2. A água utilizada para irrigação apresentou valores de pH que podem provocar risco severo de entupimento ao equipamento utilizado;
3. A qualidade da água residuária de processamento de mandioca utilizada nos tratamentos de fertigação obteve valores de turbidez fora dos padrões do CONAMA;
4. Os valores referentes ao CVQ, UE apresentaram resultados mais elevados no tratamento de irrigação com carga hidráulica de 1,5 m, sendo classificados como excelente;
5. Apenas o gráfico de medidas individuais de Shewhart do CUC, nos ensaios de fertigação, encontrou-se sob controle estatístico;
6. Os valores dos índices de capacidade de processo apresentaram uma relação com os coeficientes de uniformidade, sendo inversamente proporcionais ao CVQ e diretamente proporcionais à UE e ao CUC;
7. O índice de capacidade do processo mostrou-se capaz de diagnosticar se a irrigação tem capacidade de se manter sob controle e constante, ou seja, se será capaz de manter níveis aceitáveis de uniformidade.

## REFERÊNCIAS

- ADELI, A.; VARCO, J. J.; ROWE, D. E. Swine effluent irrigation rate and timing effects on bermuda grass growth, nitrogen and phosphorus utilization, and residual soil nitrogen. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 32, n. 2, p. 681–686, 2003.
- AHMED, B. A. O.; YAMAMOTO, T.; FUJIYAMA, H.; MIYAMOTO, K. Assessment of emitter discharge in microirrigation system as affected by polluted water. **Irrigation Drainage System**, v. 21, p. 97-107, 2007.
- AIROLDI, R. P. S. **Análise do desempenho de gotejadores e da prevenção do entupimento em irrigação com água residuária**. 2007. 140 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- AL-ABSI, K. M.; AL-NASIR, F. M.; MAHADEEN, A. Y. Mineral content of three olive cultivars irrigated with treated industrial wastewater. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 4, p. 616-626, 2008.
- AL-NAKSHABANDI, G. A.; SAQQAR, M. M.; SHATANAWI, M. R.; FAYYAD, M.; AL-HORANI, H. Some environmental problems associated with the use of treated waste water for irrigation in Jordan. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 34, n. 1, p.81-94, 1997.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - ASAE. **Standard engineering practices data**: EP458. Field evaluation of microirrigation systems. St. Joseph: ASAE 1996. p. 772-797.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR ISO 9261. **Equipamentos de irrigação agrícola** - Emissores e tubos emissores - Especificação e métodos de ensaio. São Paulo, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE AMIDO DE MANDIOCA – ABAM. **Levantamento estimativo de produção e venda - 2001/2002**. Paranavaí: Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca. Brasil, 2001.
- BARGUÉS, J. P.; ARBAT, G.; BARRAGÁN, J.; RAMÍREZ DE CARTAGENA, F. Hydraulic performance of drip irrigation subunits using WWTP effluents. **Agricultural Water Management**, v. 77, p. 249-262, 2005.
- BARRINGTON, S.; ALI, I.; MORIN, S.; WHALEN, J. Systems for the sustainable management of agricultural wastewaters. **Water Resources Management**, v. 103, p. 377-386, 2007.
- BASSO, C.; VILLAFANE, R.; TORRES, S. Evaluación de la uniformidad del riego y efecto del fertirriego nitrogenado en un huerto de lechosa (*Carica papaya L.*). **Bioagro**, Barquisimeto, v. 20, n. 2, p. 105-110, 2008.
- BATISTA, R. O.; LO MONACO, P. A.; MATOS, A. T.; CUNHA, F. F. Alteração na vazão de gotejadores tipo fita utilizados na aplicação de água residuária da despolpa de frutos do cafeeiro. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 13, n. 2, p. 69-73, 2005a.



BATISTA, R. O.; MATOS, A. T.; CUNHA, F. F.; MONACO, P. A. Obstrução de gotejadores utilizados para a aplicação de água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 3, p. 288-294, 2005b.

BAUMGARTNER, D.; SAMPAIO, S. C.; SILVA, T. R.; TEO, C. R. P. A.; VILAS BOAS, M. A. Reúso de águas residuárias da piscicultura e da suinocultura na irrigação da cultura da alface. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p.152-163, 2007.

BERNARDO, M. M. P.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: UFV, 2005. 711 p.

BHARDWAY, A. K.; GOLDSTEIN, D.; AZENKOT, A.; LEVY, G. J. Irrigation with treated wastewater under two different irrigation methods: Effects on hydraulic conductivity of a clay soil. **Geoderma**, v. 140, p. 199-206, 2007.

BHAT, R.; SUJATHA, S. Soil fertility and nutrient uptake by arecanut (*Areca catechu* L.) as affected by level and frequency of fertigation in a laterite soil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 3, p. 445-456, 2008.

BHATTARAI, S. P.; MIDMORE, D. J.; PENDERGAST, L. Yield water-use efficiencies and root distribution of soybean, chickpea and pumpkin under different subsurface drip irrigation depths and oxygenation treatments in vertisols. **Irrigation Science**, Heidelberg, v. 26, n. 5, p. 439-450, 2008.

BLUM, J. R. C. Critérios e padrões de qualidade da água. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. das. **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. p. 125-174.

BORSZOWSKI, P. R.; MILLÉO, R. D. D.; AHRENS, D. C.; ROMANIW, J. Utilização de manipueira como adubo natural alternativo para a cultura do morangueiro (*Fragaria x ananassa Duch.*). **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, v. 4, n. 2, 2009.

BRALTS, F. V.; KESNER, D. C. Drip irrigation field uniformity estimation. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 26, n. 5, p. 1369–1374, 1983.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário oficial da União**, Brasília, 18 de março de 2005.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. **Agricultural water management**, v. 68, p. 135-149, 2004.

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. **Manejo de irrigação por gotejamento para aplicação de água residuária visando a minimização do entupimento de emissores**. 2004. 130 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CEREDA, M. P. (Coord.) **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. São Paulo: Fundação Cargill, 2001. 320 p. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas, v.4).

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkely: University of California, Experiment Station, 1942. 124 p.

CHRISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. **Item**, Brasília, v. 49, n. 1, p.8-13, 2001.

CORRÊA, J. M. **Estudo do controle e análise da capacidade de processo de produção de água potável**. 2007. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

COSTA, A. F. B.; EPPRESCHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle estatístico de qualidade**. São Paulo: Atlas, 2004.

COSTA, C. P. M.; ELOI, W. M.; CARVALHO, C. M.; JÚNIOR, M. V.; SILVA, M. A. N. Caracterização qualitativa da água de irrigação na cultura da videira no município de Brejo Santo, Ceará. **Biologia e Ciências da Terra**, João Pessoa, v. 5, n. 2, 2005.

COSTA J. M.; ORTUNÃ M. F.; CHAVES M. M. Deficit irrigation as a strategy to save water: physiology and potential application to horticulture. **Journal of Integrative Plant Biology**, Beijing, v. 49, n. 10, p. 1421–1434, 2007.

CUNHA, F. F.; MATOS, A. T.; BATISTA, R. O.; MONACO, P. A. L. Uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação por gotejamento utilizando água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 143-147, 2006.

DAZHUANG, Y.; ZHIHUI, B.; ROWAN, M.; LIKUN, G.; SHUMEI, R.; PEILING, Y. Biofilm structure and its influence on clogging in drip irrigation emitters distributing reclaimed wastewater. **Journal of Environmental Sciences**, v. 21, p. 834-841, 2009.

DURAN-ROS, M.; PUIG-BARGUÉS, J.; ARBAT, G.; BARRAGÁN, J.; RAMÍREZ DE CARTAGENA, F. Effect of filter, emitter and location on clogging when using effluents. **Agricultural Water Management**, v. 96, p. 67-79, 2009.

ELLA, V. B.; REYES, M. R.; YODER, R. Effect of hydraulic head and slope on water distribution uniformity of low-cost drip irrigation system. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 25, n. 3, p. 349-356, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação do Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1999, 306 p.

ESTRELA, C. C. **Variabilidade espacial e temporal da qualidade da água de irrigação no sistema de produção de morango em propriedades familiares no município de Turuçu-RS**. 2008. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

FAGANELLO, C. R. F.; FOLEGATTI, M. V.; GONÇALVES, R. A. B.; LUCAS, A. A. T. Uso da água de irrigação e gestão de recursos hídricos na microbacia do Ribeirão dos Marins do município de Piracicaba/SP. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 4, p. 456-470, 2007.

FARIA, L. F.; COELHO, R. D.; FLECHA, P. A. N.; ROBLES, W. G. R.; VÁSQUEZ, M. A. N. Entupimento de gotejadores e seu efeito na pressão da rede hidráulica de um sistema de microirrigação. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 195-198, 2002.

FERNANDES, J. G.; FREIRE, M. B. G. S.; CUNHA, J. C.; GALVÍNCIO, J. D.; CORREIA, M. M.; SANTOS, P. R. Qualidade físico-química das águas utilizadas no perímetro irrigado Cachoeira II, Serra Talhada, Pernambuco. **Ciências Agrárias**, Recife. v. 4, n. 1, p. 27-34, 2009.

FERNANDES, A. L. T.; COELHO, R. D.; BOTREL, T. A. Avaliação do desempenho hidráulico da bomba injetora Indek, para fertirrigação. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 409-414, 2003.

FIORETTO, R. A. Uso direto da manipeuira em fertirrigação. **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. São Paulo: Fundação Cargill, 2001. (Série: Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas, v.4).

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

FRAVET, A. M. M. F.; CRUZ, R. L. Qualidade da água utilizada para irrigação de hortaliças na região de Botucatu-SP. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 2, p. 144-155, 2007.

FRIEDMAN, H.; BERNSTEIN, N.; BRUNER, M.; ROT, I.; BEN-NOON, Z.; ZURIEL, A.; ZURIEL, R.; FINKELSTEIN, S.; UMIEL, N.; HAGILADI, A. Application of secondary-treated effluents for cultivation of sunflower (*Helianthus annuus L.*) and celosia (*Celosia argentea L.*) as cut flowers. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 115, n. 1, p. 62-69, 2007.

GAMEIRO, A. H. *et al.* **A indústria do amido de mandioca**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003, 90 p.

GONÇALVES, R. A. B. *et al.* Diagnóstico da aplicação de águas residuárias da suinocultura na cafeicultura irrigada. II. Avaliação da uniformidade de aplicação de água. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 3, p. 402-414, 2006.

GROXKO, M. **Mandioca**. Prognóstico da safra paranaense 2001/2002. Curitiba: Deral/Seab, 2001. p. 49-54.

HOWELL, T. Drops of life in the history of irrigation. **Irrigation Journal**, Berlim, v. 50, n. 1, p.1-8, 2000.

INFANTE, P.; DIAS, J. R. Carta X com Amostras de Tamanho Variável: Um Novo Procedimento Dinâmico. **Investigação Operacional**, Lisboa, v. 26, n. 1, p.45-63, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção municipal: 2007**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2009.

JACOBI, L. F.; SOUZA, A. M.; PEREIRA, J. E. S. Gráfico de controle de regressão aplicado na monitoração de processos. **Revista Produção**, Florianópolis, v. 12, n. 1, p. 46-59, 2002.

SILVA JUNIOR, M. J.; MEDEIROS, J. F. Desenvolvimento de obstruções em gotejadores e eficiência do controle usando dois tipos de ácidos. **Irriga**, Botucatu. v. 12, n. 2, p. 185-191, 2007.

JUSTI, A. L. **Irrigação e fertirrigação em um sistema de aspersão convencional submetido a técnicas de controle estatístico de qualidade**. 2008. 66 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2008.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transaction of the. ASAE**, St Joseph, v. 17, n. 4, p. 678–684, 1974.

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

KIZILOGLU, F. M.; TURAN, M.; SAHIN, U.; KUSLU, Y.; DURSUN, A. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea L. var. botrytis*) and red cabbage (*Brassica oleracea L. var. rubra*) grown on calcareous soil in Turkey. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, n. 6, p. 716-724, 2008.

LAMO, P. R.; MENEZES, T. J. B. Bioconversão das águas residuais de processamento de mandioca para produção de biomassa. **Col. Int. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 10, p. 1-14, 1979.

LI, J.; MENG, Y.; LI, B. Field evaluation of fertigation uniformity as affected by injector type and manufacturing variability of emitters. **Irrigation Science**, Heidelberg, v. 25, n. 2, p. 117-125, 2006.

LIU, H.; HUANG, G. Laboratory experiment on drip emitter clogging with fresh water and treated sewage effluent. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 5, p. 745-756, 2009.

LOPES, L. F. D. **Controle estatístico de processo** – Apostila. Santa Maria: DE – CEEMQ - UFSM, 2007. 70 p. Disponível em: [www.felipelopes.com](http://www.felipelopes.com). Acesso em: 20 jun. 2009.

LOPES, E. L.; PARENTE, R. C. P. Construção de gráfico de controle e índice de capacidade estimando o desvio padrão através dos quartis – uma aplicação em dados de uma indústria de filmes fotográficos do distrito de Manaus. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 25. **Anais...** Porto Alegre, 2005. p.

MANTOVANI, E. C.; RAMOS, M.M. Manejo da irrigação. In **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: EMBRAPA, 1994. cap. 5, p.129-158.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L.; MORETTI, C. L. **Irrigação e fertirrigação do meloeiro por gotejamento**. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças, 2001. (Circular Técnica n. 25).

MAHAJAN, G.; SINGH, K. G. Response of Greenhouse tomato in irrigation and fertigation. **Agricultural Water Management**, v. 84, p. 202-206, 2006.

MELO, R. F.; FERREIRA, P. A.; RUIZ, H. A.; MATOS, A. T.; OLIVEIRA, L. B. Alterações físicas e químicas em três solos tratados com água residuária de mandioca. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 4, p.383-392, 2005.

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

MILAN, M.; FERNANDES, R. A. T. Qualidade das operações de preparo de solo por controle estatístico de processo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 261-266, 2002.

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

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC livros Técnicos e Científicos, 2001. 513 p.

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

NASCIMENTO, J. M. S. **Desenvolvimento e avaliação hidráulica de um sistema de gotejamento por gravidade para pequenas propriedades**. 2006. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

OLIVEIRA, M. V. A.; VILLAS BÔAS, R. L. Uniformidade de distribuição do potássio e do nitrogênio em sistema de irrigação por gotejamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 95-103, 2008.

PARANYCHIANAKIS, N. V.; ANGELAKIS, A. N.; LEVERENZ, H.; TCHOBANOGLOUS, G. Treating wastewater through land treatments systems: a review of treatment mechanisms and plant functions. **Environmental Science & Technology**, Washington, v. 40, n. 1, p. 187-259, 2006.

PAYERO, J. O.; TARKALSON, D. D.; IRMAK, S.; DAVISON, D.; PETERSEN, J.L. Effect of irrigation amounts applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency, and dry matter production in a semiarid climate. **Agricultural Water Management**, v. 95, n. 8, p. 895-908, 2008.

PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 465-473, 2000.

PEARN, W. I.; LIN, P. C. Measuring process yield base don the capability index Cpm., **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Londres, v. 24, n. 7, p. 503-508, 2004.

PEIXOTO, J. F. S.; CHAVES, L. H. G.; GUERRA, H. O. C. Uniformidade de distribuição da fertirrigação no distrito de irrigação Platô de Neópolis. **Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 5, n. 2, 2005.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14. Ed. Piracicaba: Degaspari, 2000. 477 p.

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

PLETSCH, T. A.; CRUZ, R. L.; MAZZER, H. R.; OLIVEIRA, E. F. Desempenho de gotejadores com uso de esgoto doméstico tratado. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 2, p. 243-253, 2009.

RAFAELLI, D.; VILAS BOAS, M. A.; OPAZO-URIBE, M. A. Controle de qualidade e avaliação da capacidade do processo de fabricação de ração monitorando-se o teor de proteína bruta, teor de água e atividade de urease no farelo de soja utilizado como matéria-prima. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 229-237, 2002.

RESENDE, R. S.; COELHO, R. D.; PIEDADE, S. M.S. Suscetibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p.368-375, 2000.

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

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. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 295-301, 2005a.

RIBEIRO, T. A. P.; AIROLDI, R. P. S.; PATERNIANI, J. E. S.; SILVA, M. J. M. Efeito da qualidade da água na perda de carga em filtros utilizados na irrigação localizada. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 1-6, 2005b.

RUSSO, S. L. **Gráficos de controle para variáveis não-conformes autocorrelacionadas**. 2002. 120 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

SAHIN, U.; ANAPAL, O.; DONMEZ, M. F.; SAHIN, F. Biological treatment of clogged emitters in a drip irrigation system. **Journal of Environment Management**, Berkeley, v. 76, n. 4, p. 338-341, 2005.

SAMPAIO, S. C.; SILVESTRO, M. G.; FRIGO, E. P.; BORGES, C. M. Relação entre série de sólidos e condutividade elétrica em diferentes águas residuárias. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 4, p. 557-562, 2007.

SANTOS, C. G. F.; LIMA, V. L. A.; MATTOS, J. A.; VAN HAANDEL, A. C.; AZEVEDO, A. A. V. Efeito de uso de águas residuárias sobre a vazão de microaspersores. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 577-580, 2003.

SARAIVA, F. Z.; SAMPAIO, S. C.; SILVESTRE, M. G.; QUEIROZ, M. M. F.; NÓBREGA, L. H. P.; GOMES, B. M. Uso da manipueira no desenvolvimento vegetativo do milho em ambiente protegido. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 30-36, 2007.

SILVA, F. F.; FREITAS, P. S. L.; BERTONHA, A. REZENDE, R.; GONÇALVES, A. C. A.; DALLACORT, R. Flutuação das características químicas do efluente industrial de fecularia de mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 167-175, 2003.

SILVA, F. F.; FREITAS, P. S. L.; BERTONHA, A.; MUNIZ, A. S.; REZENDE, R. Impacto da aplicação de efluente maturado de fecularia de mandioca em solo e na cultura do sorgo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 4, p. 421-427, 2004.

SILVA, R. P.; SOUZA, F. G.; CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A.; VIGNA, G. P. Variabilidade espacial e controle estatístico do processo de perdas na colheita mecanizada do algodoeiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p.742-752, 2007.

SILVA, W. C. M. **Caracterização agroclimática da região de Cascavel/PR, aplicada ao cultivo do milho**. 2002. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2002.

SOUSA, J. T.; LEITE, V. D.; LUNA, J. G. Desempenho da cultura do arroz irrigado com esgotos sanitários previamente tratados. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 107-110, 2001.

SOUZA, G. P.; DOMINGOS FILHO, M.; SAMOHYL, R. W. Aplicação dos conceitos de Controle Estatístico de Processo (CEP) em uma indústria de fundição do Norte Catarinense. **Produção online**, Florianópolis, v. 7, n. 2, p.64-84, 2007.

SOUZA, J. A. R.; DENÍCULI, W.; BATISTA, R. O.; VAL, J. C. C.; MATOS, A. T. Suscetibilidade ao entupimento de microaspersores operando com água residuária de bovinocultura. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 13, n. 3, p. 155-160, 2005.

SOUZA, J. A. R.; DENÍCULI, W.; MATOS, A. T.; BATISTA, R. O.; VAL, J. C. C. Suscetibilidade ao entupimento de microaspersores operando com água residuária de avicultura. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 14, n. 1, p. 23-31, 2006.

SOUZA, T. V.; PAZ, V. P. S.; COELHO, E. F.; PEREIRA, F. A. C.; LEDO, C. A. S. Crescimento e produtividade do mamoeiro fertirrigado com diferentes combinações de fontes nitrogenadas. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 4, p. 563-574, 2007.

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

THIND, H. S.; AUJLA, M. S.; BUTTAR, G. S. Response of cotton to various levels of nitrogen and water applied to normal and paired sown cotton under drip irrigation in relation to check-basin. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, n. 1, p. 25-34, 2007.

TRINDADE, C.; REZENDE, J.L.P.; JACOVINE, L.A.G.; SARTÓRIO, M.L. Ferramentas da qualidade – aplicação na atividade florestal. Viçosa: UFV, 2000.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, J. G. F.; RAMOS, M. M.; SILVA, C. M.; CORDEIRO, E. A. Recuperação de gotejadores obstruídos devido à utilização de águas ferruginosas. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 1-6, 2004.

VIEIRA, S. R.; MILLETE, J.; TOPP, G. A.; REYNOLDS, W. D. Handbook for geoestatal analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ, V.V.H. et al (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 2, p. 1-45, 2002.

VILLAS BÔAS, R. L.; ANTUNES, C. L.; BOARETO, A. E.; SOUSA, V. F.; DUENHAS, L. H. Perfil da pesquisa e emprego da fertirrigação no Brasil. In: FOLEGATTI, M. V. *et al.* **Fertirrigação de flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, v. 2, cap. 3, p. 71-103, 2001.

WANG, X.; HUANG, G. Evaluation on the irrigation and fertilization management practices under the application of treated sewage water in Beijing, China. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, n. 9, p. 1011-1027, 2008.

WERKEMA, M. C. C. **Ferramentas da qualidade**: ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos. Belo Horizonte: FCO - UFMG, 1995. 404 p.