

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

CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE DE IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO POR
GOTEJAMENTO NA CULTURA DA UVA

MÁRCIO ROBERTO KLEIN

CASCADEL – Paraná - Brasil

Fevereiro - 2013

MÁRCIO ROBERTO KLEIN

**CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE DE IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO POR
GOTEJAMENTO NA CULTURA DA UVA**

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: Professor Dr. Marcio Antonio Vilas Boas.

CASCADEL – Paraná - Brasil

Fevereiro – 2013

Ficha catalográfica
Elaborada pela Biblioteca Central do Campus de Cascavel - Unioeste

K72c	Klein, Márcio Roberto Controle estatístico de qualidade de irrigação e fertirrigação por gotejamento na cultura da uva / Márcio Roberto Klein — Cascavel, PR: UNIOESTE, 2013. 85 f. ; 30 cm. Orientador: Prof. Dr. Marcio Antonio Vilas Boas Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Bibliografia. 1. Cultura da uva – Fertirrigação. 2. Agricultura irrigada. 3. Uniformidade de distribuição. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título. CDD 21ed. 631.7
------	---

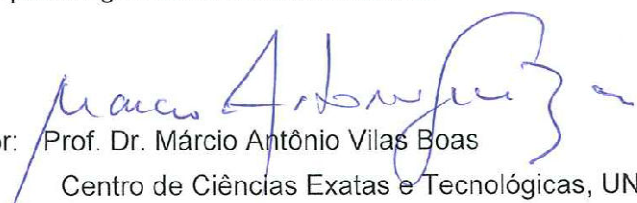
Bibliotecária: Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

MÁRCIO ROBERTO KLEIN

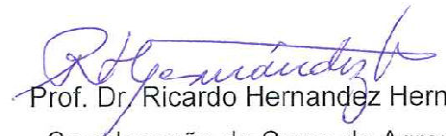
"Controle estatístico de qualidade na irrigação e fertirrigação por gotejamento na cultura da uva"

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

Orientador:


Prof. Dr. Márcio Antônio Vilas Boas

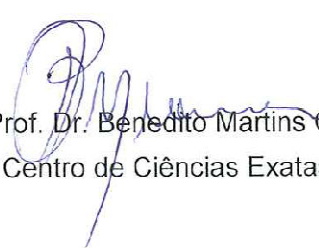
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE


Prof. Dr. Ricardo Hernandez Hernandez

Coordenação do Curso de Agronomia, UTFPR


Prof. Dr. Eloy Lemos de Mello

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE


Prof. Dr. Benedito Martins Gomes

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Cascavel, 20 de fevereiro de 2013.

BIOGRAFIA

Márcio Roberto Klein é brasileiro, nasceu em 1988 na cidade de Guarantã do Norte – MT. Em 1995, mudou-se para a cidade de Tapurah – MT, onde concluiu o ensino médio. Em 2006, ingressou no curso de Engenharia Agrícola na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) no Município de Cascavel; concluiu o curso no ano de 2010. De dezembro de 2010 a março de 2011 realizou estágio agrícola em Israel, em perímetro irrigado no deserto de Neguev. Na mesma instituição que fez graduação é mestrando do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - PGEAGRI, área de concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Participa há quatro anos do Projeto de Irrigação Familiar no município de Salto do Lontra, que é desenvolvido pela PGEAGRI, pelo curso de Engenharia Agrícola da Unioeste e pela Emater – PR. Nesse projeto, implanta e avalia sistemas de irrigação de base familiar, além de orientar os agricultores quanto ao uso e ao manejo da irrigação e da fertirrigação. Desenvolve pesquisas relacionadas à engenharia de água e solo e de sistemas de irrigação e fertirrigação.

“A irrigação é como uma dança”

Jack Keller

Aos meus pais, Blantina e Celestino, e à minha irmã Suelena, que sempre me incentivaram e apoiaram de todas as formas, sendo meus exemplos de força, dedicação, fé, honestidade e amor.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a DEUS, que sempre esteve presente em minha vida e me iluminou em todo o caminho, inclusive nos momentos mais difíceis. Agradeço a minha família, que sempre me apoiou e me incentivou com relação aos estudos, em especial à minha irmã, Suelena Klein, à minha mãe, Blantina Bremm Klein, e ao meu pai, Celestino Miguel Klein (In Memoriam), que me ensinou os melhores e mais importantes valores da vida;

Ao Professor Dr. Márcio Antônio Vilas Boas, pelo acolhimento, pela amizade, pela orientação e pela paciência, além dos conhecimentos concedidos;

Aos amigos, Bruno Bonemberguer, Cláudia Facini Reis, Flavio Daniel Szekut, Floriano Luiz Suszek, João Apel, Thiago Zucolloto, Maurilio Palhari Jr. e Marcelo Reisdorfer, sem os quais jamais teria conseguido realizar este estudo;

À família residente na propriedade onde foi desenvolvida a pesquisa: Daniely Silva, Fabiely da Silva, Nerci da Silva e Zulmira da Silva, pelo acolhimento, a amizade e a transmissão de conhecimentos que somente os agricultores dispõem;

Aos demais professores que integram o corpo docente do Curso de Graduação da Universidade do Oeste do Paraná, por dividirem seus conhecimentos;

A todos os colegas de curso e da Pós-Graduação, aos diversos amigos que fiz no decorrer da faculdade, ao pessoal da república Chopex e da República Acasalar;

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, pela oportunidade de realização do curso;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa de extensão concedida na graduação e pelo recurso disponibilizado para a realização do estudo nos projetos, Processo: 574153/2008-0- Edital MCT/CNPq/CT-Agronegócio/CT HIDRO7/2008 e Processo: 476847/2010-9 - Edital MCT/CNPq-14 2010-Universal. E à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos no mestrado;

À Emater de Salto do Lontra, pelo apoio e a disponibilidade, à Prefeitura Municipal de Salto do Lontra, pela concessão da Casa Familiar Rural, onde a equipe de trabalho se hospeda no Município, e a todos os funcionários da Casa Rural, pela ajuda e pelo acolhimento.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1 INTRODUÇÃO	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Sistema de irrigação por gotejamento	5
2.2 Fertirrigação	6
2.3 Uniformidade de distribuição de água e fertilizantes	7
2.4 Controle estatístico da qualidade	9
2.5 Gráficos de controle.....	10
2.5.1 Análise de processo no passado	13
2.6 Índice de capacidade de processo.....	13
3 MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1 Localização e características da área	15
3.2 Características do sistema de irrigação	16
3.3 Montagem do experimento	17
3.4 Aplicação de fertilizantes	19
3.5 Obtenção das vazões	21
3.6 Delineamento experimental	23
3.7 Coeficiente de uniformidade de distribuição	24
3.8 Coeficiente de uniformidade de Christiansen.....	25
3.9 Gráfico de controle para mais de uma observação	25
3.10 Gráfico de controle para uma observação	26
3.11 Gráficos de Controle com amostra de tamanho variável.....	26
3.12 Índice de capacidade de processo.....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1 Metodologia de Keller e Karmeli (1975).....	28
4.1.1 CUC segundo a metodologia de Keller e Karmeli (1975).....	28
4.1.2 CUD segundo a metodologia de Keller e Karmeli (1975).....	31
4.2 Metodologia de Deniculi <i>et al.</i> (1980).....	34
4.2.1 CUC segundo a metodologia de Deniculi <i>et al.</i> (1980).....	34
4.2.2 CUD segundo a metodologia de Deniculi <i>et al.</i> (1980).....	37
4.3 Teste de Hipóteses entre as Metodologias de Keller e Karmeli (1975) e de Deniculi <i>et al.</i> (1980).....	39
4.4 Curvas Características	41

4.4.1	Relação vazão <i>versus</i> pressão de entrada e variação total de pressão <i>versus</i> pressão de entrada na irrigação	42
4.4.2	Relação vazão <i>versus</i> pressão de entrada e variação total de pressão <i>versus</i> pressão de entrada na fertirrigação A.....	43
4.4.3	Relação vazão <i>versus</i> pressão de entrada e variação total de pressão <i>versus</i> pressão de entrada na fertirrigação B.....	44
4.4.4	Efeito da concentração de fertilizante na variação de pressão	46
4.5	Controle Estatístico de Processo	47
4.5.1	Considerações iniciais	47
4.5.2	Análise de processo no passado	52
4.6	Gráficos de controle aplicados as avaliações em função da vazão.....	53
4.6.1	Gráficos de controle X e R e capacidade de processo aplicados às vazões obtidas quando submetidas às pressões de entrada de 150, 200, 250 e 300 kPa de pressão de entrada.....	53
5	CONCLUSÕES	70
6	REFERÊNCIAS	71
	APÊNDICES	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Classificação da uniformidade de irrigação (CUD)	9
Tabela 2 Adubação de produção por ciclo/safra da videira segundo a produtividade esperada e os teores de N, P e K	19
Tabela 3 Compatibilidade entre os fertilizantes empregados em fertirrigação.....	20
Tabela 4 Solubilidade dos produtos recomendados para uso via fertirrigação	20
Tabela 5 Identificação dos tratamentos.....	24
Tabela 6 Análise de variância do CUC para os fatores concentração e pressão de entrada	28
Tabela 7 Valores médios de CUC (%) pela metodologia de Keller e Karmeli (1975) para diferentes pressões de entrada e teste Tukey para as médias das 9 repetições	29
Tabela 8 Valores médios de CUC (%) pela metodologia de Keller e Karmeli (1975) para diferentes concentrações e teste Tukey para as médias das 12 repetições ..	30
Tabela 9 Análise de variância do CUD para os fatores concentração e pressão de entrada	32
Tabela 10 Valores médios de CUD (%) pela metodologia de Keller e Karmeli (1975) para diferentes pressões de entrada e teste Tukey para as médias das 9 repetições	32
Tabela 11 Análise de variância do CUC para os fatores concentração e pressão de entrada	34
Tabela 12 Valores médios de CUC (%) pela metodologia de Deniculi <i>et al.</i> (1980) para diferentes concentrações e teste Tukey para as médias das 12 repetições ..	35
Tabela 13 Valores médios de CUC (%) pela metodologia de Deniculi <i>et al.</i> (1980) para diferentes pressões de entrada e teste Tukey para as médias das 9 repetições	36
Tabela 14 Análise de variância do CUD para os fatores concentração e pressão de entrada	38
Tabela 15 Valores médios de CUC (%) pela metodologia de Deniculi <i>et al.</i> (1980) para diferentes concentrações e teste Tukey para as médias das 12 repetições ..	38
Tabela 16 Análise de variância do CUC para as metodologias de Keller e Karmeli (1975) e de Deniculi <i>et al.</i> (1980)	40
Tabela 17 Análise de variância do CUD para as metodologias de Keller e Karmeli (1975) e de Deniculi <i>et al.</i> (1980)	40
Tabela 18 Valores médios de CUC (%) pelas metodologias de Keller e Karmeli (1975) e de Deniculi <i>et al.</i> (1980) e teste F para as médias das 36 repetições.....	40
Tabela 19 Pressões médias de entrada, no meio e no final do sistema (kPa), vazão média (L.h ⁻¹), inter-relação entre as vazões (%) e coeficiente de variação da vazão (%)	42

Tabela 20 Pressões médias de entrada, no meio e final do sistema (kPa) vazão média (Lh-1) Inter relação entre as vazões (%) e coeficiente de variação da vazão (%)....	43
Tabela 21 Pressões médias de entrada, no meio e no final do sistema (kPa), vazão média (L.h-1), inter-relação entre as vazões (%) e coeficiente de variação da vazão (%)	45
Tabela 22 Pressões médias de entrada, no meio e no final do sistema (kPa), vazão média (L/h), inter-relação entre as vazões (%), coeficiente de variação da vazão (%) e ordem de coleta da avaliação	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Vazão do emissor nº 10 ordenado por pressão de entrada e ordem de coleta.	12
Figura 2 localização geográfica e cotas de altitude da área de cultivo	15
Figura 3 Disposição dos equipamentos do sistema.	17
Figura 4 Esquema de ilustração da disposição dos equipamentos de acordo com o fluxo de água.....	18
Figura 5 Método de coleta proposto por Keller e Karmeli (1975).	21
Figura 6 Método de coleta proposto por Deniculi <i>et al.</i> (1980).	22
Figura 7 Layout do mecanismo de coleta.....	23
Figura 8 Gráfico boxplot do CUC x Pressão de entrada na metodologia de Keller e Karmeli (1975).	29
Figura 9 Gráfico boxplot do CUC x Concentração na metodologia de Keller e Karmeli (1975).	30
Figura 10 Valores de CUC para as pressões de entrada com a metodologia de Keller e Karmeli (1975).	31
Figura 11 Valores de CUC para as concentrações com a metodologia de Keller e Karmeli (1975).	31
Figura 12 Gráfico boxplot do CUD x Pressão de entrada na metodologia de Keller e Karmeli (1975).	32
Figura 13 valores de CUD para as pressões de entrada com a metodologia de Keller e Karmeli.....	33
Figura 14 Valores de CUD para as concentrações com a metodologia de Keller e Karmeli.	33
Figura 15 Gráfico boxplot do CUC x Concentração, na metodologia de Deniculi <i>et al.</i> (1980).	35
Figura 16 Gráfico boxplot do CUC x Pressão de entrada na metodologia de Deniculi <i>et al.</i> (1980).	36
Figura 17 Valores de CUC para as pressões de entrada com a metodologia de Deniculi <i>et al.</i> (1980).	37
Figura 18 Valores de CUC para as concentrações com a metodologia de Deniculi <i>et al.</i> (1980).	37
Figura 19 Gráfico boxplot do CUD x Concentração na metodologia de Deniculi <i>et al.</i> (1980).	38
Figura 20 Valores de CUD para as pressões de entrada com a metodologia de Deniculi <i>et al.</i> (1980).	39
Figura 21 Valores de CUD para as concentrações com a metodologia de Deniculi <i>et al.</i> (1980).	39
Figura 22 Todos os valores de CUC e CUD para a metodologia com 16 e 32 pontos.	41
Figura 23 Vazão x pressão de entrada e pressão de entrada x variação total de pressão...	43
Figura 24 Vazão x pressão de entrada e pressão de entrada x variação total de pressão...	44

Figura 25 Vazão x pressão de entrada e pressão de entrada x variação total de pressão...	45
Figura 26 Correlação linear em as variações de pressão total (%) de irrigação com fertilirrigação com concentração A e irrigação com fertilirrigação de concentração B.	46
Figura 27 Gráficos I das vazões médias com uma observação por amostra para os emissores de número 31, 32, 33, 34, 35, 36 e 37.	48
Figura 28 Pressão disponível na 4ª linha com 300 kPa de pressão de entrada no sistema.	51
Figura 29 Pressão disponível na 3ª linha com 300 kPa de pressão de entrada no sistema.	51
Figura 30 Diferença de nível da 1ª e da 2ª linha.	52
Figura 31 Gráficos de X e R para irrigação com pressão de entrada de 150 kPa.	54
Figura 32 Gráficos de X e R para fertilirrigação A com pressão de entrada de 150 kPa.	55
Figura 33 Gráficos de X e R para fertilirrigação B com pressão de entrada de 150 kPa.	56
Figura 34 Capacidade de processo para pressão de entrada de 150 kPa.	57
Figura 35 Gráficos de X e R para irrigação com pressão de entrada de 200 kPa.	58
Figura 36 Gráficos de X e R para fertilirrigação A com pressão de entrada de 200 kPa.	59
Figura 37 Gráficos de X e R para fertilirrigação B com pressão de entrada de 200 kPa.	60
Figura 38 Capacidade de processo para pressão de entrada de 200 kPa.	61
Figura 39 Gráficos de X e R para irrigação com pressão de entrada de 250 kPa.	62
Figura 40 Gráficos de X e R para fertilirrigação A com pressão de entrada de 250 kPa.	63
Figura 41 Gráficos de X e R para fertilirrigação B com pressão de entrada de 250 kPa.	64
Figura 42 Capacidade de processo para pressão de entrada de 250 kPa.	65
Figura 43 Gráficos de X e R para irrigação com pressão de entrada de 300 kPa.	66
Figura 44 Gráficos de X e R para irrigação com pressão de entrada de 300 kPa.	67
Figura 45 Gráficos de X e R para irrigação com pressão de entrada de 300 kPa.	68
Figura 46 Capacidade de processo para pressão de entrada de 300 kPa.	69

CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE DE IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO NA CULTURA DA UVA

RESUMO

A agricultura irrigada tem um grande potencial de produtividade. Prova disso é que a área destinada à agricultura irrigada no mundo, correspondente a cerca de 20 % da área total para a agricultura, e é responsável por aproximadamente 45 % do total colhido. Visando maximizar os lucros dos produtos agrícolas, é necessário cumprir diversos protocolos de boas práticas, que incluem, além de manter um padrão de qualidade específico dos produtos, reduzir os impactos ambientais e gerar benefícios sociais às comunidades envolvidas na produção agrícola. Feito isso, é possível atingir um nicho de mercado mais lucrativo. Para atingir os padrões dos produtos agrícolas exigidos pelo mercado, deve haver um controle nos processos de tratamentos culturais na aplicação de água e fertilizantes. O controle estatístico de qualidade de processos passou a ser utilizado nas indústrias do Japão após a segunda guerra mundial e é considerada a ferramenta responsável pelo triunfo na produção de produtos, serviços e processos de qualidade. O controle de qualidade é perfeitamente adaptável ao sistema de produção agrícola. Diante disso, a realização desta pesquisa teve por objetivo avaliar a distribuição de água e fertilizante num sistema de irrigação por gotejamento e determinar os limites estatísticos de processo e as capacidades de processo na irrigação e fertirrigação submetidos a diferentes pressões e concentrações da solução de NPK (nitrogênio, fósforo e potássio). O experimento foi desenvolvido no município de Salto do Lontra, em uma propriedade rural participante do Projeto de Irrigação Familiar da Unioeste. Foram utilizadas quatro pressões de entrada: 150, 200, 250 e 300 kPa, combinadas com três concentrações de solução NPK: 0, 200 e 400 mgL⁻¹. Nas avaliações, foram utilizadas duas metodologias de amostragem, uma com 16 e outra com 32 pontos. Com os valores médios de vazão, calculou-se o CUC e o CUD para ambas as metodologias. A classificação do CUC foi “excelente” para todas as avaliações; com o CUD, 83,4 % das avaliações foram “excelentes” com a metodologia de amostragem com 16 pontos e 97,3 % com a metodologia de 32 pontos. Nenhum dos processos obteve capacidade de processo aceitável para processo em uso, quando determinados os limites de controle estatístico. Os processos de irrigação e fertirrigação mais passíveis de melhora e consequente aumento de capacidade de processo foram com as pressões de entrada de 150 e 200 kPa.

PALAVRAS-CHAVE: Índice de Capacidade, Gráfico de controle, Uniformidade de Distribuição.

STATISTICAL QUALITY CONTROL IN DRIP IRRIGATION AND FERTIRRIGATION IN GRAPE CULTURE

ABSTRACT

Irrigated agriculture has great potential for productivity. The proof is that the area for irrigated agriculture in the world, representing approximately 20 % of the total area destined to agriculture, is responsible for approximately 45 % of the total harvested. In order to maximize the profits of agricultural products, it is necessary to comply with various protocols of good practice, which include, in addition to maintaining a quality standard specific to the products, reducing environmental impact and generating benefits to communities involved in the agricultural production. Then, it is possible to achieve a more profitable niche market. To achieve the agricultural products' standards required by the market, there must be a level of control in the processes of cultural practices in the water and fertilizer application. Statistical quality control processes were implemented in the industries of Japan after the Second World War and it is considered the tool responsible for the triumph of manufacturing, service and quality processes for the country. Quality control is perfectly adaptable for the agricultural production system. Therefore, this research aimed to assess the distribution of water and fertilizer in a drip irrigation system and determine the limits of statistical process and process capabilities in irrigation and fertigation under different pressures and concentrations of NPK (Nitrogen, Phosphorus and Potassium). The experiment was conducted in the municipality of Salto do Lontra, in a farm that participates in the Family Irrigation Project developed by Unioeste University. There were four inlet pressures: 150, 200, 250, and 300 kPa, combined with three NPK solution concentrations: 0, 200, and 400 mgL⁻¹. In the evaluations, two methods were used for sampling, one with 16 points and another with 32 points. Using the average flow rate, CUC and CUD were calculated both methodologies. The classification of CUC was "excellent" for all assessments. Using CUD, 83.4 % of ratings were "excellent" with the sampling methodology with 16 points, and 97.3 % with the methodology of 32 points. None of the processes were considered acceptable for process use, when statistical control limits were calculated. The processes of irrigation and fertigation more suitable for improvement and consequent process capability increase were those with inlet pressures of 150 and 200 kPa.

KEYWORDS: Process Capability, Control Charts, Distribution Uniformity.

1 INTRODUÇÃO

A população mundial cresce 2,8 % ao ano; sendo assim, a produção de alimentos deve crescer na mesma proporção. Para que isso aconteça, existem duas maneiras: a primeira seria a exploração de novas terras para produção agrícola. Atualmente, 16.000.000 Km² de terra são utilizados na agricultura, e a exploração correspondente ao crescimento populacional é de 45.000 Km² de desmatamento por ano. A segunda alternativa é o aumento da produtividade, ou seja, mais quilos de alimento produzidos por hectare cultivado. Devido à política de desenvolvimento sustentável regida pela ideia de se obter lucros, mantendo benefício social e minimizando impactos ambientais de modo a não prejudicar os ecossistemas, é inevitável a escolha da segunda alternativa (BOS et al., 2007).

A agricultura irrigada tem um grande potencial de produtividade. Prova disso é que a área destinada à agricultura irrigada no mundo, correspondente a 18 % da área agrícola total, é responsável por aproximadamente 44 % do total colhido (CHRISTOFIDIS 2009).

A irrigação por gotejamento tem crescido exponencialmente nos últimos anos, pois este método apresenta uma maior eficiência em termos de distribuição de água e, além disso, esse sistema necessita de menos água, já que aplica lenta e regularmente a água e/ou os fertilizantes diretamente na zona da raiz das plantas (LIU; HUANG, 2009; SAHIN et al. 2005), sendo amplamente utilizada em regiões que carecem de fontes naturais de água.

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. Li *et al.* (2006) destacam a importância da uniformidade na fertigação, pois sua ausência implica na redução da qualidade de aplicação, causando contaminação, degradação do solo e diminuição da produtividade.

Visando maximizar os lucros dos produtos agrícolas, se faz necessário cumprir diversos protocolos de boas práticas, que incluem, além de manter um padrão de qualidade específico dos produtos, minimizar os impactos ambientais e gerar benefícios sociais às comunidades envolvidas na produção agrícola. Feito isso, é possível atingir um nicho de mercado mais lucrativo.

Para que os produtos agrícolas atinjam os padrões exigidos por este mercado, deve haver um controle nos processos de tratos culturais, como, por exemplo, aplicação de água e fertilizantes. Quanto menor variabilidade nas aplicações, menor serão os desperdícios dos insumos e da energia e maior a qualidade dos produtos. Assim, simultaneamente a qualidade e a minimização dos impactos ambientais são satisfeitos.

Os produtos agrícolas fora dos padrões especificados são destinados a um mercado secundário e representam menor lucro, pois, além de terem valor inferior, têm o mesmo custo de produção.

O controle estatístico de qualidade de processos passou a ser utilizado nas indústrias do Japão após a segunda guerra mundial. É considerada a ferramenta responsável pelo triunfo na produção de produtos, serviços e processos com elevado grau de qualidade. 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, 2009).

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 de uniformidade alto e pouca variabilidade contribuem para o aumento do valor deste índice, responsável pela adequação desta irrigação aos critérios pré-estabelecidos de uniformidade de distribuição.

Diante disso, a realização desta pesquisa teve por objetivo avaliar a distribuição de água e fertilizante em um sistema de irrigação por gotejamento e determinar os limites de controle e as capacidades de processo de irrigação e fertirrigação, sob diferentes pressões e concentrações da solução de NPK (nitrogênio, fósforo e potássio)

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistema de irrigação por gotejamento

A irrigação por gotejamento faz parte da irrigação localizada, em que se utilizam tubos gotejadores com emissores integrados in line, ou online, através de uma rede de tubulações plásticas economicamente projetadas, devido à baixa vazão dos emissores, que faz com que água e nutrientes sejam aplicados diretamente na zona radicular das plantas em intervalos freqüentes. O sistema opera em baixas pressões. Pode ser definida como a aplicação precisa de água na forma de gotas, resultando na economia de água e energia (BRAUER et al., 2011; LIU; HUANG, 2009; MÖLLER; WEATHERHEAD, 2007).

A irrigação por gotejamento representa um avanço na tecnologia de irrigação e está sendo de grande importância no mundo, especialmente em áreas em que os recursos hídricos são limitados e caros, uma vez que os esses recursos podem ser melhor utilizados com esse tipo de irrigação. 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 (HEZARJABI et al., 2008; BHATTARAI, MIDMORE; PENDERGAST, 2008).

O método apresenta inúmeras vantagens quando comparado aos demais métodos. Lamm *et al.* (2007) descrevem como benefícios: maior eficiência no uso da água devido à aplicação mais localizada, redução do risco em função da qualidade da água, melhoria no uso de água de qualidade inferior com a redução de patógenos, odores e contato humano e animal com estas águas, melhor uniformidade de aplicação de água, melhoria na questão fitossanitária, melhor manejo de fertilizantes e pesticidas em função da aplicação mais precisa, melhor controle de plantas daninhas pela redução de sua germinação, melhoria das operações agrícolas e de gestão, automatização, diminuição de custos com energia, flexibilidade e longevidade do sistema.

A irrigação por gotejamento pode aplicar água, de forma precisa e uniforme, com alta frequência, tendo como vantagem o aumento potencial da produtividade, a redução da percolação profunda e o melhor controle da salinidade. Todos esses benefícios não são atingidos somente devido à tecnologia, mas também pelo projeto, a instalação, a operação e o manejo do sistema de irrigação por gotejamento (HANSON; MAY, 2007).

Uma vantagem da irrigação por gotejamento é que em áreas montanhosas o sistema pode ser pressurizado sem necessidade de bombeamento. Em alguns casos, não há custo algum com energia associado ao acionamento e à operação com sistemas de irrigação por gotejamento; em outros casos, a água é bombeada até um reservatório um nível acima da área irrigada (WU et al., 2010).

No entanto, o sistema possui limitações, como: dificuldade no acompanhamento e no monitoramento dos eventos de irrigação, menor opção de usos em lavouras, espaçamento entre linhas e as questões de rotação de culturas, custo de aquisição elevado, porém recuperado num curto prazo, problemas de manutenção, questões operacionais, problemas de abandono, dentre outros (LAMM et al. 2007).

O maior problema com o uso da irrigação por gotejamento é o entupimento do emissor (AHMED et al., 2007). A existência de partículas em suspensão na água de irrigação é tida como a maior causa de entupimento (LI et al., 2011).

Ribeiro *et al.* (2010), estudando entupimento de tubos gotejadores convencionais com aplicação de cloreto de potássio, concluíram que os modelos de tubos gotejadores podem apresentar desempenhos variáveis, no coeficiente de variação de vazão e suscetibilidade ao entupimento, sugerindo que a arquitetura interna dos gotejadores que foram avaliados na caracterização do processo de entupimento foi o fator determinante.

2.2 Fertirrigação

A fertirrigação 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 de plantio.

A aplicação de fertilizantes dissolvidos na água em irrigação, fertirrigação, é uma técnica agrícola comum. É agronomicamente adequada para muitas culturas e constitui a solução preferida para aplicação de fertilizantes em culturas com grande desenvolvimento de copas (BURGUETE et al., 2009). Permite assegurar a disponibilidade de água e nutrientes perto dos valores considerados ótimos para o crescimento e a produtividade da cultura, por permitir controlar com precisão as dosagens através dos injetores de fertilizantes. Dessa maneira, a quantidade de nutrientes, fracionada ou não, deve ajustar-se às necessidades da cultura no decorrer das suas fases de desenvolvimento (CARDOSO; KLAR, 2011).

O tempo de funcionamento do sistema de irrigação relacionado à fertirrigação tem que ser subdividido em três etapas: a primeira é necessária para que a água chegue a todos os pontos do sistema de irrigação, ocorrendo, assim, a estabilização hidráulica do sistema de irrigação. A segunda é compreendida entre o início e o final da operação de injeção da solução fertilizante. A terceira está relacionada com a saída completa da solução do sistema, constituindo a limpeza (OLIVEIRA; VILLAS BÔAS, 2008).

Em países onde o custo da água é muito baixo, como a Índia, a adoção da irrigação localizada tem sido inicialmente muito lenta. No entanto, recentemente, a irrigação por gotejamento, com uso da fertirrigação, está sendo vista como um benefício para os

agricultores, devido à alta eficiência do uso dos fertilizantes neste sistema de irrigação (RAVIKUMAR et al., 2011)

Rezende *et al.* (2010), estudando fertirrigação no crescimento inicial de duas variedades de cafeeiro, concluíram que a irrigação e a fertirrigação, na fase de formação do cafeeiro, influenciaram de maneira significativa, nas variáveis diâmetro de copa, altura de planta e número de ramos plagitrópicos totais, comparadas às condições de sequeiro. Segundo os mesmos autores, a fertirrigação é uma boa alternativa para ser utilizada na formação de plantas de cafeeiro, em detrimento da adubação convencional.

Oliveira *et al.* (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 à qualidade das proteínas dos alimentos, ao auxílio no desenvolvimento radicular, ao aumento da eficiência de absorção do potássio, além de ser importante no processo de fotossíntese (SOUZA et al., 2007). A fertirrigação facilita o manejo da aplicação de fertilizantes nitrogenados, pois permitem a aplicação fracionada.

Bhat *et al.* (2008) concluíram que a adoção da fertirrigação por gotejamento apresenta um impacto positivo sobre o pH e a disponibilidade de nutrientes no solo.

Redes pressurizadas de distribuição permitem utilizar de maneira eficiente os recursos hídricos disponíveis através de um controle rigoroso das entradas de água para atender às demandas necessárias. Em particular, a irrigação por gotejamento permite a aplicação de fertilizantes pela água (fertirrigação) de modo que a aplicação simultânea de água e fertilizantes pode ser satisfeita por um mesmo sistema de distribuição. A fertirrigação comunitária é crescente em vários sistemas de irrigação, pois as redes pressurizadas de distribuição centralizadas permitem o uso coletivo de filtros e de injetores de fertilizante, reduzindo custos de aquisição e operação (JIMENEZ-BELLO et al., 2011).

2.3 Uniformidade de distribuição de água e fertilizantes

O aumento do uso da água pode implicar em uma restrição de sua disponibilidade para o uso na irrigação. Além disso, a escassez de água é comum em regiões áridas e semi-áridas, que, com um aumento nos custos de produção, como, por exemplo, sementes e fertilizantes, podem inviabilizar o uso da irrigação em áreas rurais que estão em desenvolvimento. Uma das características importantes da irrigação é que deve ser realizada de maneira sustentável para garantir sua viabilidade econômica, sendo necessário o uso

eficiente da água e da energia. Isso é possível através da aplicação de ferramentas de avaliação de desempenho (CÓRCOLES et al., 2012).

Segundo Hezarjabi *et al.* (2008), um dos principais objetivos nos projetos de irrigação por gotejamento é obter um equilíbrio hidráulico no sistema, para garantir a vazão uniforme dos emissores ou gotejadores, sendo o equilíbrio hidráulico o elemento mais importante da instalação do sistema de irrigação por gotejamento no que diz respeito à aplicação uniforme de água e, como consequência, alta eficiência do sistema de irrigação.

A avaliação da distribuição da uniformidade fornece informações valiosas sobre o desempenho de um sistema de irrigação, mas não de todos os pontos e os aspectos da variação espacial da distribuição da água. A uniformidade de distribuição é apenas um indicador de que todas as áreas recebem quantidades similares de água (BURT et al., 1997).

Segundo Gil *et al.* (2008), a baixa uniformidade de distribuição de água indica que parte da área irrigada recebe mais água e adubo do que outras, resultando num desenvolvimento desuniforme das plantas. O excesso de água no solo provoca a lixiviação de nutrientes, baixa concentração de oxigênio disponível às raízes e pode aumentar a incidência de pragas e doenças, enquanto o déficit inibe o potencial produtivo da planta e aumenta os riscos de salinização 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, ao dimensionamento inadequado do sistema, além do entupimento dos emissores, são fatores que podem comprometer esta uniformidade.

Muitos coeficientes são utilizados para expressar a variabilidade de distribuição da água na irrigação, como o coeficiente de variação de vazão total (CVt), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e 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.

A uniformidade de irrigação localizada de alta frequência (ILAF) emprega critérios exigentes em que Pizarro (1996) recomenda o uso do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD).

Bralts (1986) propôs a classificação para o CUD demonstrada na Tabela 1.

Tabela 1 Classificação da uniformidade de irrigação (CUD)

CUD	CLASSIFICAÇÃO
≥ 90 %	Excelente
80 a 90 %	Bom
70 a 80 %	Regular
< 70 %	Ruim

Fonte: Bralts (1986).

Basso *et al.* (2008) avaliaram a uniformidade de irrigação e fertirrigação nitrogenada da alface, sendo que o valor de CUC foi acima de 85 %. 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.

2.4 Controle estatístico da qualidade

A busca pela qualidade vem desde a época da produção artesanal, quando procurava-se a melhor maneira para atender às exigências de consumidores. Com a adoção da produção em larga escala, ganhou ainda mais importância na inspeção do produto final e no processo produtivo como um todo. Nos últimos tempos, a qualidade vem sendo focalizada por meio do emprego de técnicas estatísticas (VARGAS *et al.*, 2004).

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, 2009).

Num processo, existem diversos fatores que podem alterar suas características de qualidade, sendo que, quando estas satisfazem certa especificação, o processo é considerado bom (MONTGOMERY, 2009).

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, 2009).

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.

2.5 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 et al., 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 et al., 2002).

Os gráficos de controle são usados no monitoramento de processos para detectar qualquer alteração que possa afetar a qualidade na saída do processo. Em muitas situações, a qualidade do processo pode ser caracterizada por uma única variável aleatória contínua, que geralmente assume uma distribuição normal. No entanto, é cada vez mais comum que os processos sejam caracterizados por mais de uma variável, geralmente correlacionadas. De fato, existem muitos setores em que múltiplas variáveis definem a qualidade do processo (FARAZ et al., 2011).

As cartas de controle do tipo Shewhart, introduzidas por volta de 1920, 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 clássicas de Shewhart, 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 et al., 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. 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 (MONTGOMERY, 2009).

Werkema (2006) 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 2σ , apesar destes ainda estarem dentro dos limites de controle 3σ . 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 $1,5\sigma$, apresentando uma variabilidade menor do que a esperada, observa-se a possibilidade de erros nos cálculos dos limites de controle.

Werkema (2006) 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). 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.

Justi *et al.* (2010) aplicaram o gráfico de controle de Shewhart em ensaios de irrigação por aspersão na avaliação do CUC e verificaram que um dos ensaios esteve acima

do LSC e nenhum dos ensaios obteve CUC menor que o LIC. O restante dos ensaios permaneceu dentro dos limites de controle plotados no gráfico.

A principal utilidade dos gráficos de controle é detectar falhas no decorrer de um processo em tempo real. Quando a falha é detectada, o processo para, atribui-se uma causa à falha, o problema-causa é eliminado e só então o processo é retomado.

Segundo Montgomery (2009), os gráficos de controle podem demonstrar se o processo se mantém sob controle estatístico ao longo do tempo ou no decorrer de uma sequência de amostras. Esses gráficos demonstram o controle através da variabilidade do processo; logo, a ordem das amostras no gráfico interfere na determinação de seus limites, que é feita através de um desvio padrão estimado com a amplitude dos dados ou entre eles e o número de sub-amostras n .

Se as amostras são observadas ao longo do tempo, o intuito da análise é saber, por exemplo, a variabilidade de uma tarefa realizada por um mesmo equipamento repetidas vezes.

Se as amostras são observadas no decorrer de uma ordem, a análise vai determinar, por exemplo, a variabilidade de um conjunto de equipamentos realizando a mesma tarefa simultaneamente.

Na figura 1 estão dois gráficos de controle I de medidas individuais de vazão, do emissor nº 10 obtidos nesta pesquisa. O gráfico da esquerda está ordenado por tratamentos com pressão de entrada em ordem crescente, o gráfico da direita, ordenado pela cronologia de coleta.

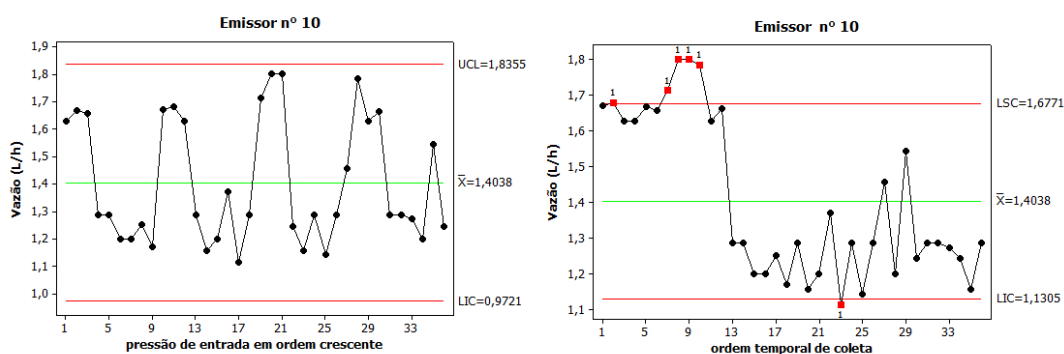


Figura 1 Vazão do emissor nº 10 ordenado por pressão de entrada e ordem de coleta.

O gráfico da esquerda, apesar da configuração sistemática, está sob controle estatístico. O gráfico da direita possui características que determinam um processo fora de controle, tais como pontos fora dos limites superior e inferior de controle, mais de sete pontos abaixo ou acima da linha média, sequência tendenciosas, dentre outros indícios. Neste gráfico, nota-se que a partir da 10ª avaliação o gotejador entupiu parcialmente. Este exemplo mostra que a disposição dos dados no primeiro gráfico foi inadequada, procurando analisar por classificação de pressão dados que foram coletados para uma análise de

controle temporal.

2.5.1 Análise de processo no passado

De acordo com Montgomery (2009), os gráficos de controle, quando utilizados para analisar dados remetentes ao passado, caso tenha havido uma falha no processo, o mesmo, obviamente não foi parado. Nestes casos, atribuindo-se causas ou não, os pontos que indicaram falta de controle são eliminados. Dessa forma, é simulada a eliminação dos problemas e a continuidade do processo. Isso permite determinar limites de controle relacionados ao processo e determinar sua capacidade sob as condições que fora realizado.

Quando amostras preliminares são usadas para construir os gráficos de controle, $\bar{X}$ e R são tratados como limites tentativos. Eles nos permitem determinar se o processo estava sob controle quando as iniciais foram selecionadas. Para testar a hipótese de controle do processo no passado, os valores são plotados em um gráfico que é analisado (MONTGOMERY, 2009).

É altamente recomendável que se tenha de 20 a 25 amostras ou subgrupos de tamanho n ; para calcular os limites de controle “limites tentativos” (referentes ao passado) de controle. Naturalmente, é possível trabalhar com menos dados, mas os limites de controle já não serão tão confiáveis (MONTGOMERY, 2009).

2.6 Índice de capacidade de processo

O estudo da capacidade do processo reflete a aptidão que o processo tem de manufaturar produtos cuja variação inerente esteja dentro da faixa de tolerância especificada no projeto do produto (BORGES et al., 2008). 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 et al., 2004).

Lopes *et al.* (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 *et al.* (2004) utilizaram dois índices de capacidade de processo 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.* (2007), 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.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e características da área

O estudo foi desenvolvido em uma propriedade rural no Município de Salto do Lontra, estado do Paraná, Brasil. A propriedade faz parte do Projeto de Irrigação Noturna (PIN) e do Projeto Extensão de Irrigação Familiar (Unioeste). A área do estudo é irrigada por gotejamento na cultura da uva, variedades bordo e francesa.

As irrigações foram realizadas entre junho e agosto de 2012 e as fertirrigações de outubro de 2012 a janeiro de 2013.

A Figura 2 mostra a localização geográfica da área de cultivo da uva, com coordenadas no sistema UTM (Universal Transverse Mercator).

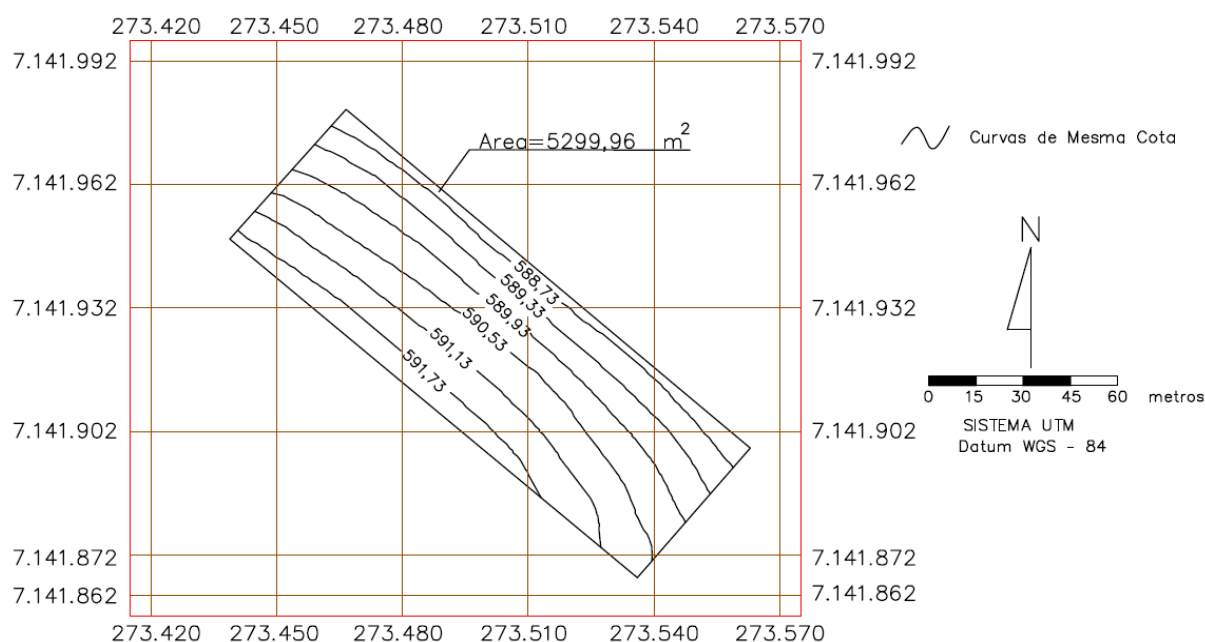


Figura 2 localização geográfica e cotas de altitude da área de cultivo

Nesta figura também estão as cotas de altitude e as curvas de nível com intervalo de 0,6 m. A maior diferença de nível da área é de aproximadamente 3 metros.

O clima da região, segundo a classificação Köppen, é *cfa*, clima pluvial temperado (mesotérmico), as temperaturas do mês mais frio variam de -3 a 18° C.

A precipitação média anual, de acordo com a ANA (2012), é de 1860,14 mm.

3.2 Características do sistema de irrigação

O sistema de irrigação é composto por 17 linhas laterais, suspensas e fixas a 1,8 m de altura, nos arames de sustentação do parreiral, possuem 125 m de comprimento; o espaçamento entre elas é de 2,5 m. O tubo gotejado é auto-compensante da marca Netafim, modelo DRIPNET PCTM; o espaçamento entre gotejadores é de 0,6 m, totalizando 210 emissores por linha; a vazão nominal é de 1,6 L.h⁻¹.

A faixa auto-compensante do emissor é de 50 a 400 kPa para o emissor. A faixa auto-compensante do tubo é de 100 a 300 kPa. O fabricante informa que este modelo de emissor possui um coeficiente de variação de vazão muito baixo.

A equação do emissor fornecida pelo fabricante é a seguinte:

$$q = 1,6h^0 \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que,

q - vazão do emissor (L.h⁻¹);

h - pressão de trabalho (kPa).

A pressurização do sistema é feita por uma bomba centrífuga de 7,5 cv e a água é captada de um curso hídrico que passa pela propriedade. Após a bomba, foi montado um cavalete para injeção de solução fertilizante. Na entrada da linha principal, foi instalado um filtro de 120 mesh. Para a tomada da variação de pressão do sistema e a verificação da estabilidade da pressão, foram instalados 3 manômetros digitais, localizados no início da primeira linha, no meio da nona linha e no final da última linha. A marca dos manômetros é INSTRUTEMP com precisão $\pm 0,3$ % e escala entre ± 700 kPa. Na figura 3 está a disposição esquemática dos componentes na sua respectiva cota de altitude.

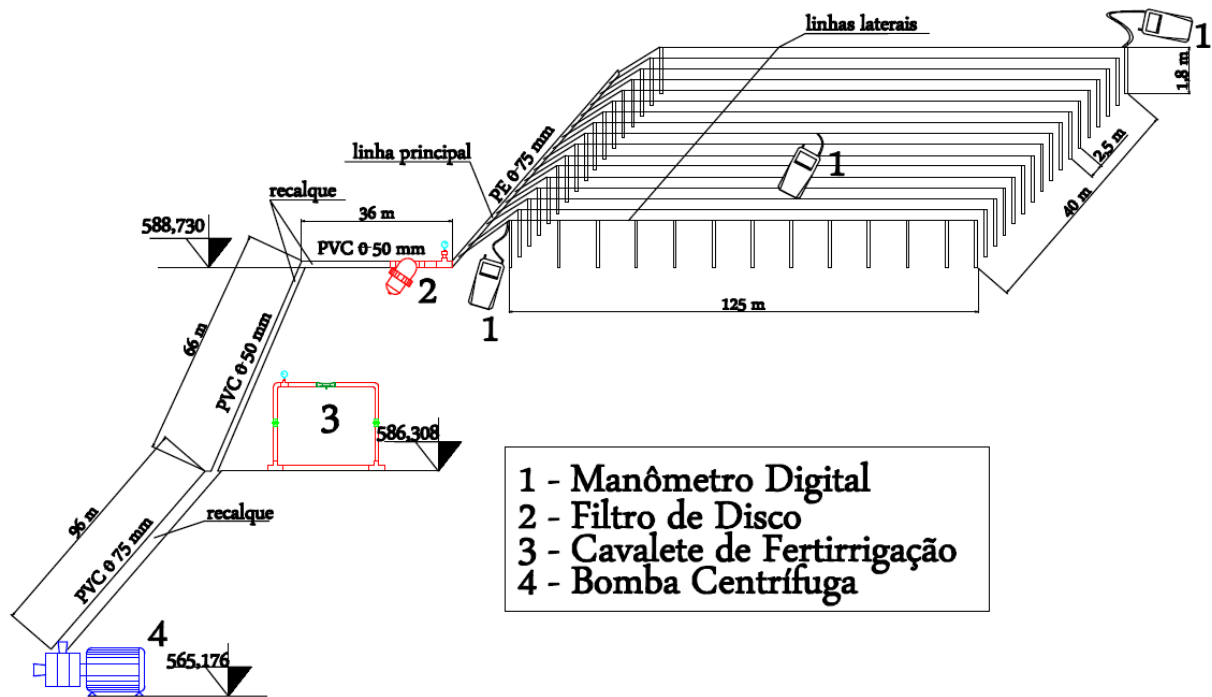


Figura 3 Disposição dos equipamentos do sistema.

3.3 Montagem do experimento

Os equipamentos e acessórios fixos do sistema são:

- Válvula Pé com Crivo;
- Registro de Gaveta de 50 mm;
- Injetor de Fertilizante tipo Venturi com 25 mm;
- Válvula borboleta;
- Tubulação de PVC de 32 mm, 50 mm e 75 mm;
- Tubulação de 75 mm de polietileno;
- Registros de esfera de 32 mm e de 50 mm;
- Manômetros analógicos de glicerina;
- Curvas de 90° de 32 mm e 50 mm;
- T de 75 mm para 50 mm e T de 50 mm para 32 mm;
- Reservatório de 500 L para solução de fertilizante;
- Filtro de discos de 120 mesh;
- Conectores para engate das linhas laterais;
- 2150 m de tubo gotejador Uniram 1609;
- Rotâmetro.

Os tratamentos do estudo são com diferentes cargas hidráulicas, tanto para irrigação como para fertirrigação. Dentro do fator fertirrigação, há dois níveis de concentração de

fertilizante.

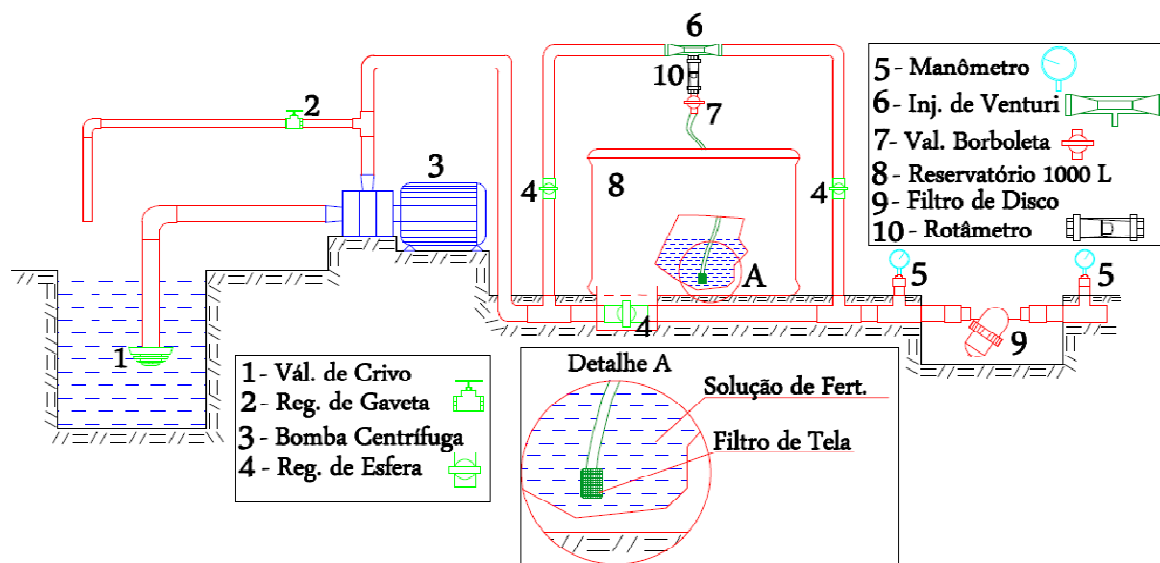


Figura 4 Esquema de ilustração da disposição dos equipamentos de acordo com o fluxo de água.

Para variar a carga hidráulica no início do sistema, foi montado um retorno de água ao leito e, para aplicar a concentração de fertilizantes desejada, foi instalado um rotâmetro no cavalete de fertirrigação, como ilustrado pela Figura 4.

Logo após a bomba, na linha de recalque foi colocado um T soldável com redução de 75 para 50 mm do registro de gaveta. Desta maneira, foi possível retornar parte da água recalcada para o leito, controlando a vazão de retorno, abrindo ou fechando o registro de gaveta, e simultaneamente ajustando a carga hidráulica desejada na entrada do sistema de irrigação.

O injetor de fertilizante de Venturi foi conectado paralelamente à linha de recalque com dois Ts de 50 para 32 mm, de modo que parte da água recalcada é desviada, passando pelo injetor. Neste ponto, a solução de fertilizante é succionada do reservatório. No circuito hidráulico do injetor de Venturi foram instalados registros de esfera antes e depois do mesmo, que são fechados quando não se está fertirrigando. Também foi instalado um registro de esfera na linha de recalque, o qual é parcialmente fechado, de modo a forçar a passagem de água pelo tubo de Venturi quando é feita a aplicação de fertilizante.

Para controlar a vazão de sucção da solução, foi utilizado um rotâmetro. O rotâmetro é um aparelho de medição de vazão instantânea em fluxo ascendente, de áreas variáveis. A leitura da vazão é feita de acordo com a localização de um flutuador no interior do tubo do aparelho. Para regular a vazão que passava pelo rotâmetro, utilizou-se uma válvula borboleta, que era aberta ou fechada até calibrar a vazão de sucção desejada no injetor de fertilizante.

Para atingir a concentração desejada de fertilizante que era aplicado nas plantas,

calcula-se o volume da solução no tanque, fixando-se o peso dos nutrientes e a vazão de sucção, conforme exemplificado na equação 2.

$$V = \frac{Qfa.cf.qs}{Qs.CF.10^{-3}} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

qs – vazão de sucção no rotâmetro (L.h^{-1});

Qs - vazão do sistema (L.h^{-1});

CF - concentração aplicada nas plantas (mg.L^{-1});

cf - concentração do nutriente no fertilizante (g.g^{-1});

Qfa - quantidade de fertilizante no tanque (g);

V - volume da solução no tanque (L).

3.4 Aplicação de fertilizantes

A quantidade de fertilizantes escolhida foi de acordo com a recomendação da Embrapa (2011), objetivando a produtividade de 15 a 25 ton.ha^{-1} .

Tabela 2 Adubação de produção por ciclo/safra da videira segundo a produtividade esperada e os teores de N, P e K

Produtividade esperada	N	P Mehlich (mg/d^3)				K solo ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)			
		<11	11 a 20	21 a 40	> 40	< 0,16	0,16 -0,3	0,31-0,40	> 45
(t/h)	(kg/ha)	P_2O_5 (Kg/ha)				$\text{K}_2\text{O}^{(1)}$ (Kg/ha)			
< 15	120	100	80	60	40	120	100	80	60
15-25	160	130	110	80	50	200	160	140	100
26-35	200	160	140	100	60	300	240	200	130
>35	240	200	160	120	80	400	320	240	160

¹Até o terceiro ano de idade da planta, deve-se usar K na forma de sulfato de potássio.

*Fonte: Embrapa, 2011.

De acordo com a recomendação e o tamanho da área cultivada, a necessidade nutricional da cultura no decorrer do ciclo foi de 85,33 Kg de N, 68,9 kg de P_2O_5 e 70,66 kg de K_2O .

Nem todos os fertilizantes são mutuamente compatíveis e podem ser aplicados juntos via água de irrigação. Pode-se citar como exemplo a mistura de Sulfato de amônio e Sulfato de potássio, que têm sua solubilidade do fertilizante reduzida no tanque (EMBRAPA, 2011).

Para a aplicação dos minerais recomendados, foram escolhidos os fertilizantes

Uréia, Fosfatado Mono Amônio (MAP) e Cloreto de Potássio branco, pois não apresentam problemas de compatibilidade. A Tabela 3 demonstra a compatibilidade entre fertilizantes aplicados na fertirrigação.

Tabela 3 Compatibilidade entre os fertilizantes empregados em fertirrigação

Fertilizante ¹	UR	NA	SA	NC	NK	CK	SK	FA	MS	MQ	SM	AF	AS	NA
Uréia (UR)		C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Nitrato de amônio (NA)			C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Sulfato de amônio (SA)				I	C	C	SR	C	C	C	C	C	C	C
Nitrato de cálcio (NC)					C	C	I	I	I	SR	I	I	I	C
Nitrato de potássio (NK)						C	C	C	C	C	C	C	C	C
Cloreto de potássio (CK)							SR	C	C	C	C	C	C	C
Sulfato de potássio (SK)								C	SR	C	SR	C	SR	C
Fosfatos de amônio MAP e DAP(FA)									I	SR	I	C	C	C
Fe,Zn,Cu, Mn, Sulfato (MS)										C	C	I	C	C
Fe,Zn,Cu Mn Quelato (MQ)											C	SR	C	I
Sulfato de magnésio (SM)												C	C	C
Ácido fosfórico (AF)													C	C
Ácido sulfúrico (AS)														C
Ácido nítrico (AN)														

¹C = compatível; SR = solubilidade reduzida; I = incompatível

*Fonte: Embrapa, 2011

A concentração dos fertilizantes no tanque de fertirrigação foi inferior a 290 g.L⁻¹, pois no decorrer do experimento era comum haver temperaturas próximas de 10 °C devido ao clima da região e, como descrito na Tabela 4, essa é a concentração máxima solúvel a essa temperatura para o Fosfato Mono Amônio.

Tabela 4 Solubilidade dos produtos recomendados para uso via fertirrigação

Produto	Conteúdo do nutriente (%)					Solubilidade (g.L ⁻¹ de H ₂ O)		
	N	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	10°C	20°C	30°C
Uréia	46	-	-	-	-	450	510	570
Nitrato de Amônia	33,5	-	-	-	-	610	660	710
Sulfato de Amônia	20	-	-	-	-	420	430	440
Nitrato de Cálcio	15,5	-	-	-	26,5 CaO	950	1200	1500
Fosfato mono-Amônio	12	26,6	61	-	-	290	370	460
Fosfato mono-Potássio	0	22,6	52	28	34	180	230	290
Nitrato de Potássio	13	-	-	38	46	210	310	450
MultiK+Mg	12	0,9	-	35,6	43	230	320	460
Multi K + NPK	12	-	2	36,5	44	210	330	480
Magnisal (Mg-nitrato)	10,8	-	-	-	15,8 MgO	2200	2400	2700
Sulfato de Potássio	0	-	-	41,5	50	80	100	110

*Fonte: Embrapa, 2011.

As aplicações dos fertilizantes foram fracionadas de modo a possibilitar a avaliação do sistema de irrigação nos tratamentos com fertirrigação.

3.5 Obtenção das vazões

Para a avaliação das vazões foram utilizadas duas metodologias, a de Keller e Karmeli (1975) e de Denículi *et al.* (1980).

Na primeira, determinam-se as vazões em 16 gotejadores dentro do sistema de irrigação. Selecionando-se quatro linhas laterais, que são: a primeira, a 1/3, a 2/3 do comprimento e a última. Em cada linha lateral escolhida, selecionam-se quatro emissores para coletar a vazão, que são: o primeiro, os situados a 1/3 e a 2/3 do comprimento e o último. Na figura 5 estão destacados os emissores elencados com suas respectivas ordens.

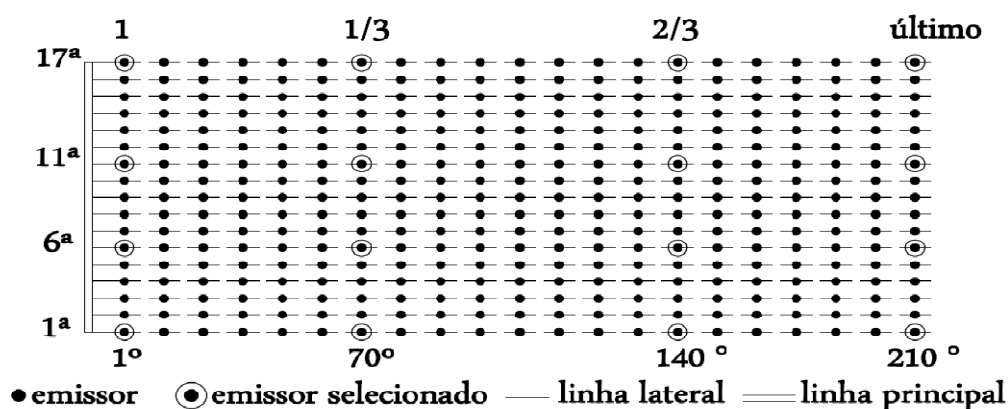


Figura 5 Método de coleta proposto por Keller e Karmeli (1975).

Na metodologia de Denículi *et al.* (1980), as vazões são determinadas em 32 emissores do setor avaliado. O critério de seleção das linhas laterais é o mesmo da metodologia de Keller e Karmeli (1975); porém, em cada linha selecionada coleta-se a vazão de oito emissores: o primeiro, os a 1/7, 2/7, 3/7, 4/7, 5/7, 6/7 do comprimento e o último. Na Figura 6 estão representados os emissores selecionados por este método.

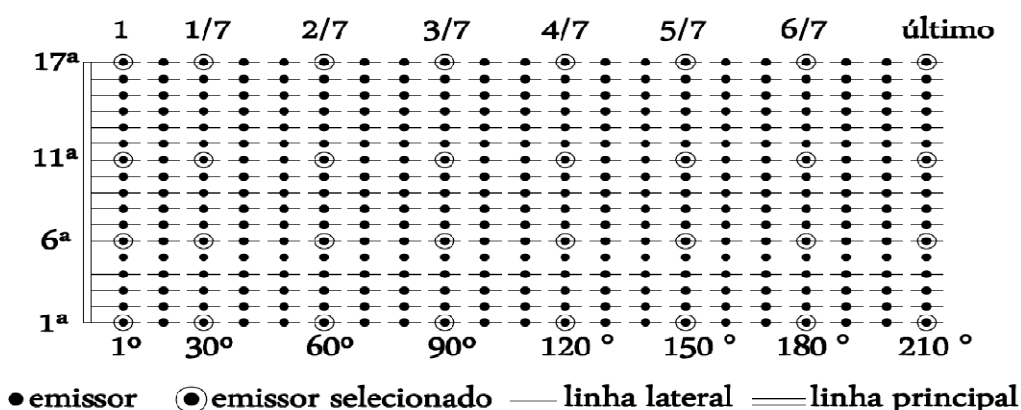


Figura 6 Método de coleta proposto por Deniculi *et al.* (1980).

As vazões foram obtidas por processo direto, pela razão entre volume e tempo. Em ambas as metodologias o tempo de coleta é de no mínimo 3,5 minutos. O tempo foi observado com cronômetro digital e o volume foi medido com provetas com capacidade para 500 mL.

As coletas foram realizadas em triplicata e só iniciavam após a estabilização da pressão do sistema, o que foi com auxílio dos manômetros digitais dispostos como descrito anteriormente.

As coletas de tratamentos com fertirrigação só iniciavam após 32 minutos de funcionamento, pois este é o tempo aproximado que leva para o fertilizante chegar ao último emissor. O cálculo do tempo para iniciar a coleta foi feito com a equação da continuidade.

$$Q = V \cdot A \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

Q - vazão ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$);

V - velocidade ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$);

A - área da tubulação (m^2).

Primeiro, com a vazão total no sistema, a vazão de cada trecho e com o diâmetro da tubulação, calculou-se a velocidade da água, em cada trecho, dividindo pelo comprimento respectivo, obtendo o tempo de deslocamento em cada trecho. A soma de todos os tempos de deslocamento resultou no tempo aproximado que leva a partícula de água vinda do tanque de fertilizante para chegar até o último emissor da última linha lateral.

Para que as coletas das vazões fossem simultâneas, construiu-se um mecanismo com cabos de aço e bengalas de polietileno. As bengalas conduziam a água dos emissores selecionados até as provetas. Os cabos de aço movimentavam simultaneamente as bengalas, conduzindo a água para dentro das provetas durante o tempo da coleta e para fora das provetas no fim do tempo de coleta.

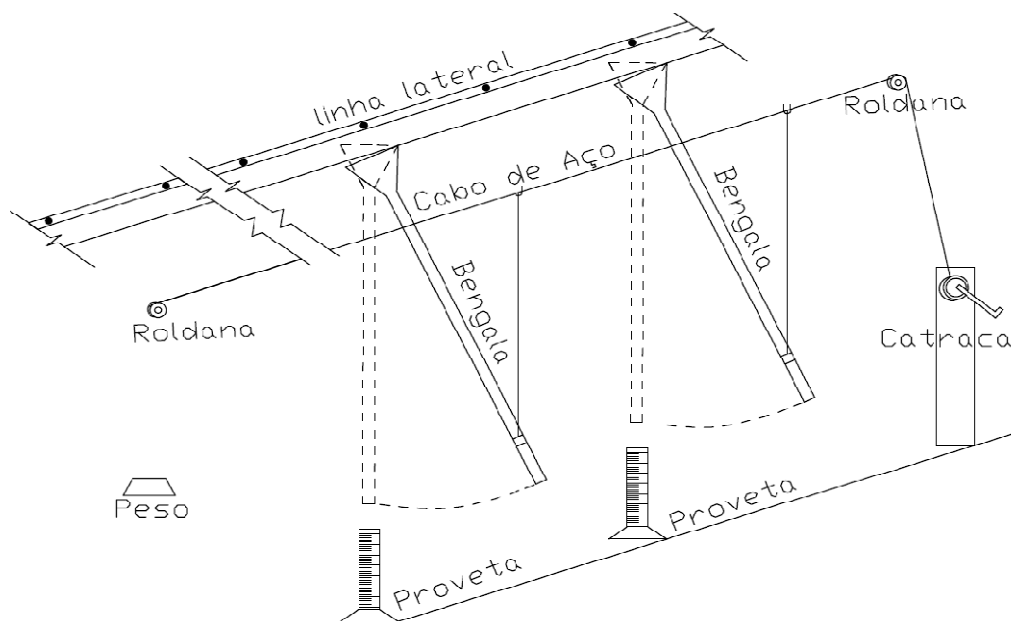


Figura 7 Layout do mecanismo de coleta.

O manejo de aplicação de lâmina foi realizado com irrigas de 25 kPa de tensão nominal. Para tanto, foram instaladas 4 baterias dispostas aleatoriamente na área de cultivo, cada bateria composta por dois irrigas, totalizando 8. As cápsulas foram instaladas a $\frac{1}{4}$ do espaçamento entre as plantas, ou seja, a 0,375 m da planta mais próxima e nas profundidades, de 0,25 e 0,6 m, que correspondem à metade da profundidade efetiva do sistema radicular (PE) e profundidade a baixo da PE, respectivamente, como o recomendado por Conceição (2008).

3.6 Delineamento experimental

O delineamento foi um fatorial 3 x 4, sendo o fator concentração de NPK com três níveis e o fator pressão de entrada com quatro níveis.

Apesar da faixa de serviço do tubo gotejador ser de 50 a 300 kPa, os tratamentos tiveram diferentes pressões de entrada, numa faixa de 150 a 300 kPa, pois a linha lateral mais crítica possui declive de 4 % nos primeiros 30 metros de comprimento e depois segue em nível. De acordo com o catálogo do fabricante, o comprimento máximo da linha lateral para 2 % com pressão de 1,0 bar é de 116 m, o que é inferior ao comprimento da linha (125 m), e a 1,5 bar é de 160 m. Na tabela 5 estão descritos os tratamentos que foram aplicados no experimento.

Tabela 5 Identificação dos tratamentos

Metologia de Coleta	Tratamento		H (kPa)	H (mca)	avaliações	n° de emissores avaliados
Keller &Karmeli	Irrigação	-	150	15	3	16
			200	20	3	16
			250	25	3	16
			300	30	3	16
Deniculi	Irrigação	-	150	15	3	32
			200	20	3	32
			250	25	3	32
			300	30	3	32
Keller &Karmeli	Fertirrigação	Concentração A	150	15	3	16
			200	20	3	16
			250	25	3	16
			300	30	3	16
Deniculi	Fertirrigação	Concentração A	150	15	3	32
			200	20	3	32
			250	25	3	32
			300	30	3	32
Keller &Karmeli	Fertirrigação	Concentração B	150	15	3	16
			200	20	3	16
			250	25	3	16
			300	30	3	16
Deniculi	Fertirrigação	Concentração B	150	15	3	32
			200	20	3	32
			250	25	3	32
			300	30	3	32

*Fonte: Dados da Pesquisa

As concentrações aplicadas às plantas devem ser inferiores às concentrações que possam causar salinização do solo. Segundo Coelho *et al.* (2003), a concentração da solução de nutrientes destinada aplicada nas plantas deve estar entre 200 e 700 mg.L⁻¹.

Para combinar os tempos necessários para realização das coletas nas fertirrigações com a quantidade disponível de fertilizante para o experimento, foram escolhidas as concentrações de 200 mg.L⁻¹, denominada fertirrigação A, e concentração de 400 mg.L⁻¹, denominada fertirrigação B.

Cada tratamento teve 3 repetições; como existem 12 tratamentos, foi realizado um total de 36 avaliações em todo o estudo.

3.7 Coeficiente de uniformidade de distribuição

Para todos os tratamentos e para as duas metodologias de coleta, foi calculado o CUD (coeficiente de uniformidade de distribuição), através da Equação 4, a seguir:

$$CUD (\%) = 100 \cdot q_{25} \cdot q_m \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que:

q_{25} - vazão média das 25 % menores vazões;

q_m - vazão média de todas as medições realizadas ($L.h^{-1}$);

3.8 Coeficiente de uniformidade de Christiansen

Para todos os tratamentos e para as duas metodologias de coleta, foi calculado o CUC (coeficiente de uniformidade de Christiansen), através da Equação 5, a seguir:

$$CUC (\%) = 100. \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - q_m|}{n.q_m} \right) \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que:

q_i - vazão em cada coletor ($L.h^{-1}$);

q_m - vazão média de todas as medições realizadas ($L.h^{-1}$).

3.9 Gráfico de controle para mais de uma observação

O gráfico $\bar{X}$ monitora a média do processo, e o gráfico R, a amplitude do processo. Foram confeccionados gráficos de $\bar{X}$ e R, com os valores de vazão para todos os tratamentos, com 40 amostras de vazão, de 3 a 9 observações para cada amostra. A seguir estão as fórmulas para a construção dos limites de controle para o gráfico X:

$$LSC = \bar{\bar{x}} + 3 \hat{\sigma} \quad (\text{Eq. 6})$$

$$\text{Linha central} = \bar{\bar{x}}$$

$$LIC = \bar{\bar{x}} - 3 \hat{\sigma} \quad (\text{Eq. 7})$$

Em que:

$$\hat{\sigma} = R. (d_2 \sqrt{n})^{-1} \quad (\text{Eq. 8})$$

$\hat{\sigma}$: é o estimador do desvio padrão populacional (σ) não-viesado; este necessita de um fator de correção denominado d_2 , tabelado, que depende do tamanho da amostra;

$\bar{R}$: amplitude amostral média;

$\bar{\bar{x}}$: é a linha central das médias dos valores de vazão;

n : número de observações.

3.10 Gráfico de controle para uma observação

O gráfico I monitora a média do processo. Foram confeccionados gráficos de I, para todos os emissores, com 36 amostras; porém, com o número de observações igual a 1. A seguir estão as fórmulas para a construção dos limites de controle para o gráfico MR:

$$LSC = \bar{\bar{x}} + 3\hat{\sigma} \quad (\text{Eq. 9})$$

$$\text{Linha central} = \bar{\bar{x}}$$

$$LIC = \bar{\bar{x}} - 3\hat{\sigma} \quad (\text{Eq. 10})$$

Em que:

$$\hat{\sigma} = \overline{MR} \cdot (d_2)^{-1} \quad (\text{Eq. 11})$$

$\hat{\sigma}$: é o estimador do desvio padrão populacional (σ) não-viesado, este necessita de um fator de correção denominado d_2 , tabelado, que depende do tamanho da amostra;

$\overline{MR}$: amplitude média móvel, que é definida como a média de:

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}| \quad (\text{Eq. 12})$$

$\bar{\bar{x}}$: é a linha central das médias dos valores de vazão;

n : número de observações.

3.11 Gráficos de Controle com amostra de tamanho variável

Nos casos em que o tamanho das amostras é variável, é aplicada a abordagem da média ponderada no cálculo de $\bar{\bar{X}}$ e S . Se n_i é o número de observações, então se usa a equação 13 para $\bar{\bar{X}}$ e a equação 14 para S .

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^m n_i x_i}{\sum_{i=1}^m n_i} \quad (\text{Eq. 13})$$

$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^m (n_i - 1) S_i^2}{\sum_{i=1}^m n_i - m} \right]^{1/2} \quad (\text{Eq. 14})$$

A estimativa do desvio padrão do processo, σ , a partir dos valores amostrais individuais, S_i , de todos os S_i com o valor n_i de maior frequência; logo, a estimativa de σ é dada pela Equação 14, onde c_4 corresponde ao tamanho n_i de maior frequência. Como o tamanho das amostras foi variável, existiram diferentes limites de controle no mesmo gráfico.

$$\hat{\sigma} = \frac{S}{c_4} \quad (\text{Eq. 15})$$

Para cada processo de uma carga hidráulica combinada com uma concentração de fertilizante, foi feito um gráfico de controle de X e R de subgrupos, cada subgrupo composto por 3 avaliações de um mesmo processo. Em cada avaliação foram obtidos de 1 a 3 valores de vazão. Portanto, o número de amostras que compõe os subgrupos de cada gotejador varia de 3 a 9.

Os índices de capacidade de processo foram calculados a partir do $\hat{\sigma}$ estimado de acordo com a Equação 15.

3.12 Índice de capacidade de processo

Para cada tratamento será calculado o índice de capacidade de processo das vazões, e dos parâmetros de CE e pH, ou seja cada CUC, CUD e CVt, terá um cp (índice de capacidade de processo). O índice é expresso pela Equação 16:

$$Cp = (LSE - LIE) \cdot 6\sigma^{-1} \quad (\text{Eq. 16})$$

Em que:

LSE - Limite superior de especificação;

LIE - Limite inferior de especificação;

σ - desvio padrão populacional estimado por $\hat{\sigma}$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de CUC e CUD de cada avaliação estão no apêndice A. Estes valores foram submetidos a uma análise de variâncias (ANOVA) com auxílio do software Minitab 16.0 (licenciado pela UNIOESTE). Para realizar a análise de variância, verificou-se o comprimento das suposições do modelo para análise fatorial. Gráficos de distribuição dos coeficientes e dos resíduos de todos os tratamentos foram submetidos a testes de normalidade de Anderson-Darling ou Ryan-Joiner ou Kolmogorov-Sminov, apresentados no apêndice A.

Primeiramente serão apresentados os resultados obtidos aplicando-se a metodologia de amostragem de Keller e Karmeli (1975); em segundo, os resultados da metodologia de Deniculi *et al.* (1980) e, posteriormente, a análise estatística de controle de qualidade nos processos de irrigação, fertirrigação A e fertirrigação B.

4.1 Metodologia de Keller e Karmeli (1975)

4.1.1 CUC segundo a metodologia de Keller e Karmeli (1975)

A tabela 6 apresenta a análise de variância do CUC com 16 pontos em função dos fatores de pressão de entrada e concentração aplicada nos eventos de irrigação e fertirrigação.

Tabela 6 Análise de variância do CUC para os fatores concentração e pressão de entrada

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	p-valor	Regra de Decisão
Concentração	3	9,43	3,14	5,51	0,00	*
Pressão de entrada	2	42,14	21,07	36,9	0,00	*
Concentração*Pressão de entrada	6	3,38	0,56	0,99	0,45	ns
Erro	24	13,70	0,57			
Total	35	68,67				

Nota: * indica que p-valor é significativo e "ns" que o p-valor não é significativo ao nível de 5 % de significância.

Os resultados da tabela 6 indicam com 95 % de confiança que a pressão de entrada e a concentração de fertilizante afetaram o CUC durante as irrigações e fertirrigações. O p-valor de interação dos fatores não indicou influência significativa, não foi inferior a 0,05.

Os gráficos boxplot da Figura 8 são valores do CUC em diferentes pressões de entrada. O tratamento com a menor pressão de entrada teve uma distribuição mais homogênea e maior média em relação aos demais.

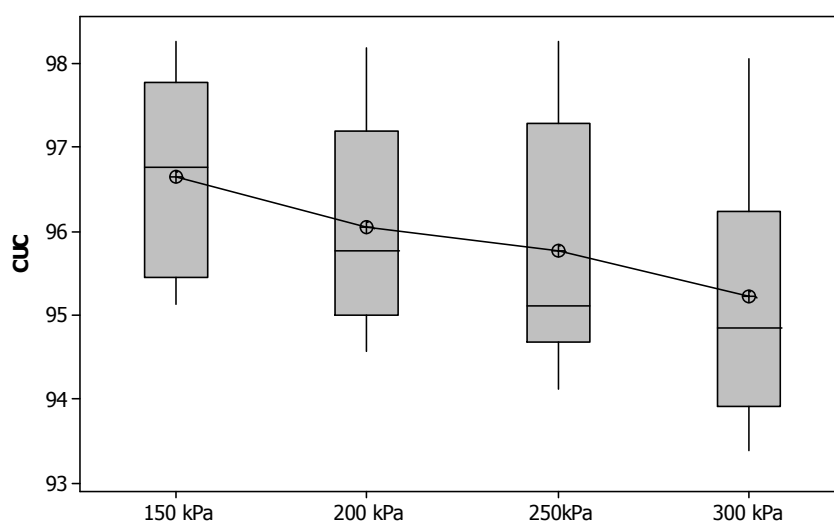


Figura 8 Gráfico boxplot do CUC x Pressão de entrada na metodologia de Keller e Karmeli (1975).

Sabendo que na análise de variância o p-valor do fator pressão de entrada indicou que há um efeito dos tratamentos, foi realizada uma comparação múltipla com o teste Tukey com 5 % de significância. O resultado e as médias estão na Tabela 7. Apesar da análise de variância ter indicado diferença entre os tratamentos, o teste Tukey não apresentou diferença estatística entre eles.

Tabela 7 Valores médios de CUC (%) pela metodologia de Keller e Karmeli (1975) para diferentes pressões de entrada e teste Tukey para as médias das 9 repetições

Pressão de entrada	Média CUC (%)	Resultado
150 kPa	96,647	a
200 kPa	96,055	a
250 kPa	95,773	a
300 kPa	95,227	a

Nota: Letras iguais indicam igualdade a 5 % de significância pelo teste Tukey.

Na Figura 9 está o gráfico boxplot dos valores do CUC para as diferentes concentrações.

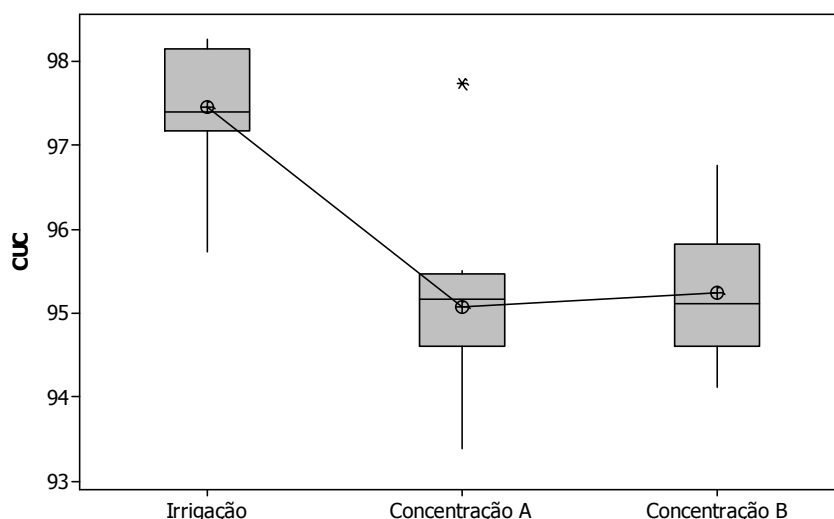


Figura 9 Gráfico boxplot do CUC x Concentração na metodologia de Keller e Karmeli (1975).

O tratamento com irrigação teve uma média mais elevada que os tratamentos com fertirrigação. Na fertirrigação com concentração A houve uma discrepância; apesar disso, os tratamentos com fertirrigação apresentaram uma faixa de valores próximos.

Como descrito anteriormente, de acordo com a análise de variância, o fator das concentrações de fertilizante foi significativo. A Tabela 8 é o resumo do teste de comparação múltipla do CUC para os tratamentos de diferentes concentrações de fertilizante.

Tabela 8 Valores médios de CUC (%) pela metodologia de Keller e Karmeli (1975) para diferentes concentrações e teste Tukey para as médias das 12 repetições

Concentração	Média CUC (%)	Resultado
Irrigação	97,45	a
Concentração A	95,24	b
Concentração B	95,08	b

Nota: Letras iguais indicam igualdade a 5 % de significância pelo teste Tukey.

A média de CUC do tratamento realizado com irrigação foi estatisticamente superior aos tratamentos com fertirrigação ao nível de 5 % de significância.

A figura 10 é uma representação gráfica dos valores de CUC para todas as repetições dos fatores de pressão de entrada. A Figura 11 é a representação dos valores de concentração da solução aplicada, com 16 pontos amostrados.

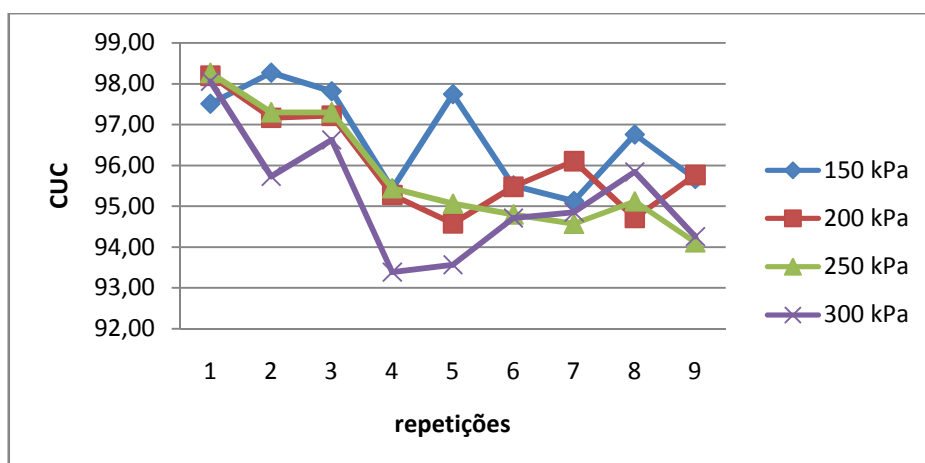


Figura 10 Valores de CUC para as pressões de entrada com a metodologia de Keller e Karmeli (1975).

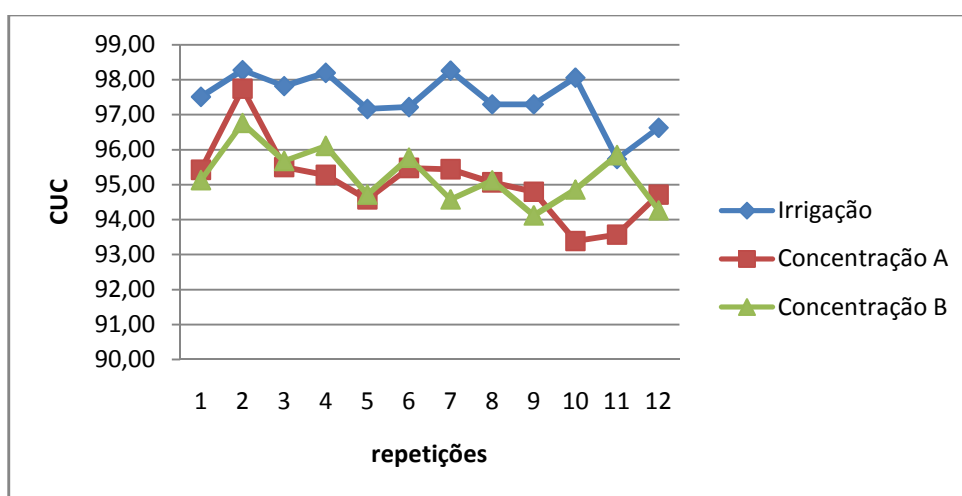


Figura 11 Valores de CUC para as concentrações com a metodologia de Keller e Karmeli (1975).

Em todas as repetições de todos os tratamentos, o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) foi superior ao mínimo na irrigação por gotejamento, que é de 90 %, segundo Mantovani e Ramos (1994). Também foram superiores a 80 %, que é o mínimo recomendado em irrigação localizada por Bernardo, Soares e Mantovani (2005).

A uniformidade de vazão de um sistema deve ser de pelo menos 90 % para garantir que toda a área receba quantidade idêntica de fertilizante (COELHO; SOUZA et al., 2003).

4.1.2 CUD segundo a metodologia de Keller e Karmeli (1975)

Na tabela 9 está o resumo da análise de variância para os valores de CUD, obtidos com a coleta de 16 valores médios de vazão, em função das pressões de entrada e da concentração de solução de fertilizante.

O p-valor inferior a 0,05 no fator pressão de entrada indica que pelo menos uma das

médias desse tratamento difere estatisticamente das demais. A interação entre os fatores não foi significativa, bem como para o fator de concentração, como observado na tabela 9.

As irrigações e a fertirrigação não apresentaram diferença, o que é um indício de boa distribuição de fertilizante.

Tabela 9 Análise de variância do CUD para os fatores concentração e pressão de entrada

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	p-valor	Regra de Decisão
Concentração	3	28,58	9,53	1,53	0,23	ns
Pressão de entrada	2	157,97	78,98	12,65	0,00	*
Concentração*Pressão de entrada	6	14,68	2,45	0,39	0,88	ns
Erro	24	149,87	6,24			
Total	35	351,10				

Nota: * indica que p-valor é significativo e “ns” que o p-valor não é significativo ao nível de 5 % de significância.

Na figura 12, boxplot do CUD para o fator pressão de entrada, o tratamento com 150 kPa obteve a maior média e uma distribuição mais homogênea. Os tratamentos com 200 e 250 kPa têm uma média próxima. Apesar de terem médias distintas, a distribuição do tratamento com 250 e 300 kPa é semelhante.

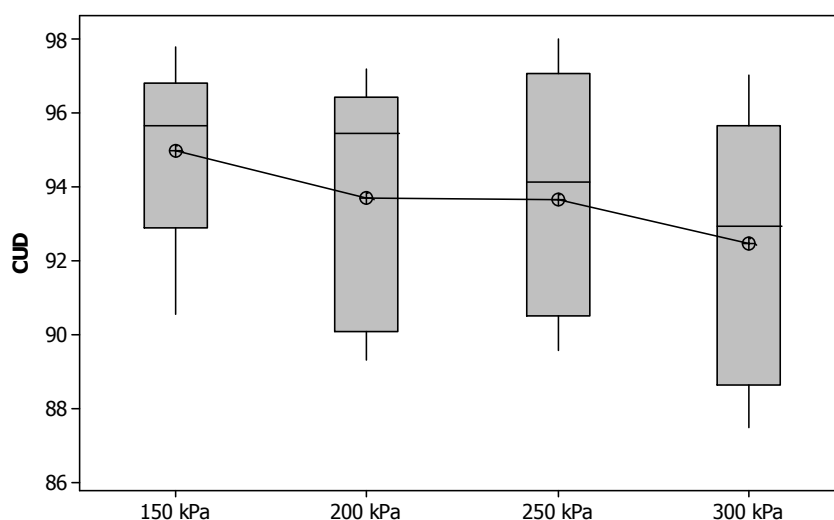


Figura 12 Gráfico boxplot do CUD x Pressão de entrada na metodologia de Keller e Karmeli (1975).

A Tabela 10 é o resumo do teste de comparação múltipla para o CUD nos tratamentos em que a pressão de entrada foi variada.

Tabela 10 Valores médios de CUD (%) pela metodologia de Keller e Karmeli (1975) para diferentes pressões de entrada e teste Tukey para as médias das 9 repetições

Pressão de entrada	Média CUD (%)	Resultado
150 kPa	95,009	a
200 kPa	93,695	a
250 kPa	93,673	a

300 kPa

92,491

a

Nota: Letras iguais indicam igualdade a 5 % de significância pelo teste Tukey.

Do mesmo modo que para o CUC, a análise de variância apontou diferença entre os tratamentos; porém, o teste Tukey a 5 % de significância não apresentou diferença entre as médias dos valores de CUD sujeitos a diferentes pressões. Não havendo diferenças significativas de uniformidade de distribuição dentre as pressões de entrada, a opção pela menor pressão de entrada implica em menos custos com energia.

Na Figura 13 está a representação gráfica dos valores de CUD para todas as repetições dos fatores de pressão de entrada, e a Figura 14 apresenta as concentrações da solução aplicada de acordo com a ordem de coleta, ambas com 16 pontos amostrados.

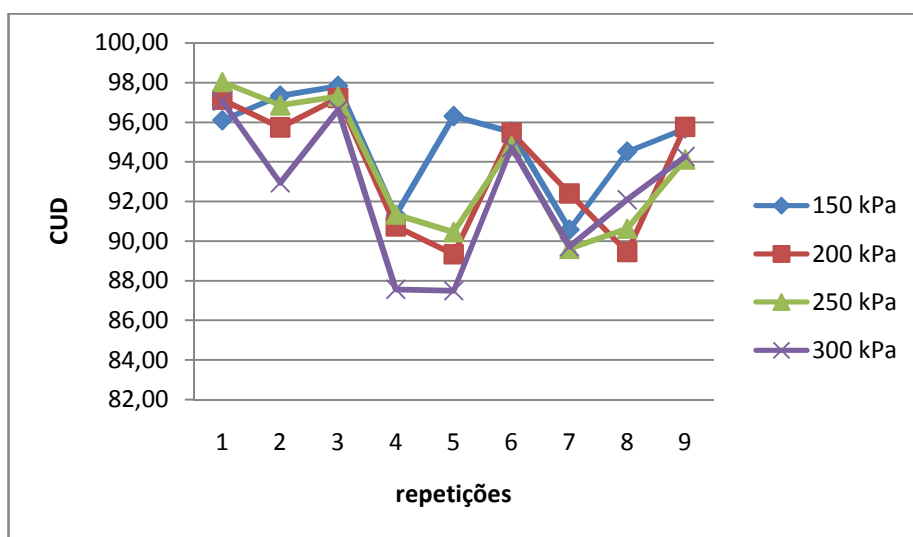


Figura 13 valores de CUD para as pressões de entrada com a metodologia de Keller e Karmeli.

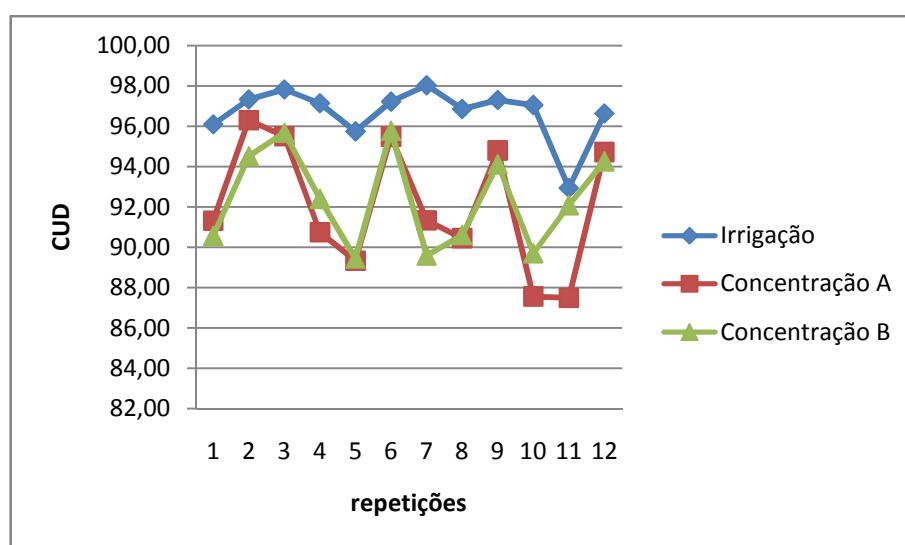


Figura 14 Valores de CUD para as concentrações com a metodologia de Keller e Karmeli.

De acordo com a classificação de Bralts (1986), em todas as repetições dos tratamentos

com a carga hidráulica de 150 kPa e todas as repetições com irrigação, o CUD foi classificado como “excelente”. O tratamento com 200 kPa teve duas avaliações com classificação de “bom”, ou seja, CUD entre 80 e 90 %; as outras 7 foram classificadas como “excelente”. O tratamento com 250 kPa de pressão de entrada obteve apenas uma repetição com valor de CUD inferior a 90 %. O tratamento com pressão de entrada de 300 kPa e as fertirrigações tiveram 3 pontos inferiores ao valor de 90 % para o CUD de 9 repetições para a pressão de entrada e 12 repetições cada uma das fertirrigações.

4.2 Metodologia de Deniculi *et al.* (1980)

4.2.1 CUC segundo a metodologia de Deniculi *et al.* (1980)

A tabela 11 apresenta a análise de variância do CUC segundo a metodologia de Deniculi (1980), sujeito ao fator de pressão de entrada e ao fator concentração.

Tabela 11 Análise de variância do CUC para os fatores concentração e pressão de entrada

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	p-valor	Regra de Decisão
Concentração	3	18,83	6,28	15,58	0,00	*
Pressão de entrada	2	17,86	8,93	22,17	0,00	*
Concentração*Pressão de entrada	6	6,17	1,03	2,55	0,05	ns
Erro	24	9,67	0,40			
Total	35	52,53				

Nota: * indica que p-valor é significativo e “ns” que o p-valor não é significativo ao nível de 5 % de significância.

Com um p-valor inferior a 0,05, a análise de variância indicou, com 95 % de confiança, que a pressão de entrada e a concentração de fertilizante afetaram o CUC durante as irrigações e fertirrigações na metodologia de Deniculi (1980).

Os gráficos boxplot da Figura 15 são valores do CUC para as diferentes concentrações de fertilizante.

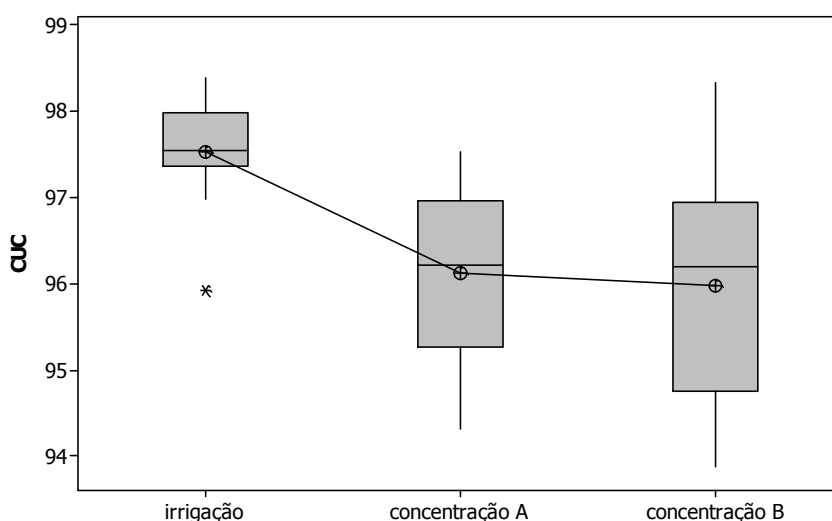


Figura 15 Gráfico boxplot do CUC x Concentração, na metodologia de Deniculi *et al.* (1980).

A irrigação, mesmo com um ponto discrepante, apresentou uma média maior e uma distribuição mais homogênea do que as fertirrigações, o que está de acordo com o teste Tukey apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 Valores médios de CUC (%) pela metodologia de Deniculi *et al.* (1980) para diferentes concentrações e teste Tukey para as médias das 12 repetições

Concentração	Média CUC (%)	Resultado
Irrigação	97,54	a
Concentração A	96,12	b
Concentração B	95,98	b

Nota: Letras iguais indicam igualdade a 5 % de significância pelo teste Tukey.

Os valores médios do CUC para as fertirrigações foram estatisticamente iguais e inferiores aos das irrigações. Não havendo diferença entre as fertirrigações, é indicada a fertirrigação B, a qual exige menos volume de água para a confecção da solução e menor tempo de injeção.

Semelhante ao gráfico boxplot do CUC com a metodologia de Keller e Karmeli, houve uma diminuição na média do CUC com o aumento da pressão na metodologia de Deniculi *et al.* (1980), como demonstra a Figura 16. Os tratamentos com pressão de entrada de 150 e 200 kPa tiveram uma distribuição mais uniforme dos valores de CUC em relação às duas outras pressões.

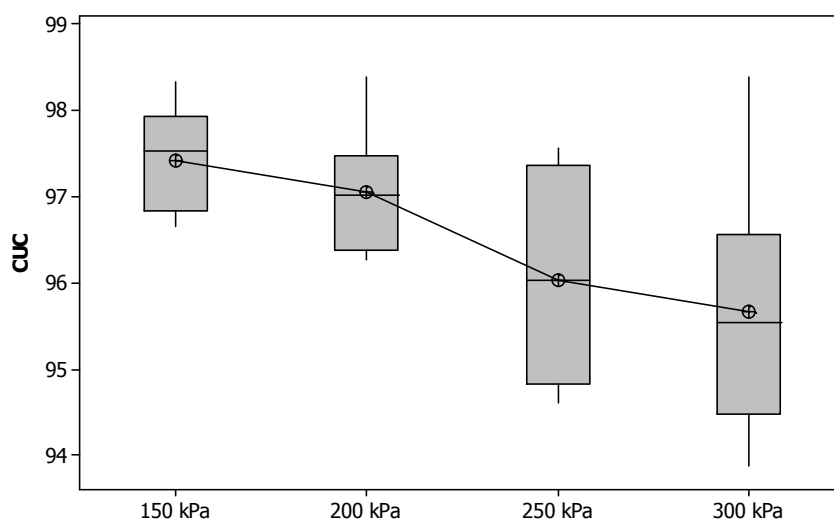


Figura 16 Gráfico boxplot do CUC x Pressão de entrada na metodologia de Deniculi *et al.* (1980).

Como o indicado na análise de variância, houve diferença significativa entre os níveis do fator pressão, conforme demonstrado na Tabela 13.

Tabela 13 Valores médios de CUC (%) pela metodologia de Deniculi *et al.* (1980) para diferentes pressões de entrada e teste Tukey para as médias das 9 repetições

Pressão de entrada	Média CUC (%)	Resultado
150 kPa	97,44	a
200 kPa	97,05	ab
250 kPa	96,04	bc
300 kPa	95,67	c

Nota: Letras iguais indicam igualdade a 5 % de significância pelo teste Tukey.

O teste de comparação múltipla indicou igualdade no valor médio do CUC para as pressões de 150 e 200 kPa, sendo esses os com maior média. O teste também indicou semelhança estatística para o valor médio de CUC com as pressões de entrada de 200 e 250 kPa; o mesmo ocorreu com os tratamentos de 250 e 300 kPa.

Em relação à classificação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), todos os tratamentos apresentaram valores superiores ao mínimo exigido, segundo as classificações de Bralts (1986) e Mantovani *et al.* (1994), de 90 e 80 %, respectivamente.

Na Figura 14 está uma representação gráfica dos valores do CUC, segundo a metodologia de Deniculi *et al.* (1980), separados por pressão de entrada (Figura 17) e concentração de fertilizante (Figura 18).

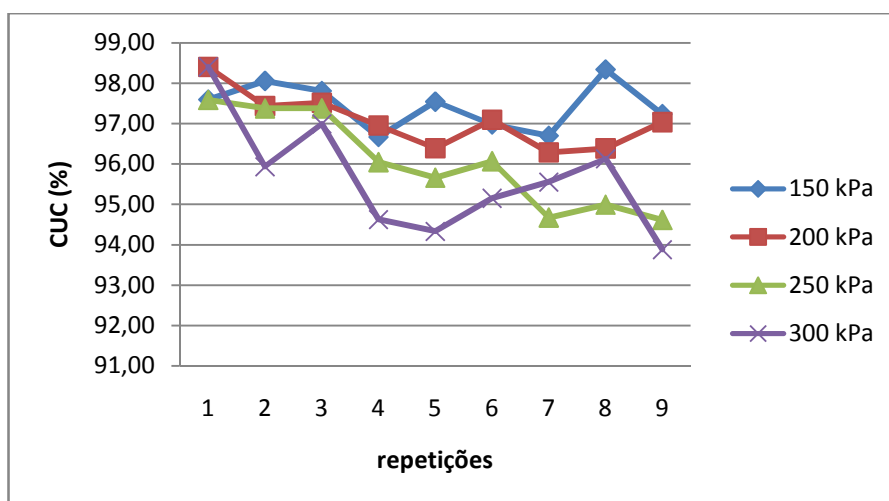


Figura 17 Valores de CUC para as pressões de entrada com a metodologia de Deniculi *et al.* (1980).

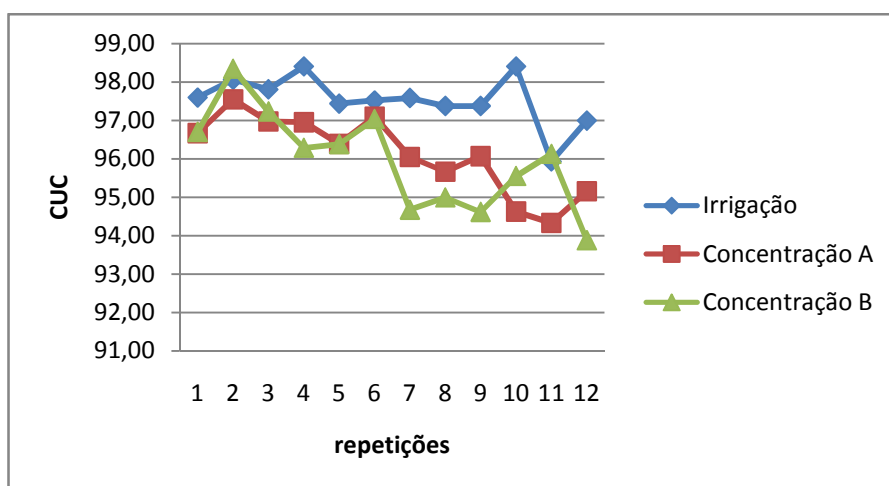


Figura 18 Valores de CUC para as concentrações com a metodologia de Deniculi *et al.* (1980).

Não houve pontos abaixo da linha dos 90 %, o que indica uma elevada uniformidade de distribuição para todos os tratamentos.

4.2.2 CUD segundo a metodologia de Deniculi *et al.* (1980)

Da mesma maneira que com os outros coeficientes, procedeu-se com a análise de variância fatorial para os valores de CUD, segundo a metodologia de Deniculi *et al.* (1980), em função dos fatores de concentração e pressão de entrada no sistema.

O p-valor para o fator concentração da Tabela 14 foi menor que 0,05, tendo esse fator exercido influência no valor do CUD para a metodologia de Deniculi *et al.* (1980). O fator pressão de entrada e sua interação com o fator de concentração não foram significativos ao nível de 5 %.

Tabela 14 Análise de variância do CUD para os fatores concentração e pressão de entrada

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	p-valor	Regra de Decisão
Concentração	3	66,83	22,28	21,11	0,00	*
Pressão de entrada	2	0,00	0,00	0,0	1,00	Ns
Concentração*Pressão de entrada	6	1,81	0,30	0,29	0,94	Ns
Erro	24	25,33	1,06			
Total	35	93,97				

Nota: * indica que p-valor é significativo e “ns” que o p-valor não é significativo ao nível de 5 % de significância.

A Figura 19 ilustra que a média dos valores de CUD é maior na irrigação do que as fertirrigações. Nos tratamentos com esse mesmo nível existem 2 pontos discrepantes; porém, os valores obtidos da irrigação têm distribuição menos dispersa que os de concentração A e B.

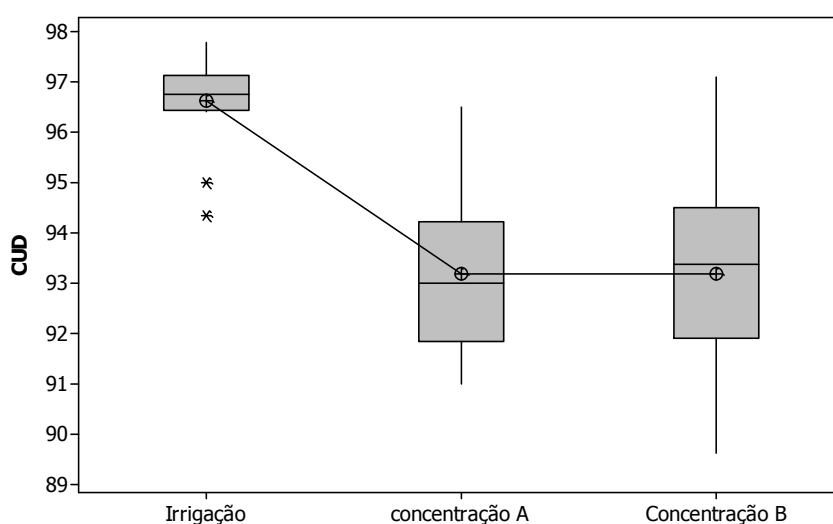


Figura 19 Gráfico boxplot do CUD x Concentração na metodologia de Deniculi *et al.* (1980).

De acordo com o teste Tukey apresentado na Tabela 15, o valor médio do CUD obtido a partir das irrigações é estatisticamente superior aos obtidos nas fertirrigações. Já as fertirrigações obtiveram valores médios de CUD iguais.

Tabela 15 Valores médios de CUC (%) pela metodologia de Deniculi *et al.* (1980) para diferentes concentrações e teste Tukey para as médias das 12 repetições

Tratamento	Média CUD (%)	Resultado
Irrigação	96,60	a
Concentração A	93,18	b
Concentração B	93,18	b

Nota: Letras iguais indicam igualdade a 5 % de significância pelo teste Tukey.

De acordo com a classificação de Bralts (1986), apenas uma repetição, com pressão 300 kPa e uma repetição para a Concentração B (450 mgL⁻¹) tiveram classificação “bom”

para o CUD; as demais foram classificadas como “excelentes”. As repetições e seus valores estão nas Figuras 20 e 21.

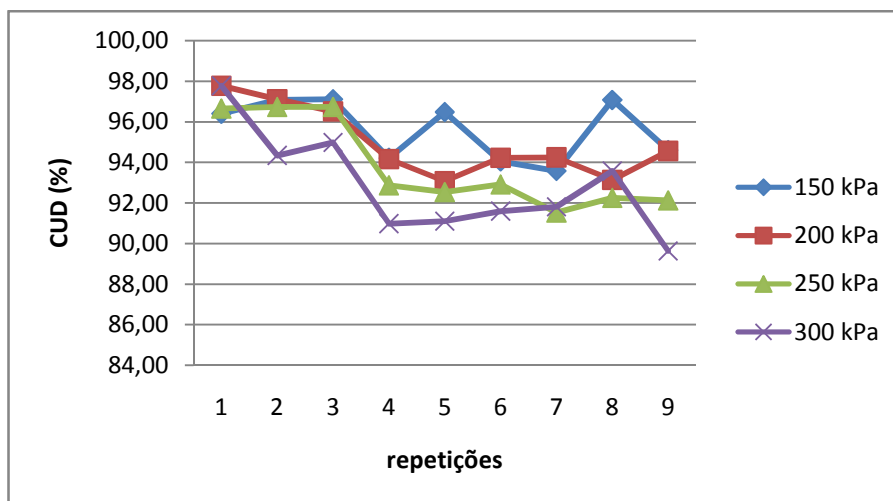


Figura 20 Valores de CUD para as pressões de entrada com a metodologia de Deniculi *et al.* (1980).

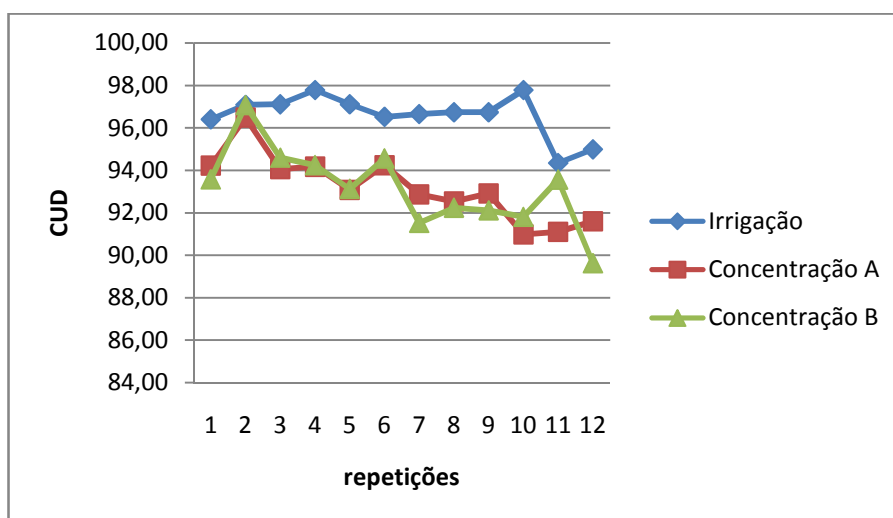


Figura 21 Valores de CUD para as concentrações com a metodologia de Deniculi *et al.* (1980).

Considerando os testes de hipótese e as classificações dos coeficientes, é aconselhável optar pela pressão de 150 kPa, por implicar em menor custo com bombeamento. Para a fertirrigação, opta-se pela concentração B, por exigir menos mão de obra na preparação da solução e possuir tempos de aplicação mais reduzidos.

4.3 Teste de Hipóteses entre as Metodologias de Keller e Karmeli (1975) e de Deniculi *et al.* (1980)

A análise de variância, resumida na Tabela 16, indica que há diferença entre as metodologias de Keller e Karmeli (1975) e de Deniculi *et al.* (1980) para o CUC, em um mesmo sistema e nas mesmas avaliações.

Tabela 16 Análise de variância do CUC para as metodologias de Keller e Karmeli (1975) e de Deniculi *et al.* (1980)

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	p-valor	Regra de Decisão
Metodologia	1	7,01	7,01	4,06	0,04	*
Erro	70	120,76	1,73			
Total	71	127,77				

Nota: * indica que p-valor é significativo e “ns” que o p-valor não é significativo ao nível de 5 % de significância

A tabela 17 exibe a análise de variância e mostra que não há significância entre as metodologias de coleta com 16 e 32 pontos para o CUD. Nota-se que o p-valor não foi inferior a 0,05.

Tabela 17 Análise de variância do CUD para as metodologias de Keller e Karmeli (1975) e de Deniculi *et al.* (1980)

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	p-valor	Regra de Decisão
Concentração	1	5,19	5,19	0,82	0,369	ns
Erro	70	445,07	6,36			
Total	71	450,26				

Nota: * indica que p-valor é significativo e “ns” que o p-valor não é significativo ao nível de 5 % de significância

O teste F, que compara duas médias de tratamentos, indicou que a maior média para o valor do CUC foi atribuída ao calculado com a metodologia de Deniculi *et al.* (1980), como demonstra o resumo da Tabela 18.

Apesar de indicar diferença, em termos práticos e de classificação, o sistema apresenta uma excelente uniformidade média de distribuição.

Tabela 18 Valores médios de CUC (%) pelas metodologias de Keller e Karmeli (1975) e de Deniculi *et al.* (1980) e teste F para as médias das 36 repetições

Metodologia	Média CUD (%)	Resultado
CUC Deniculi	96,55	a
CUC Keller e Karmeli	95,93	b

Nota: Letras iguais indicam igualdade a 5 % de significância pelo teste Tukey.

A Figura 22 é uma representação gráfica dos 36 valores de CUC e CUD obtidos pelas duas metodologias em todas as avaliações. A metodologia de Keller e Karmeli (1975) foi disposta em ordem crescente, associada ao respectivo valor de CUC e CUD para a metodologia com 32 pontos de coleta.

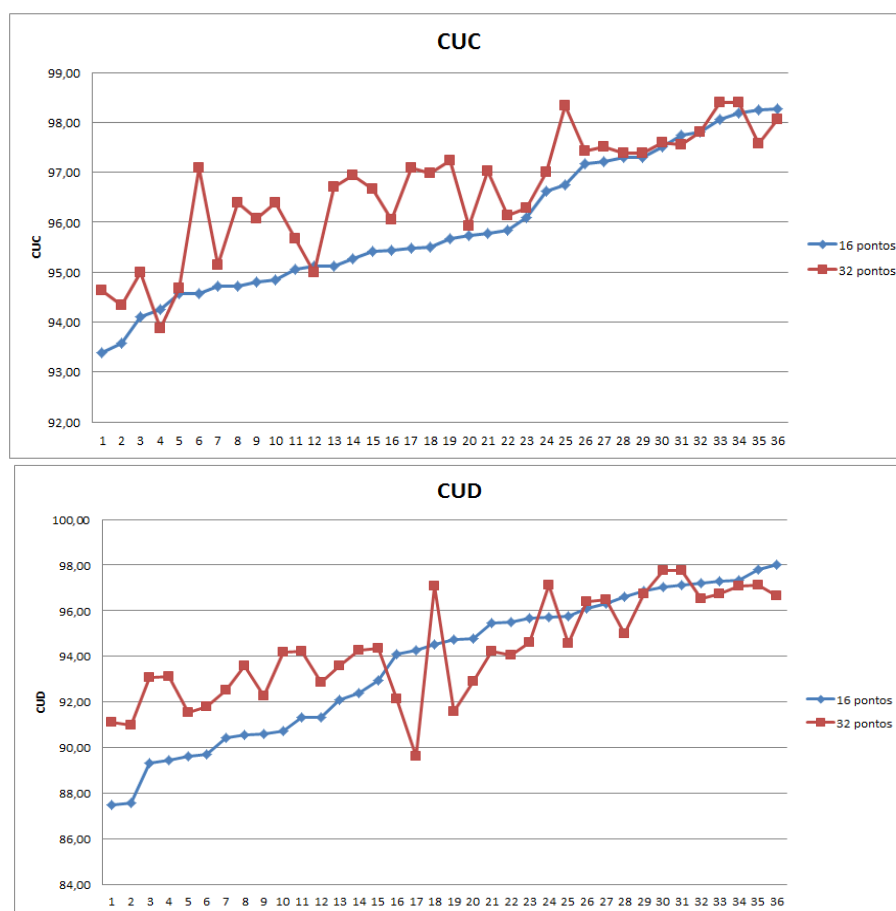


Figura 22 Todos os valores de CUC e CUD para a metodologia com 16 e 32 pontos.

Para este estudo, a figura acima ilustra que, quando os valores de CUC e CUD são mais elevados, as metodologias geram coeficientes mais próximos entre si. Quando esses mesmos valores vão diminuindo, a proximidade entre eles diminui. Em relação ao CUC, a maioria dos valores na metodologia de Deniculi *et al.* (1980) foi superior aos da metodologia de Keller e Karmeli (1975), considerando a mesma avaliação. Para o CUD, quando os valores são os menores, a metodologia com 32 pontos foi superior pra cada avaliação e maiores quando os coeficientes aumentaram.

Borssoi *et al.* (2012), comparando a metodologia de amostragem de Deniculi *et al.* (1980) com a de Keller e Karmeli (1975) em um Kit de irrigação pro gotejamento, concluiu que a metodologia com 32 pontos classificou melhor o sistema.

4.4 Curvas Características

O tubo gotejador utilizado no experimento foi o modelo Drip Net PC, como já descrito anteriormente (item “Material e Métodos”), vazão nominal $1,6 \text{ L.h}^{-1}$ e pressão de funcionamento entre 50 e 400 kPa, com a seguinte equação de vazão:

$$q = 1,6h^0 \quad (\text{Eq. 17})$$

Em que,

q - vazão do emissor em Lh^{-1} ;

h - pressão de trabalho em kPa.

Foram confeccionadas seis curvas, três de vazão *versus* pressão de entrada e três de variação total *versus* pressão de entrada divididas em irrigação, fertirrigação A e fertirrigação B. Cada curva foi confeccionada com 4 pares de dados. Cada par foi composto por um valor médio de vazão dos 40 pontos coletados no sistema com seu ponto correspondente de pressão média de entrada. Os dados médios de vazão e o coeficiente de variação de vazão são referentes a todos os pontos coletados simultaneamente e não seguem nenhuma metodologia de amostragem.

Em relação às variações de pressão, a variação total é a variação relativa da pressão inicial com a final. A variação inicial é a variação relativa da pressão de entrada com a pressão medida no meio. A variação final corresponde à variação relativa da pressão medida no meio e à pressão medida no final.

4.4.1 Relação vazão *versus* pressão de entrada e variação total de pressão *versus* pressão de entrada na irrigação

A Tabela 19 mostra algumas relações entre as pressões de entrada, pressão do meio e pressão final e coeficiente de variação dos pares de dados utilizados na confecção das curvas de vazão *versus* pressão de entrada e pressão de entrada *versus* variação total de pressão.

Tabela 19 Pressões médias de entrada, no meio e no final do sistema (kPa), vazão média (L.h^{-1}), inter-relação entre as vazões (%) e coeficiente de variação da vazão (%)

Pressão Nominal (kPa)	Var. Total (%)	Var. Final (%)	Var. Inicial (%)	Pressão Final (kPa)	Pressão no Meio (kPa)	Pressão Entrada (Kpa)	Vazão Média (Lh^{-1})	CV da Vazão (%)
150	35,50	19,44	22,96	97	116	151	1,72	2,98
200	27,70	13,61	17,87	147	167	203	1,75	3,15
250	22,10	7,61	16,17	193	207	247	1,76	3,01
300	15,11	6,66	9,46	260	278	307	1,79	4,69
Média Total	25,10	11,83	16,61	174,35	192,08	227,08	1,76	3,46

Todas as variações de pressão diminuíram com o acréscimo das pressões, bem como as vazões médias. O coeficiente de variação de vazão para a avaliação com 150 kPa foi o menor, com 2,98 %, e o maior foi de 4,69 %, para a pressão de entrada com 300 kPa. A média da variação de pressão total foi de 25,10 %.

A Figura 23 remete às curvas de vazão *versus* pressão de entrada e pressão de entrada *versus* variação total de pressão.

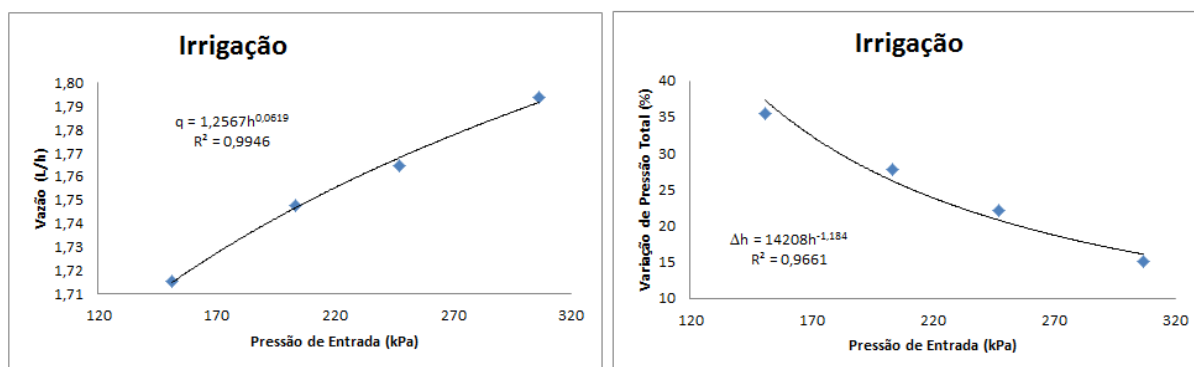


Figura 23 Vazão x pressão de entrada e pressão de entrada x variação total de pressão.

A Equação 18 foi resultante da curva de pressão x vazão demonstrada:

$$q = 1,256h^{0,061} \quad (\text{Eq. 18})$$

Em que,

q - vazão do emissor em Lh^{-1} ;

h - pressão de trabalho em kPa.

O coeficiente de determinação (R^2) foi de 99,46 % para este modelo ajustado (potencial). Esse coeficiente indica que 99,46 % da variação da vazão média, variável Y, é explicada pela variável pressão, ou, variável X.

Com o acréscimo da pressão inicial, houve a redução percentual na variação de pressão total do sistema, como mostra o gráfico do lado direito na Figura 18.

4.4.2 Relação vazão *versus* pressão de entrada e variação total de pressão *versus* pressão de entrada na fertirrigação A

A tabela 20 mostra as relações de pressão dos pares de dados utilizados na confecção das curvas de vazão *versus* pressão de entrada e pressão de entrada *versus* variação total de pressão.

Tabela 20 Pressões médias de entrada, no meio e final do sistema (kPa) vazão média (Lh^{-1})
Inter relação entre as vazões (%) e coeficiente de variação da vazão (%)

Pressão Nominal (kPa)	Var. Total (%)	Var. Final (%)	Var. Inicial (%)	Pressão Final (Kpa)	Pressão noMeio (Kpa)	Pressão Entrada (Kpa)	Vazão Média (L.h^{-1})	CV da Vazão (%)
150	31,71	19,66	18,29	98	118	144	1,69	5,6
200	21,39	8,42	14,78	153	165	194	1,72	5,1
250	16,67	8,30	9,75	225	244	270	1,76	6,2

300	14,52	8,30	6,77	265	289	315	1,81	7,2
Média Total	21,07	11,17	12,40	185,21	203,92	229,50	1,74	6,03

Da mesma maneira que nas avaliações com irrigação, houve redução de todas as variações de pressão com o acréscimo da pressão inicial. A média da variação total de pressão no sistema foi de 21,07 %, valor inferior à média das avaliações com irrigação. A pressão correspondente ao tratamento com 200 kPa de pressão de entrada obteve o menor coeficiente de variação, de 5,1 %. Esse valor foi superior ao maior valor das avaliações sem aplicação de fertilizante.

Na Figura 24 estão as curvas que mostram o comportamento da vazão *versus* pressão de entrada e pressão de entrada *versus* variação total de pressão. Para cada curva existe uma equação e um R^2 pelo ajuste de modelo potencial.

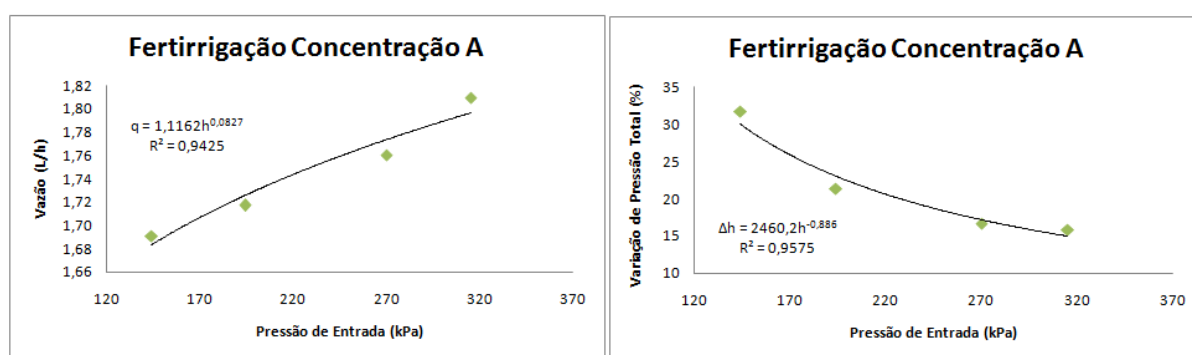


Figura 24 Vazão x pressão de entrada e pressão de entrada x variação total de pressão.

A Equação 19 foi resultante da curva de pressão x vazão:

$$q = 1,116h^{0,0827} \quad (\text{Eq. 19})$$

Em que,

q : vazão do emissor Lh^{-1} ;

h : pressão de trabalho em kPa.

O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,9425, ou seja, 94,25 % da variação nas vazões foi explicada pelas pressões.

4.4.3 Relação vazão *versus* pressão de entrada e variação total de pressão *versus* pressão de entrada na fertirrigação B

A Tabela 21 mostra os valores de vazão média do sistema e as pressões de entrada que foram utilizadas para a curva característica do sistema para as avaliações de

fertirrigação com concentração de 400 mg.L⁻¹. Nesta tabela também estão o coeficiente de variação das vazões e as variações de pressão entre início, meio e fim do sistema.

Tabela 21 Pressões médias de entrada, no meio e no final do sistema (kPa), vazão média (L.h⁻¹), inter-relação entre as vazões (%) e coeficiente de variação da vazão (%)

Pressão Nominal (kPa)	Var. Total (%)	Var. Final (%)	Var. Inicial (%)	Pressão Final (Kpa)	Pressão no Meio (Kpa)	Pressão Entrada (Kpa)	Vazão Média (L.h ⁻¹)	CV da Vazão (%)
150	31,00	11,80	22,85	102	114	147	1,71	5,59
200	19,39	8,75	12,34	168	182	208	1,74	6,66
250	16,12	8,68	8,84	215	234	256	1,78	7,75
300	11,67	5,68	6,65	270	285	306	1,79	7,01
Média Total	19,54	8,73	12,67	188,58	203,75	229,33	1,75	6,75

A variação total de pressão para esta fertirrigação foi de 19,54 %: inferior à da irrigação e da fertirrigação com concentração A, porém o maior valor médio de coeficiente de variação de vazão.

Na figura 25 estão as curvas de vazão *versus* pressão de entrada e pressão de entrada *versus* variação total de pressão para as fertirrigações de concentração B.

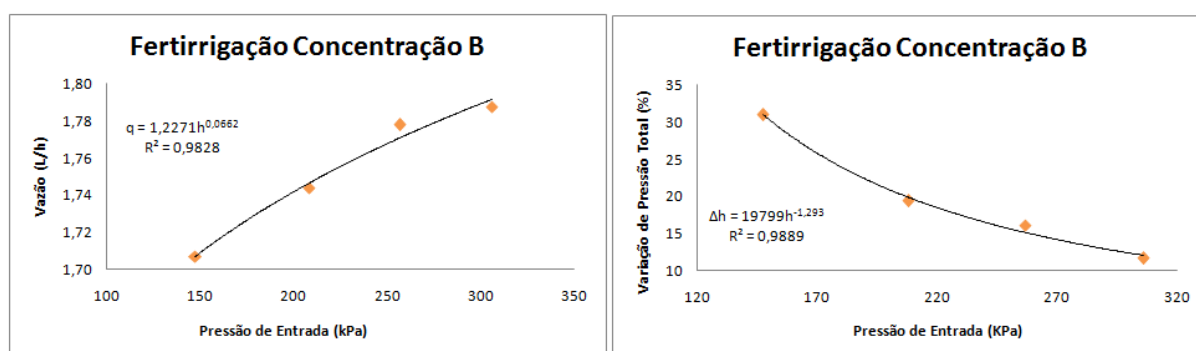


Figura 25 Vazão x pressão de entrada e pressão de entrada x variação total de pressão.

A Equação 19 foi resultante da curva de pressão x vazão:

$$q = 1,2276h^{0,0662} \quad (\text{Eq. 19})$$

Em que,

q - vazão do emissor Lh⁻¹;

h - pressão de trabalho em kPa;

O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,9828, ou seja, 98,28 % da variação nas vazões foi explicada pelas pressões.

Teixeira (2006) realizou um estudo envolvendo mais de 14 modelos de emissores auto-compensantes, definiu em laboratório as equações de curvas características de emissores, novos e após determinada horas de aplicação de água e soluções básicas e

ácidas combinadas com diferentes temperaturas e mais de 10 pressões de entrada.

Dentre todas as equações de curvas características definidas por Teixeira (2006) está a do emissor novo, com modelo igual ao utilizado neste estudo, submetido a uma temperatura controlada de 25°C com água. A curva é determinada pela Equação 20:

$$q = 1,0156h^{0,1192} \quad (\text{Eq. 20})$$

Em que,

q - vazão do emissor em Lh^{-1} ;

h - pressão de trabalho em kPa;

Houve uma diferença entre as equações determinadas acima, principalmente relacionadas ao expoente $x = 0,1192$ (que caracteriza o regime do fluxo). O expoente determinado em laboratório superestima a vazão para uma mesma pressão em relação aos encontrados neste estudo realizado em campo. Isso pode ser explicado pelas condições de campo, que não são controladas, e pelas dimensões do sistema.

4.4.4 Efeito da concentração de fertilizante na variação de pressão

Como exposto nos itens anteriores, houve uma pequena redução da perda de carga no sistema com a adição de fertilizante na água de irrigação. Na Figura 26 está uma correlação linear entre as variações de pressão total do sistema entre a irrigação e a fertirrigação A e entre a irrigação e a fertirrigação B.

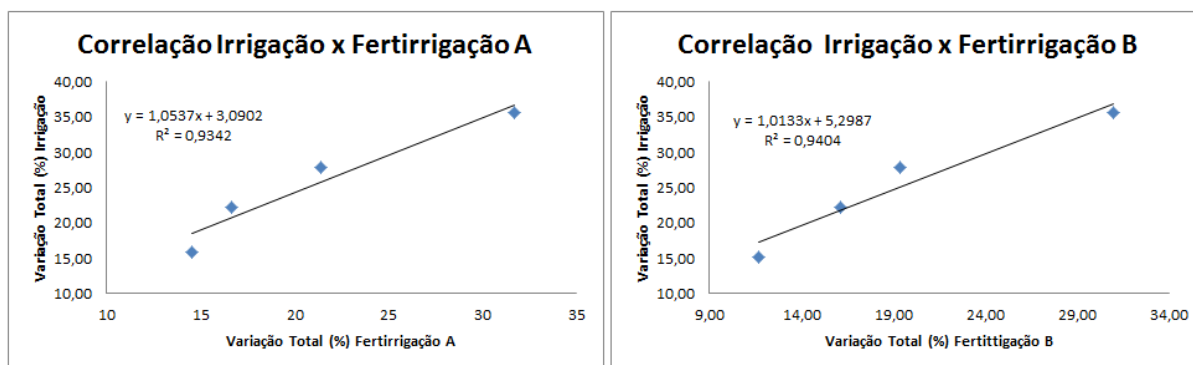


Figura 26 Correlação linear em as variações de pressão total (%) de irrigação com fertirrigação com concentração A e irrigação com fertirrigação de concentração B.

As equações geradas a partir das correlações tiveram um coeficiente de regressão, valor associado à variável X, superior a 1. Portanto, o coeficiente de regressão indicou que a variação percentual total do sistema foi superior para as irrigações com um R^2 de 93,42 % para fertirrigação A e 94,94 % para fertirrigação B.

Por exemplo, se a pressão no início do sistema fosse de 300 kPa e no final fosse 270

Kpa, para a fertirrigação de concentração B, teríamos uma variação total de 10 %. Utilizando a equação da regressão para a irrigação e fertirrigação B com a variação de 10 %, a variação correspondente seria de 15,42 % para a irrigação. Sendo assim, para a mesma pressão inicial, a medida de pressão final para a irrigação seria de 255,36 kPa, com 5,42 % de aumento na variação.

Em algumas aplicações, de condução de fluídos incompressíveis, são adicionados aditivos a fim de reduzir as perdas de carga por atrito nas tubulações. Al-Yaari *et al.* (2009), combinando polímero com água/óleo e diferentes velocidades, em um tubo horizontal de 2,54 cm de diâmetro, em alguns casos conseguiram 65 % de redução de variação de pressão, utilizando apenas de 10 a 15 ppm de polímero na solução (10 a 15 mg.L⁻¹).

Os adubos nitrogenados geralmente são envoltos com uma pequena camada de polímero para evitar a volatilização do nitrogênio, como o caso da ureia utilizada nas fertigações deste estudo. Esse fato pode explicar a pequena redução percentual na variação de pressão do sistema com o aumento da concentração do fertilizante.

4.5 Controle Estatístico de Processo

4.5.1 Considerações iniciais

O principal pressuposto do uso da estatística de controle de qualidade neste trabalho foi verificar a variabilidade espacial da vazão no sistema de irrigação sob diferentes pressões e concentrações de fertilizantes na água. Portanto, a maior ênfase será relativa às avaliações, e não aos emissores, no decorrer do tempo.

Para as vazões de cada emissor, dos 40 amostrados no sistema, foi confeccionado um gráfico de I em ordem cronológica. Todos os gráficos estão no Apêndice B.

Alguns emissores com falta de controle apresentaram um comportamento peculiar aos quais se procurou atribuir uma causa. Assim como o gotejador 10 usado no exemplo anterior, destacaram-se os emissores 31, 32, 33, 34, 35, 36 e 37. Na Figura 27 estão os gráficos de I para uma observação desses emissores. Nota-se que, para as avaliações 30, 31 e 32, houve picos de vazão para esses emissores. Essas avaliações correspondem ao tratamento de fertirrigação com pressão de entrada de 300 kPa, a 30ª com 200 mgL⁻¹ e a 31ª e 32ª com 400 mgL⁻¹.

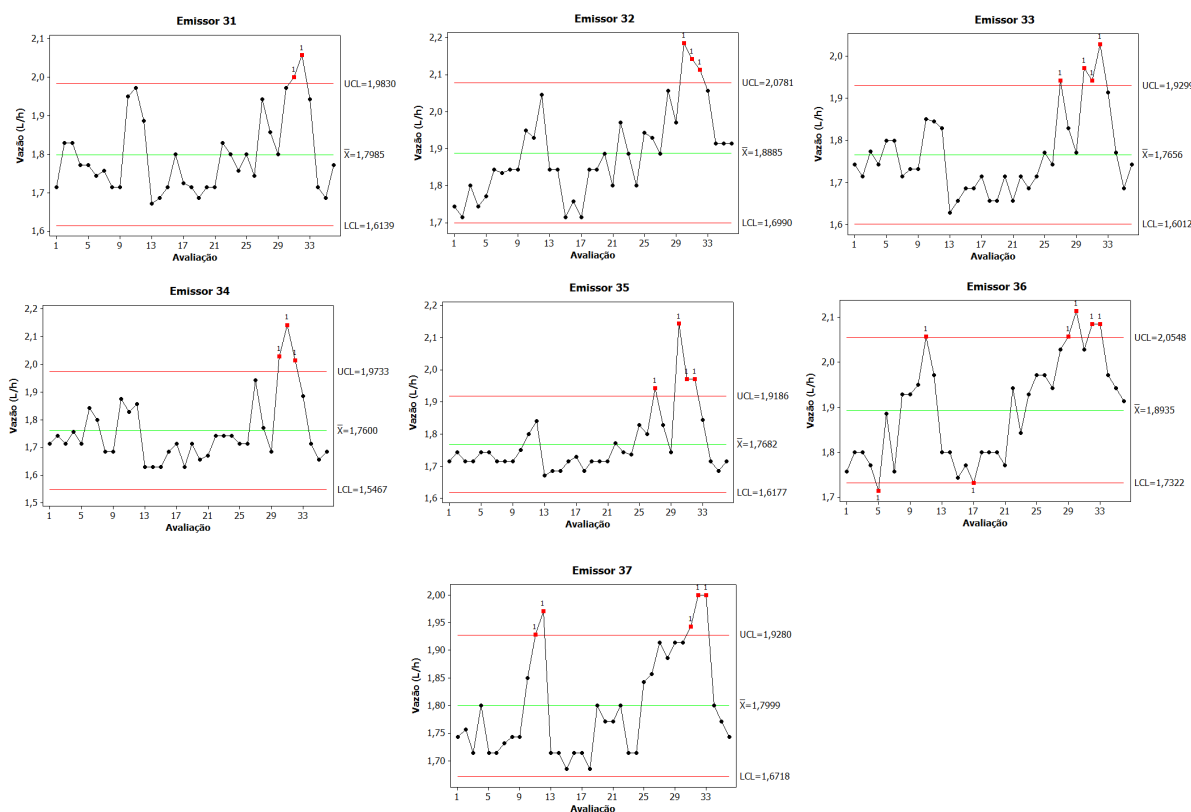


Figura 27 Gráficos I das vazões médias com uma observação por amostra para os emissores de número 31, 32, 33, 34, 35, 36 e 37.

Na tabela 22 estão os valores de vazão média do sistema, os coeficientes de variação das vazões, as pressões de entrada, no meio e as medidas no final com suas variações entre si para todas as configurações de pressão/concentração. Na mesma tabela está a ordem cronológica das coletas.

Nas 31^a e 32^a avaliações ocorreram as maiores pressões de entrada dentre todos os processos. Pressões mais elevadas podem justificar o aumento relativo da vazão nessas fertirrigações.

Na 30^a avaliação ocorreu a menor variação inicial de pressão, 4,5 %. Isso pode ser explicado por um aumento momentâneo na concentração do fertilizante, o qual possivelmente agiu como um redutor de atrito. A redução das perdas de carga devido a um aditivo, presente nos fertilizantes utilizados, atuou como redutor de atrito, em que o fluxo é classificado como turbulento, ou seja, no começo das linhas laterais.

Momentos antes dessas avaliações houve problemas na injeção de fertilizante, descontrolando a vazão de sucção do injetor Venturi. Após a resolução do problema, deu-se início às coletas sem respeitar o tempo para que o fertilizante com concentração desconhecida chegasse ao final da última linha.

Tabela 22 Pressões médias de entrada, no meio e no final do sistema (kPa), vazão média (L/h), inter-relação entre as vazões (%), coeficiente de variação da vazão (%) e ordem de coleta da avaliação

Avaliação	Pressão/ Concentração	Var. Total (%)	Var. Final (%)	Var. Inicial (%)	Pressão Final (kPa)	Pressão no Meio (kPa)	Pressão Entrada (kPa)	Vazão Média (L/h)	CV da Vazão (%)
1	150 kPa Irrigação	35,50	19,44	22,96	97,4	116,3	151,0	1,715	2,98
2		35,12	15,52	25,06	96,7	111,7	149,0	1,72	2,31
3		32,97	12,13	24,84	101,7	114,0	151,7	1,73	3,08
4	200 kPa Irrigação	24,71	9,78	17,35	153,3	168,3	203,7	1,73	2,26
5		27,70	13,61	17,87	147,0	167,0	203,3	1,75	3,15
6		22,60	10,77	14,26	161,0	178,3	208,0	1,74	3,01
7	250 kPa irrigação	22,10	7,61	16,17	192,7	207,3	247,3	1,76	3,01
8		21,79	9,86	14,08	195,0	214,2	249,3	1,74	3,53
9		16,05	5,72	11,25	209,7	221,7	249,8	1,74	3,53
10	300 kPa irrigação	12,90	8,52	5,48	270,0	293,0	310,0	1,73	2,36
11		15,63	11,94	5,56	255,1	285,5	302,3	1,81	5,06
12		15,11	6,66	9,46	260,3	277,7	306,7	1,79	4,69
13	150 fertirrigação A	31,09	22,79	15,38	107,5	132,0	156,0	1,73	5,48
14		31,57	13,87	22,08	103,3	117,7	151,0	1,73	3,09
15		31,71	19,66	18,29	98,3	117,7	144,0	1,69	5,60
19	200 fertirrigação A	21,39	8,42	14,78	152,5	165,3	194,0	1,72	5,14
20		21,85	11,22	13,08	163,3	181,7	209,0	1,73	6,30
21		22,39	11,48	13,49	152,5	170,0	196,5	1,71	5,48
34	250 fertirrigação A	12,68	8,30	9,75	225,0	243,7	270,0	1,76	6,23
35		12,22	8,62	9,69	220,3	239,3	265,0	1,72	6,71
36		10,55	7,48	9,45	231,7	249,0	275,0	1,75	5,81
31	300 Fertirrigação A	10,13	8,18	7,62	269,0	291,0	315,0	1,82	7,90
32		9,09	7,53	7,24	270,0	290,3	313,0	1,85	7,68
33		9,86	9,06	8,25	265,0	289,0	315,0	1,81	7,17
16	150 fertirrigação B	31,00	11,80	22,85	101,7	113,7	147,3	1,71	5,59
17		29,35	13,54	19,78	108,3	123,0	153,3	1,71	4,35
18		28,10	13,03	18,74	110,0	124,3	153,0	1,69	5,69
22	200 Fertirrigação B	22,06	10,64	13,76	156,7	173,3	201,0	1,76	5,36
23		19,39	8,75	12,34	167,7	182,3	208,0	1,74	6,66
24		24,53	10,69	16,46	159,0	176,0	210,7	1,73	5,18
25	250 fertirrigação B	16,12	8,68	8,84	215,0	233,7	256,3	1,78	7,75
26		16,22	8,64	8,98	208,3	226,3	248,7	1,77	6,89
27		17,89	10,89	8,95	205,0	227,3	249,7	1,77	6,74
28	300 Fertirrigação B	11,67	5,68	6,65	270,0	285,3	305,7	1,79	7,01
29		11,48	5,31	6,78	270,0	284,3	305,0	1,78	5,36
30		11,86	8,08	4,75	260,0	281,0	295,0	1,82	8,72

Os outros gráficos de I para os outros emissores estão no apêndice C, juntamente com os testes de normalidade.

Além da 4ª linha, alguns gotejadores da 3ª linha tiveram um comportamento semelhante nas pressões de 250 e 300 kPa. Foram calculadas perdas de carga das linhas 4 e 3, com a equação de Darcy-Weisbach:

$$hf = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Eq. 21})$$

Em que:

hf - perda de carga contínua na tubulação, m;

L - comprimento do tubo, m;

D - diâmetro interno do tubo, m;

V - velocidade média do escoamento, m s⁻¹;

g - aceleração da gravidade, m s⁻²;

f - fator de atrito, dependente do número de Reynolds (R) e da altura as asperezas.

O fator de atrito f quando $R > 4000$ foi calculado com a Equação 22, proposta por Blasius para tubos lisos, quando a altura das asperezas não influi a turbulência do escoamento.

$$f = \frac{c}{R^m} \quad (\text{Eq. 22})$$

O coeficiente c foi de 0,296 determinado por Rettore *et al.* (2009), utilizado num estudo para determinar uma equação de perda de carga total para o mesmo modelo de tubo gotejador utilizado neste estudo.

No regime indeterminado, $2.000 \leq R < 4.000$, o fator f foi aproximado pela Equação 23, recomendada por Silverberg & Manadali (1997):

$$f = 2,82 \cdot 10^{-7} R^{1,52} \quad (\text{Eq. 23})$$

No regime laminar, $R < 2.000$ f foi calculado com a equação de Hangen-Poiseuille, Equação 24:

$$f = \frac{64}{R} \quad (\text{Eq. 24})$$

Do mesmo trabalho de Rettore *et al.* (2009) utilizou-se a Equação 25 para calcular as perdas de carga localizadas nos gotejadores com os valores de $\alpha = 12,97932 \cdot 10^4$ e $k = 1,7586$, determinados para o mesmo modelo do gotejador utilizado na pesquisa.

$$h_{fe} = \alpha Q^k \quad (\text{Eq. 25})$$

A Figura 28 representa a pressão disponível no decorrer da linha 4 e, a Figura 29, a pressão disponível da 3ª linha. Considerando as perdas de carga e a disposição altimétrica

das linhas, foi considerada uma pressão de entrada no sistema de 300 kPa.

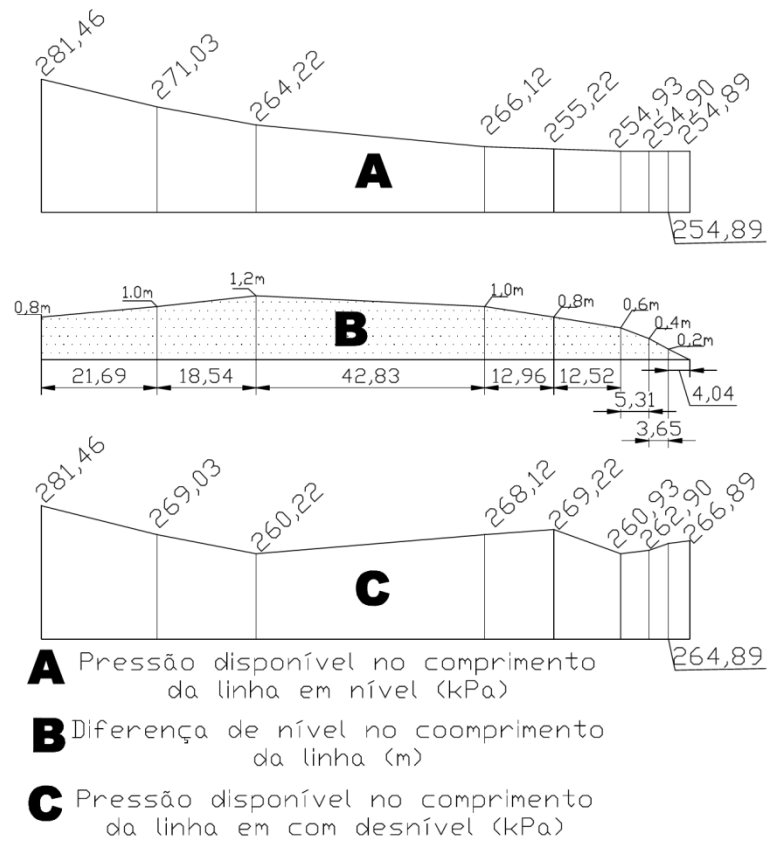


Figura 28 Pressão disponível na 4ª linha com 300 kPa de pressão de entrada no sistema.

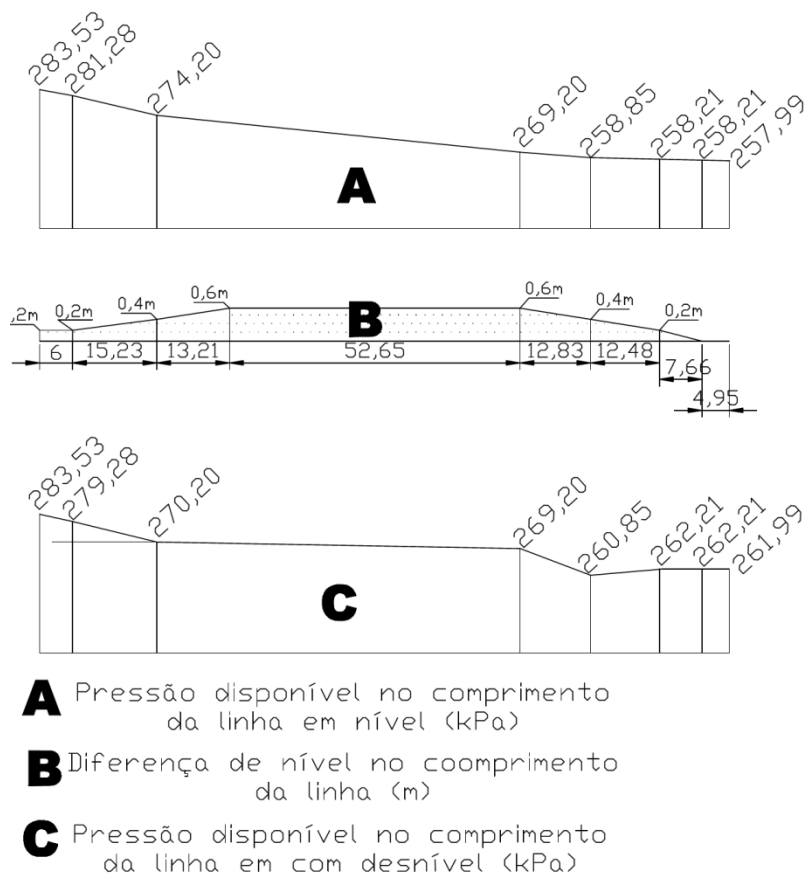


Figura 29 Pressão disponível na 3ª linha com 300 kPa de pressão de entrada no sistema.

A figura 30 mostra o relevo onde foram dispostas as linhas 1 e 2.

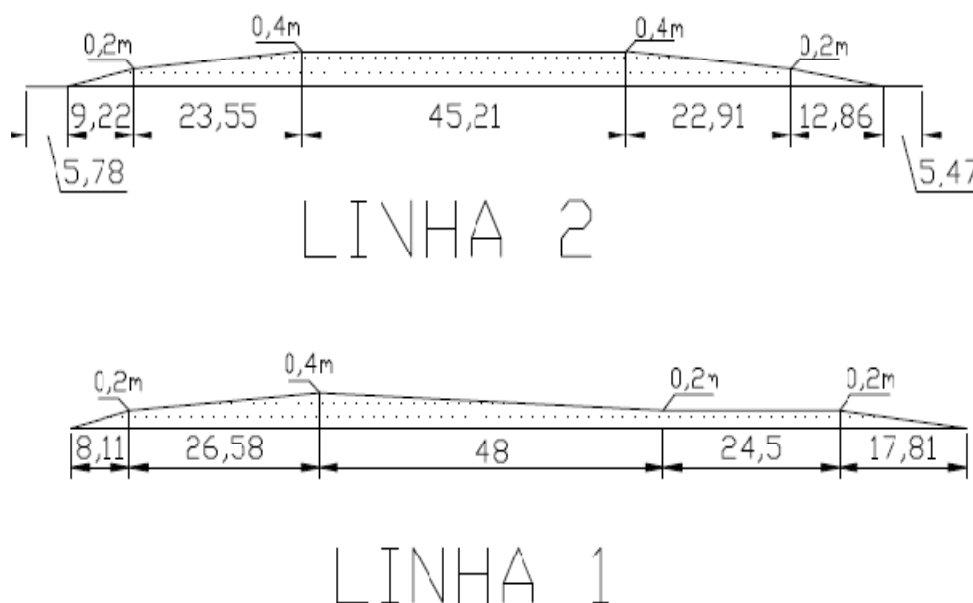


Figura 30 Diferença de nível da 1ª e da 2ª linha.

As figuras mostram que a topografia onde foi disposto o sistema favoreceu o aumento da pressão disponível na 4ª e na 3ª linha. Em consequência, maiores valores de vazão e maior número de pontos fora dos limites de controle.

Em geral, os emissores tiveram pontos acima dos limites superiores nos processos com 250 e 300 kPa de pressão de entrada. Alguns emissores tiveram pontos abaixo do limite inferior de controle, e a causa disso pode ser atribuída a erros de leitura ou falha no mecanismo de coleta. Dos 40 emissores amostrados no decorrer das 36 avaliações, apenas 7 mantiveram-se dentro dos limites de controle, todos localizados nas primeira e segunda linhas, o que pode ser justificado porque essas linhas têm a maior perda de carga no decorrer de seu comprimento, devido à topografia onde são dispostas. Os gráficos de I para os emissores encontram-se no Apêndice B.

4.5.2 Análise de processo no passado

Como as análises dos gráficos não foram simultâneas com as coletas, simulou-se a eliminação das falhas nos pontos fora de controle para encontrar os limites referentes à um processo de aplicação de água e fertilizantes sob controle. Como foram coletados 40 pontos no sistema, por avaliação, em função das metodologias de amostragem, todos os gráficos de controle de vazão foram compostos por pelo menos 20 subgrupos, o que está de acordo com a recomendação de Montgomery (2009).

Os gráficos que apresentaram o maior número de pontos fora de controle foram os

associados aos processos de fertirrigação com as pressões de entrada de 250 e 300 kPa.

4.6 Gráficos de controle aplicados as avaliações em função da vazão

Foram gerados os gráficos de controle de X e R para as avaliações em função das vazões distribuídas no sistema. Como descrito anteriormente, o número de observações por amostra foi variável; consequentemente, os limites com controle são específicos para cada subgrupo.

A análise de controle foi realizada depois da coleta de dados; então, procedeu-se da seguinte maneira: confeccionaram-se os gráficos de X e R com os dados de vazão ordenados por linha do primeiro para o último emissor e da primeira para a última linha. Os pontos que ultrapassavam os limites de controle foram eliminados e os limites recalculados, até o momento em que todos os pontos estivessem dentro dos limites de controle de qualidade. Deste modo simulou-se um processo cujos limites de controle estivessem bem próximos ao mesmo processo com análise em tempo real sob controle de qualidade. Com os limites próximos da realidade, o cálculo dos índices de capacidade de processo torna-se mais confiável.

Para o cálculo dos índices de capacidade de processo, foram estipulados os limites superior e inferior de especificação. Os limites foram baseados em função da faixa de pressão auto-compensante anunciada pelo fabricante – geralmente esta faixa é a adotada como parâmetro de dimensionamento. As pressões limites são 50 kPa sendo a inferior e 300 kPa para a superior. Essas pressões foram aplicadas na equação de vazão em função da pressão, determinada em laboratório por Teixeira (2006). Segue o cálculo dos limites em função da Equação 20.

$$\text{LSE} = 1,0156 (300)^{0,1192} \Rightarrow \text{LSE} = 2,00 \text{ Lh}^{-1}$$

$$\text{LIE} = 1,0156 (50)^{0,1192} \Rightarrow \text{LIE} = 1,61 \text{ Lh}^{-1}$$

Os gráficos de controle e os índices de capacidade de processo serão apresentados por ordem crescente de pressão de entrada.

4.6.1 Gráficos de controle X e R e capacidade de processo aplicados às vazões obtidas quando submetidas às pressões de entrada de 150, 200, 250 e 300 kPa de pressão de entrada

Na figura 31 estão os gráficos de controle de X e R para as vazões do processo de irrigação submetido a uma pressão de entrada de 150 kPa.

No gráfico de X, nove pontos consecutivos estiveram acima da média, o que caracteriza uma fonte de variação não-aleatória. A topografia onde a última linha foi disposta pode explicar este efeito.

O gráfico de X, com os limites de especificação, mostra que o processo está descentralizado para a esquerda.

A maior parte dos pontos de amplitude mantiveram-se abaixo da linha média de amplitude, portanto, pelo fato de que alguns pontos com amplitude média superior aos da maioria geraram uma média pouco representativa. Os pontos excluídos, por estarem fora dos limites de controle de vazão ou amplitude correspondente aos emissores foram o 2, 6, 7, 8, 10, 13, 27, 34 e 36.

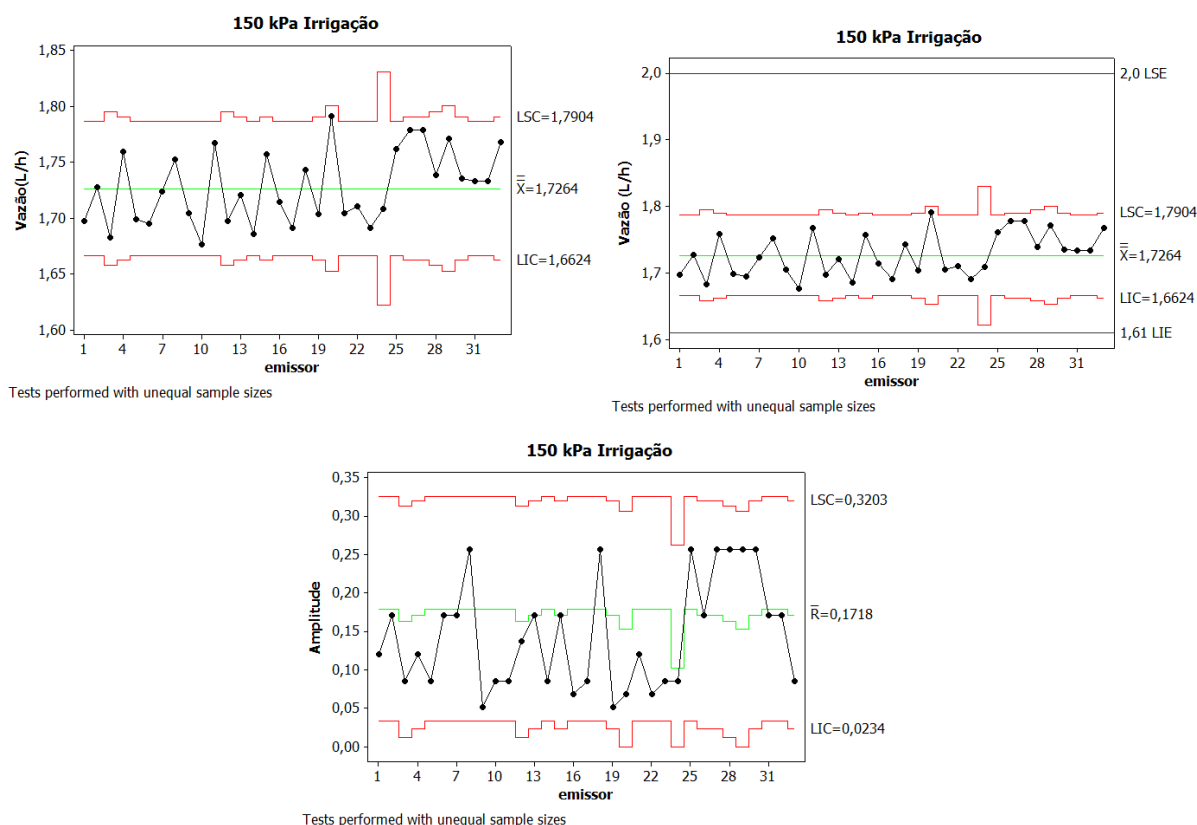


Figura 31 Gráficos de X e R para irrigação com pressão de entrada de 150 kPa.

Na figura 32 estão os gráficos de controle de X e R para as vazões do processo de fertirrigação A submetido à pressão de entrada de 150 kPa.

Os pontos descartados para confecção dos gráficos de X e R da Figura 32, segundo a ordem de emissor, foram: 2, 6, 7, 8, 10, 13, 34 e 36.

Os gráficos de X e R mantiveram controle estatístico de processo. O ponto 22 esteve bem próximo do limite superior de controle.

A amplitude foi diminuindo no sentido do comprimento do gráfico, indicando redução de variabilidade.

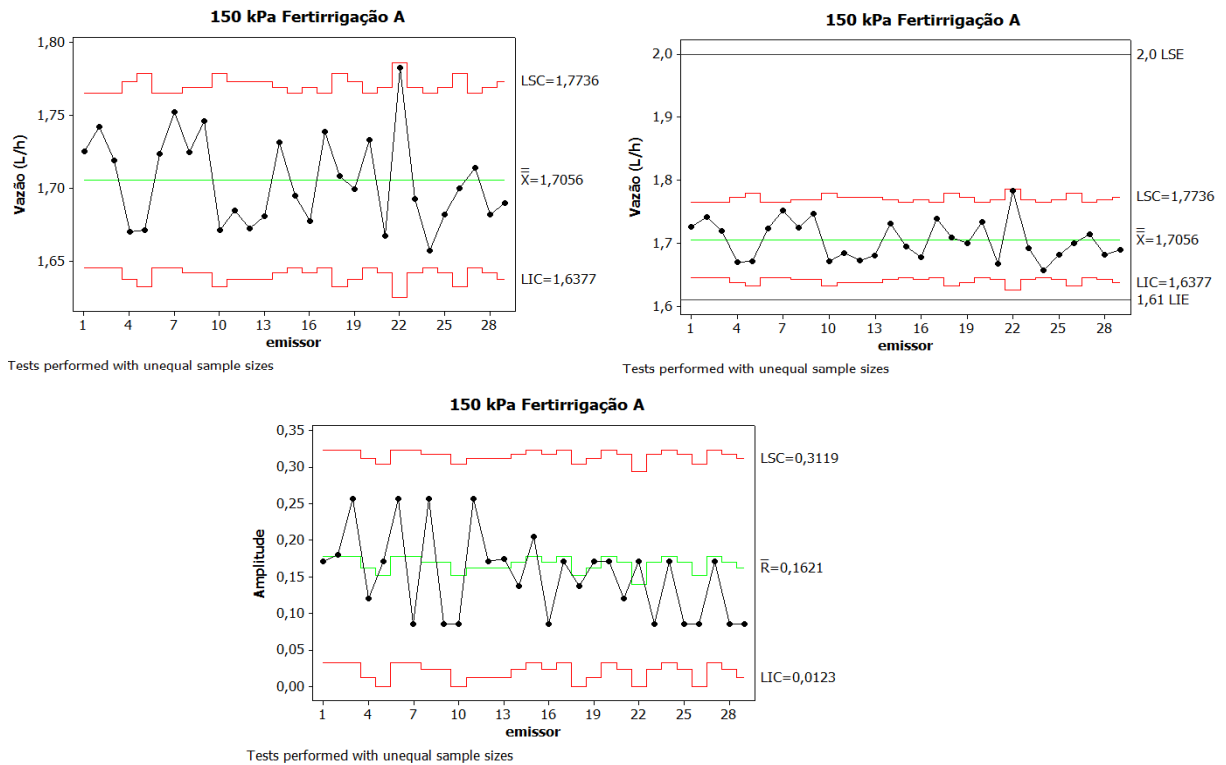


Figura 32 Gráficos de X e R para fertirrigação A com pressão de entrada de 150 kPa.

Da mesma maneira como para a irrigação, o processo esteve descentralizado ao observar os limites de especificação.

Na Figura 33 estão os gráficos de controle de X e R para as vazões do processo de fertirrigação B submetido a uma pressão de entrada de 150 kPa.

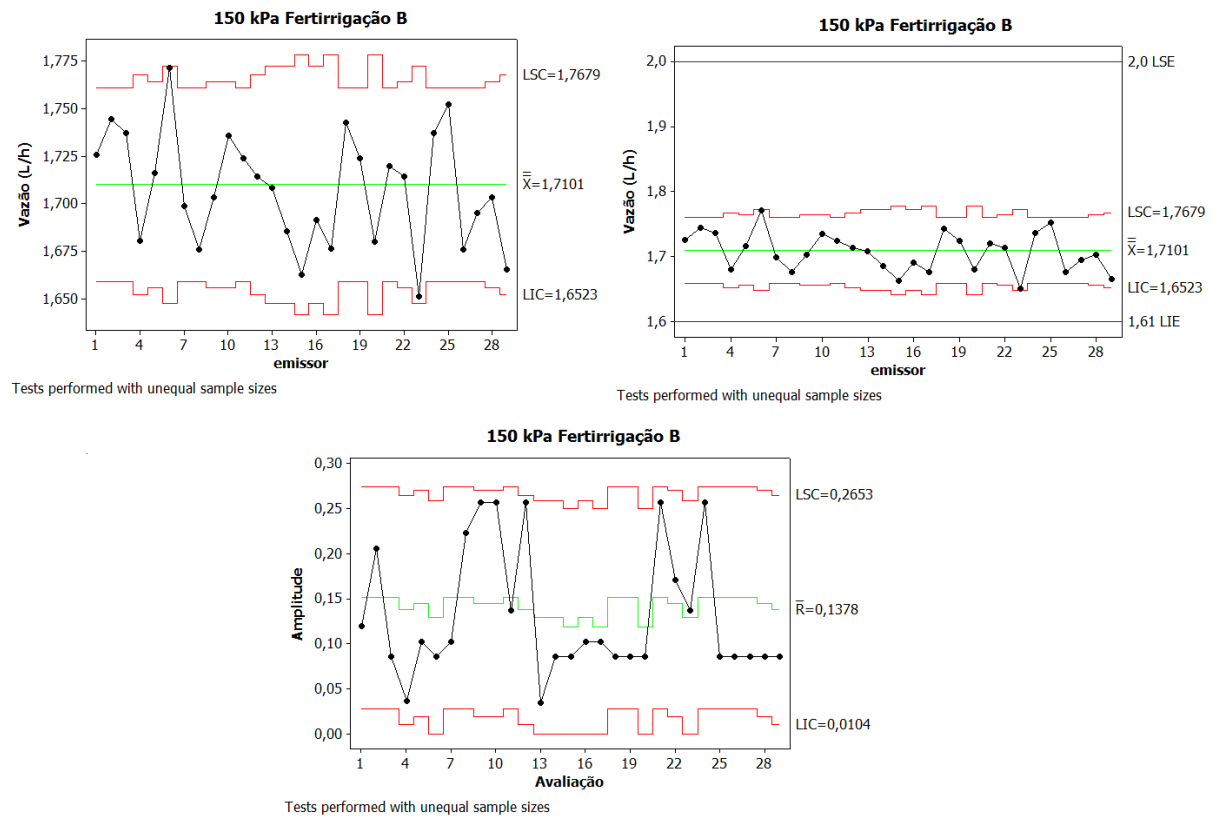


Figura 33 Gráficos de X e R para fertirrigação B com pressão de entrada de 150 kPa.

Os pontos descartados para confecção dos gráficos de X e R da Figura 33, segundo a ordem de emissor, foram, 4, 13, 23, 27, 34, 36, 39 e 38.

Os gráficos de X e R mantiveram controle estatístico de processo. O ponto 23 esteve bem próximo do limite inferior de controle.

Entre os pontos 10 e 15 houve um comportamento não-aleatório, o que pode ser justificado pela distribuição de pressão.

Na Figura 34 está a capacidade de processo com 150 kPa de pressão de entrada.

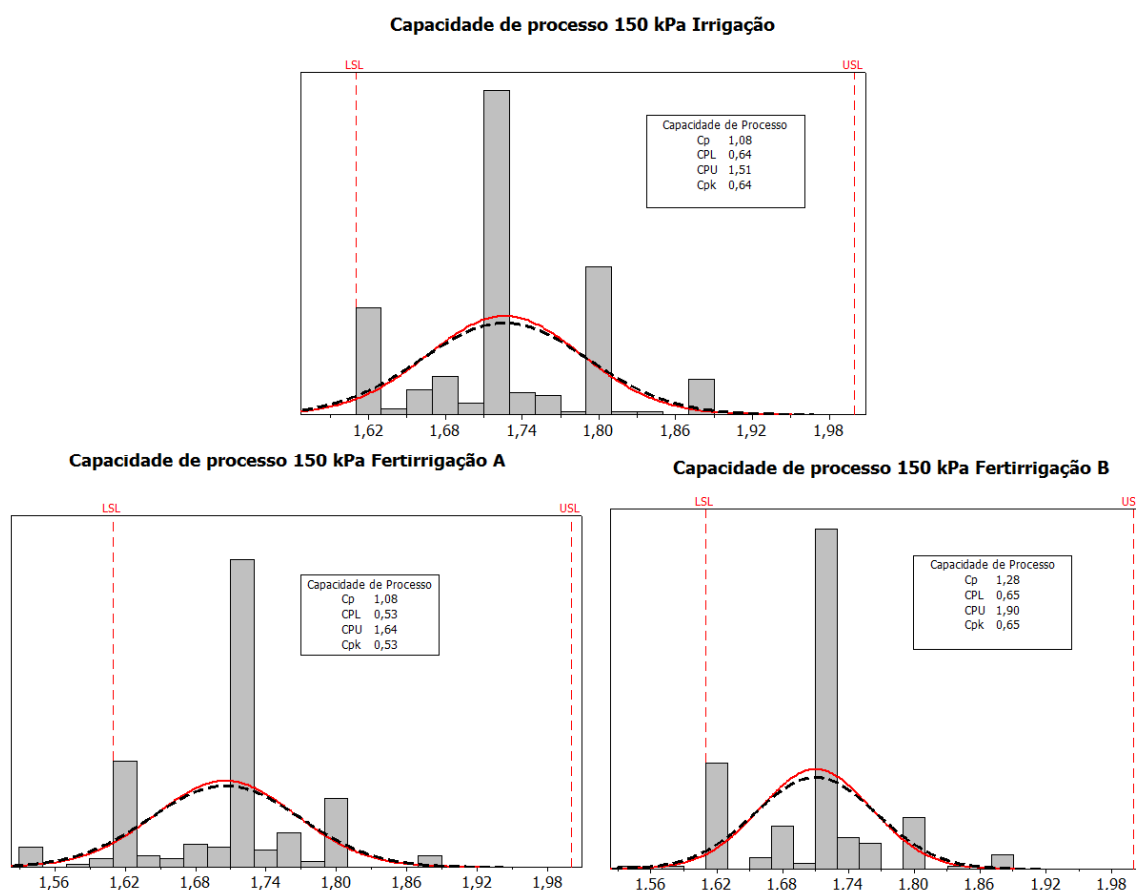


Figura 34 Capacidade de processo para pressão de entrada de 150 kPa.

Todos os índices de capacidade de processo foram inferiores ao mínimo indicado por Montgomery (2009), que é de 1,33 para processos em uso. Todos foram maiores que 1, o que indica que satisfazem os limites de especificação. Com a melhora da distribuição de pressão, o índice de capacidade de processo tende a aumentar. Para isso pode-se utilizar reguladores de nas linhas nos locais de maior pressão.

O Cpk, que estima a centralidade do processo, ficou distante da Capacidade de processo, que significa falta de centralidade.

Dos processos de fertirrigação, o que apresentou a maior capacidade de processo foi o de fertirrigação B igual a 1,28.

Na Figura 35 estão os gráficos de controle de X e R para as vazões do processo de irrigação submetido a uma pressão de entrada de 200 kPa. No gráfico de X, nota-se que o ponto 9 está bem próximo dos limites de controle. Entre os pontos 11 e 16 houve um comportamento não-aleatório. No gráfico de X, com os limites de especificação é possível notar que o processo continua descentralizado, ainda que menos, quando comparado com os tratamentos de 150 kPa de pressão de entrada.

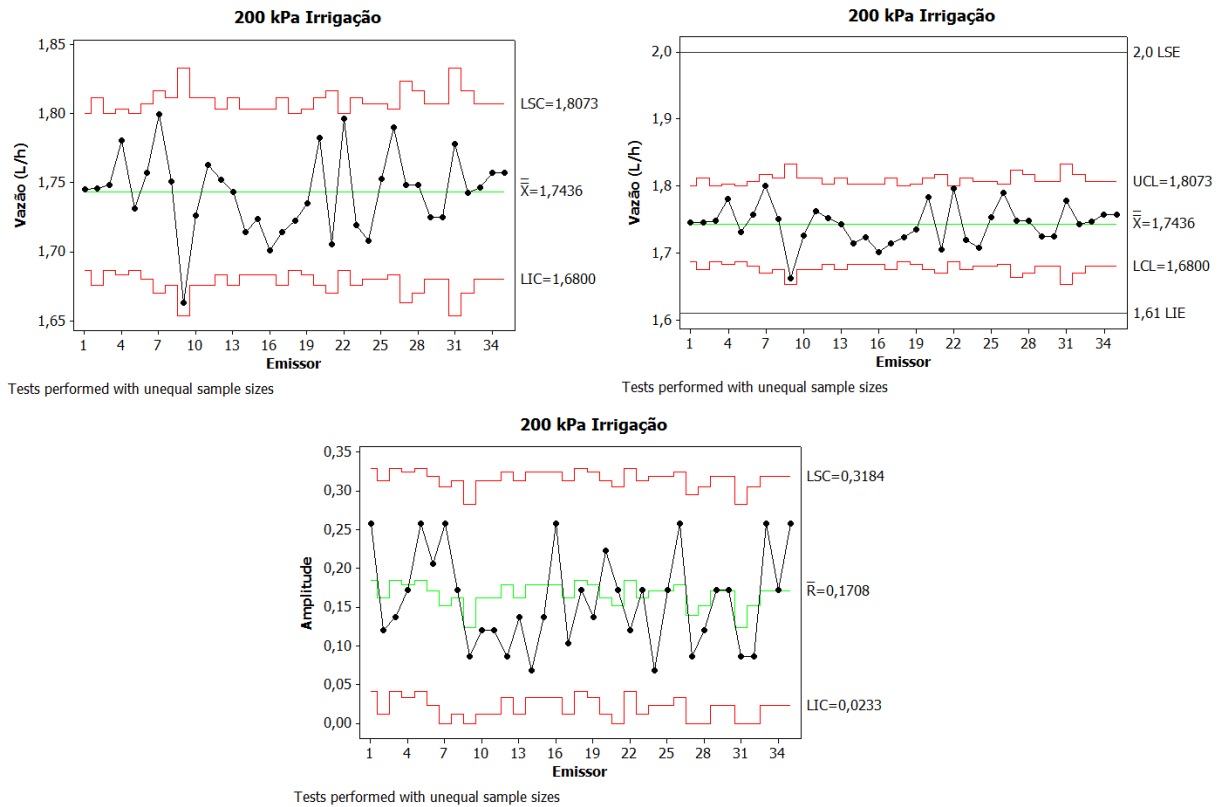


Figura 35 Gráficos de X e R para irrigação com pressão de entrada de 200 kPa.

Para compor a Figura 35 foram descartados os pontos correspondentes aos emissores, 4, 18, 22 e 23.

Na Figura 36 estão os gráficos de controle de X e R para as vazões do processo de fertirrigação A submetido a uma pressão de entrada de 200 kPa. No gráfico de X dessa figura, os pontos 28 e 29 estão muito próximos do limite superior; também, estes pontos são antecedidos de um ponto muito próximo do limite inferior de controle.

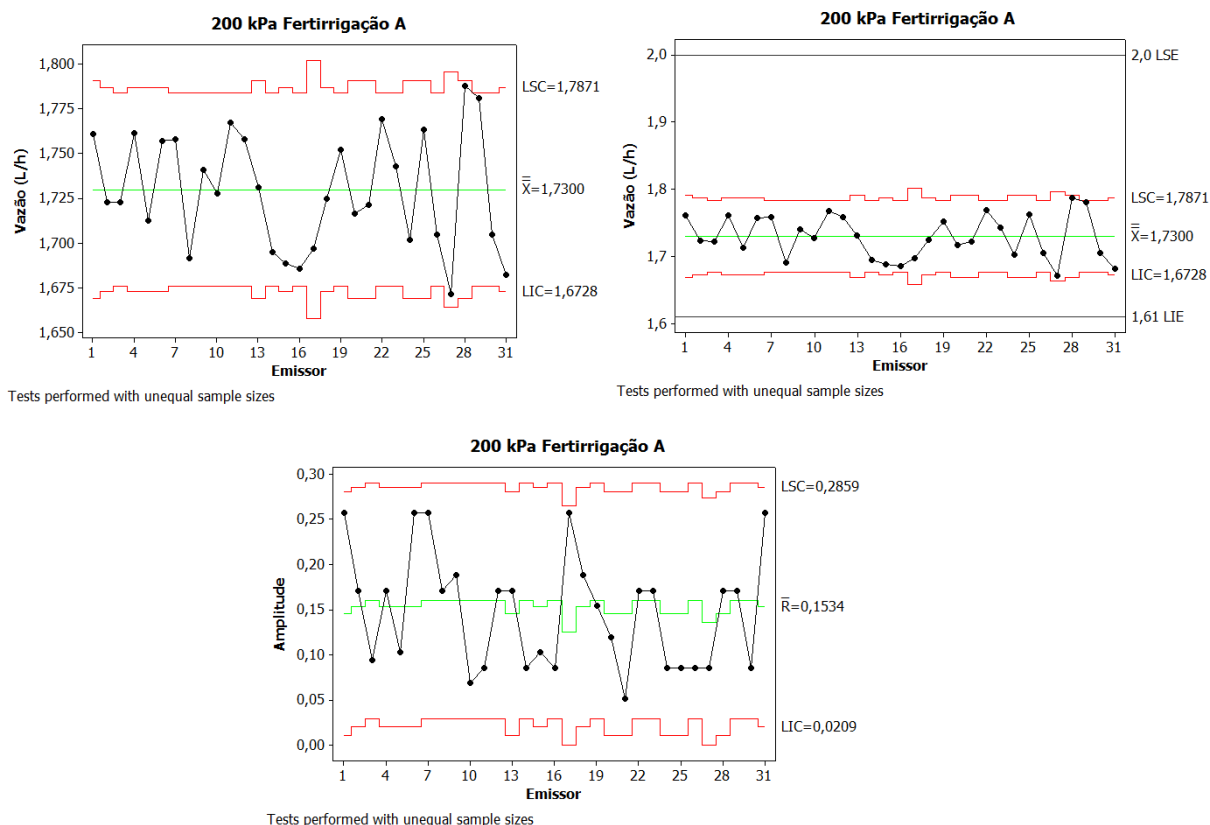


Figura 36 Gráficos de X e R para fertirrigação A com pressão de entrada de 200 kPa.

No gráfico de R dessa mesma figura, apenas 5 pontos estão acima das médias das amplitudes; porém, o valor desses pontos é de $0,25 \text{ Lh}^{-1}$, também encontrados nas amplitudes das avaliações de mesma pressão de entrada para irrigação.

Os pontos encontrados fora dos limites de controle para os gráficos da Figura 34, correspondentes aos emissores foram 7, 10, 17, 22, 24, 32, 33, 38.

Na Figura 36 estão os gráficos de X e R para o processo de fertirrigação B com pressão de entrada de 200 kPa. No gráfico X desta figura, o ponto 9 ficou bem próximo do limite inferior de controle, assim como nas avaliações com irrigação para a mesma pressão de entrada.

Entre os pontos 10 e 16 houve uma distribuição não-aleatória, o que também aconteceu com as avaliações de irrigação e fertirrigação com 200 mgL^{-1} .

Os pontos considerados como falhas corresponderam aos seguintes emissores: 10, 17, 20, 27, 29 e 36.

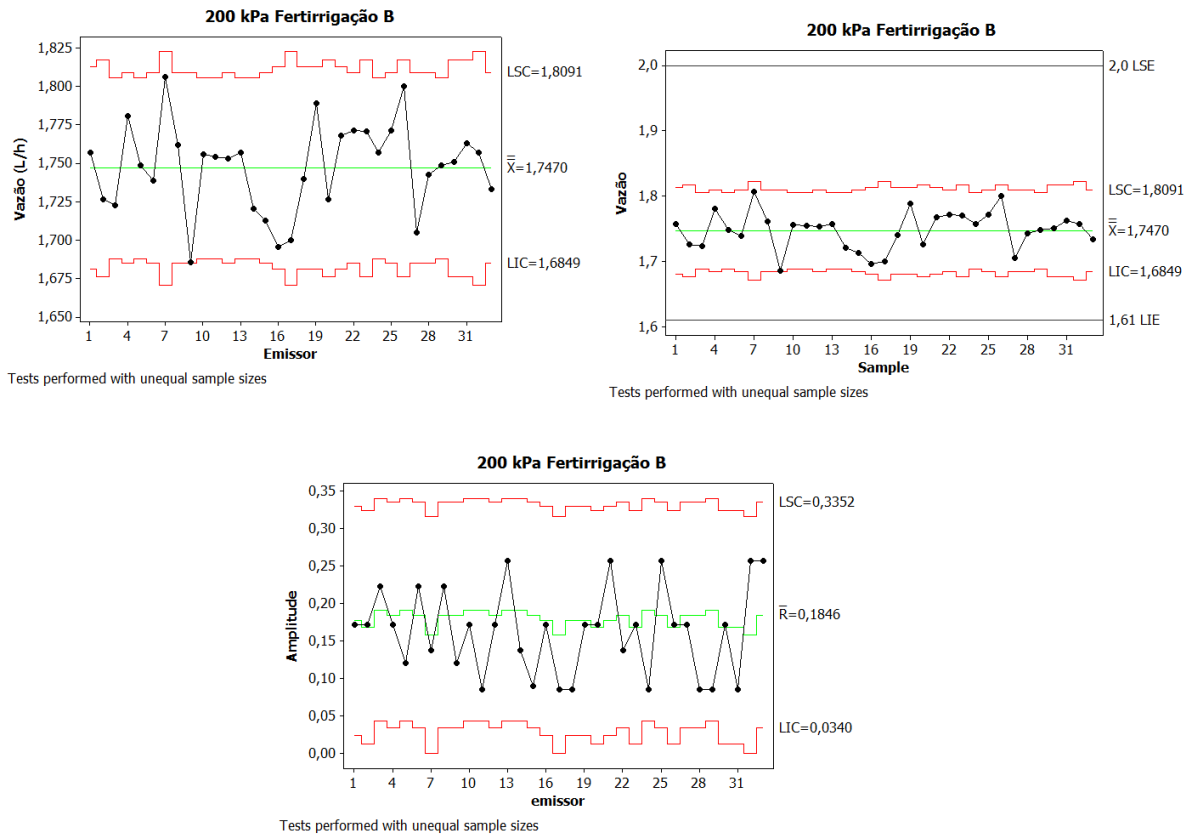


Figura 37 Gráficos de X e R para fertirrigação B com pressão de entrada de 200 kPa.

O comportamento semelhante de alguns padrões para essa mesma pressão de entrada demonstra um padrão pertinente ao processo, possivelmente atribuído às distribuições de pressão no sistema.

Na figura 38 está a capacidade de processo para os tratamentos com 200 kPa de pressão de entrada.

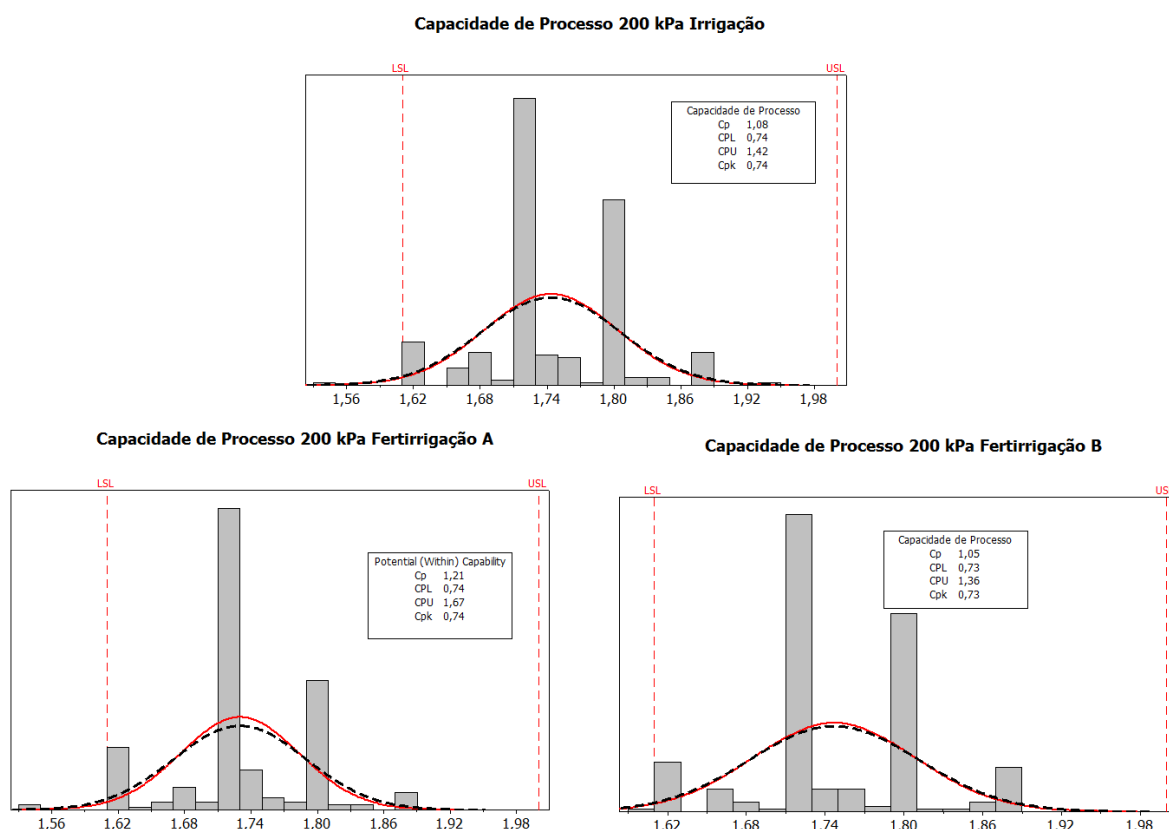


Figura 38 Capacidade de processo para pressão de entrada de 200 kPa.

Não houve nenhum processo com capacidade superior a 1,33, valor recomendado para processos em uso.

O Cpk indicou mais centralidade dos processos em relação aos processos com 150 kPa de pressão de entrada.

O processo de fertirrigação A apresentou a maior capacidade de processo com valor de 1,21.

No gráfico de R da Figura 39, o ponto 9 está bem próximo do limite inferior de controle. Oito pontos ficaram abaixo da linha média, do 13 ao 21; a partir do ponto 21, houve uma característica de mudança no processo, sugerindo uma mudança de média. O valor da amplitude média foi aumentando gradualmente, bem como a média da amplitude em cada subgrupo. Os pontos correspondentes aos emissores eliminados foram: 10, 36, 39.

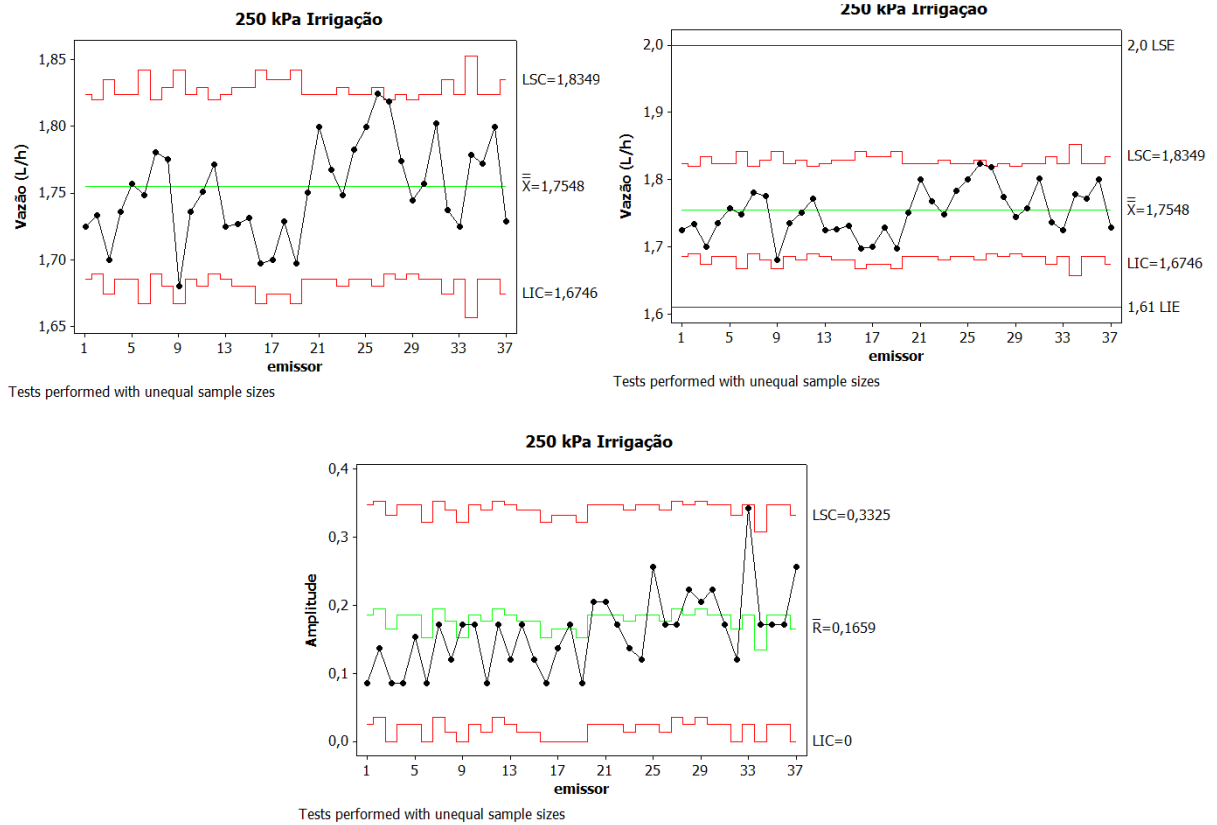


Figura 39 Gráficos de X e R para irrigação com pressão de entrada de 250 kPa.

No gráfico de X da Figura 40, o processo foi caracterizado por três padrões não-aleatórios, o primeiro do ponto 1 ao 6, o segundo do ponto 7 ao 22 e o terceiro do ponto 15 ao 22. Foi necessário eliminar diversos pontos para a definição dos limites de controle. Os pontos eliminados correspondentes aos emissores foram 2, 4, 9, 10, 18, 13, 16, 19, 20, 32, 34, 36 e 38.

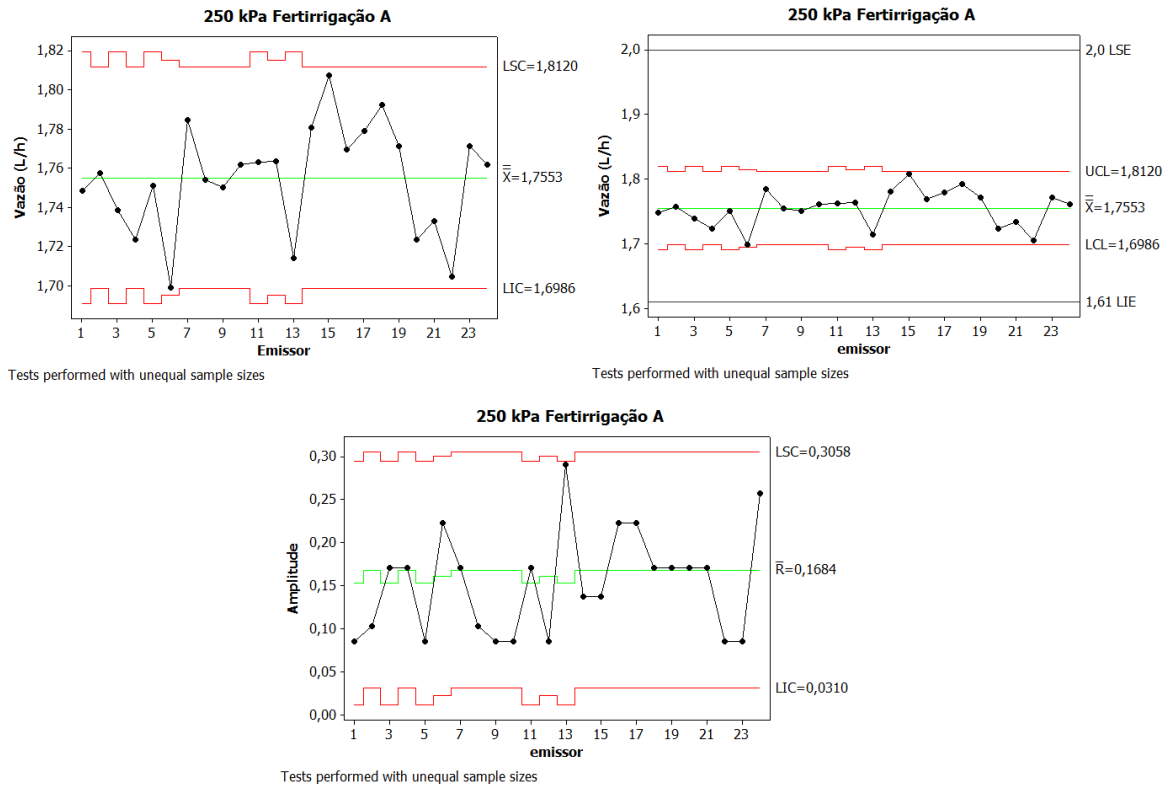


Figura 40 Gráficos de X e R para fertirrigação A com pressão de entrada de 250 kPa

O gráfico de R da Figura 41 não tem comportamento aleatório. Pode-se tentar justificar isso pela eliminação de diversos pontos, os quais poderiam formar ao menos um padrão.

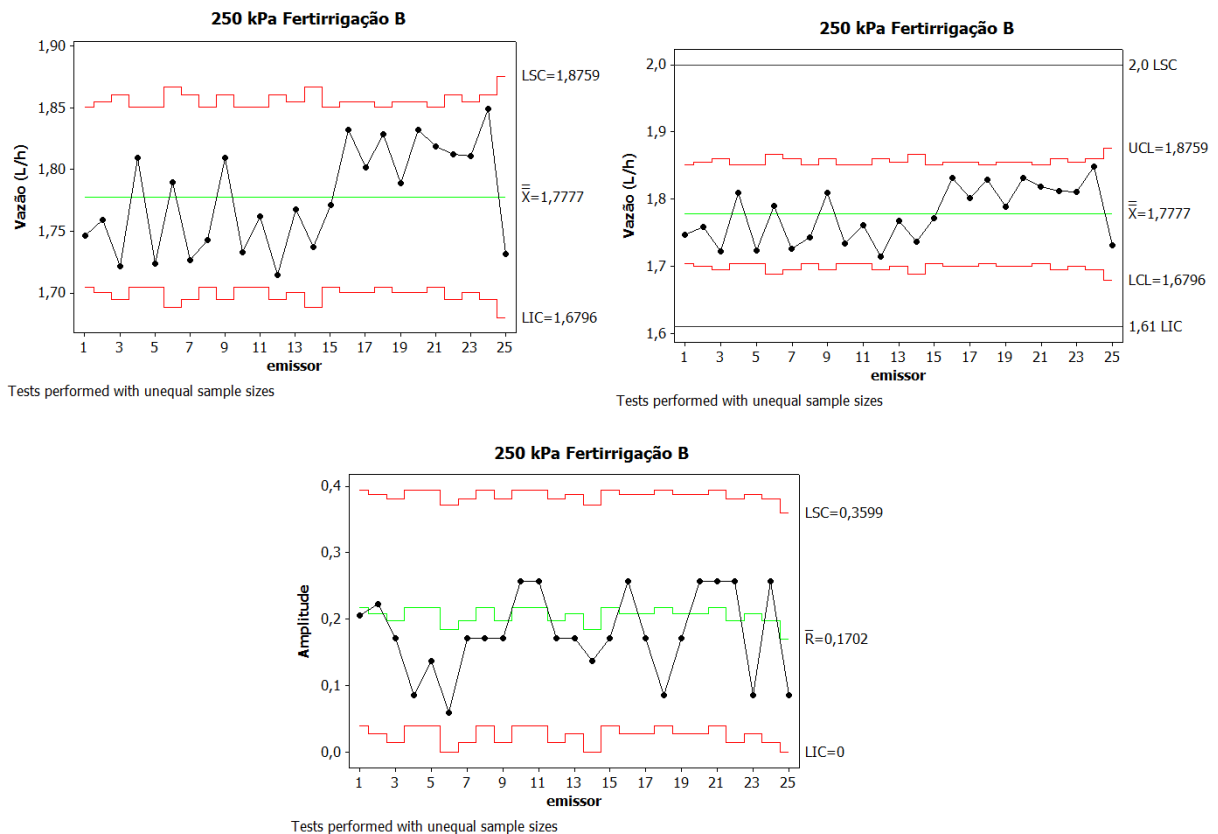


Figura 41 Gráficos de X e R para fertirrigação B com pressão de entrada de 250 kPa.

No gráfico de X da Figura 41, a presença de nove pontos acima da média, em sequência, indica mudança no processo, sugerindo nova média a partir do ponto 16.

O ponto que corresponde ao emissor 40, o último, em todos os gráficos de X para 250 kPa apresentou um valor de média baixo em relação a sua posição, o que pode ser um indício de entupimento.

Foram eliminados 15 pontos para determinar os limites de controle. Os números correspondem aos emissores distribuídos no sistema são 6, 9, 15, 17, 18, 19, 20, 22, 29, 30, 32, 35, 36 e 37.

Na Figura 42 está a capacidade de processo para os processos com 250 kPa de pressão de entrada.

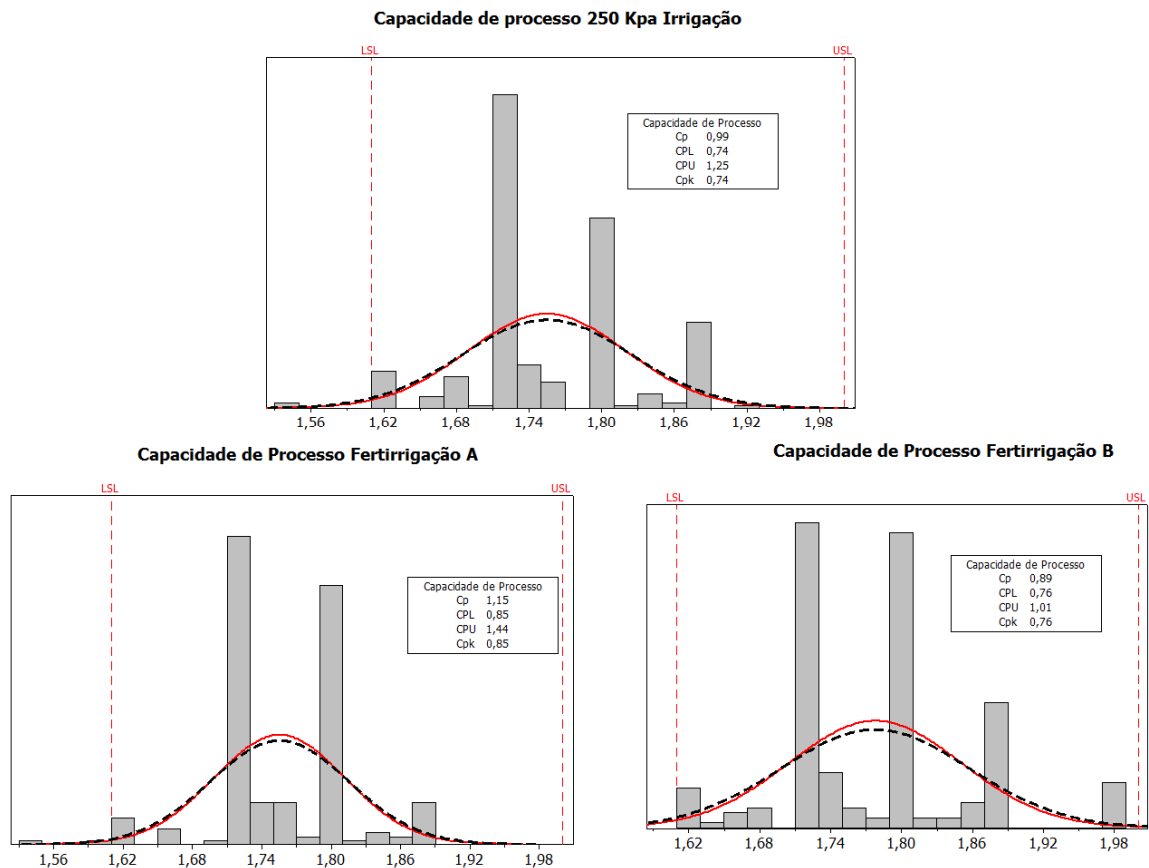


Figura 42 Capacidade de processo para pressão de entrada de 250 kPa.

O Cp para a irrigação e fertirrigação B foram inferiores a 1, indicando que não atenderam aos limites de especificação. O Cp para a fertirrigação A foi de 1,15, ainda inferior ao recomendado por Montgomery (2009).

Na análise dos gráficos de X, inicialmente houve muitos pontos fora dos limites de controle e diversos padrões que indicam falta de controle. A melhoria desse processo com a eliminação das falhas seria muito laboriosa. Dessa maneira, não é recomendado o uso da pressão de entrada de 250 kPa para este sistema.

O gráfico de X da Figura 43 está sob controle estatístico de processo; porém, ao observar o gráfico R da mesma figura, nota-se que os valores de amplitude média estão bem elevados. Algumas médias atingiram 0,35 Lh-1, o que indica muita variabilidade das vazões que compõem os subgrupos. Para gerar corretamente os limites de controle, foram eliminados os pontos correspondentes aos emissores 18, 32, 16, 31, 33, 36 e 37.

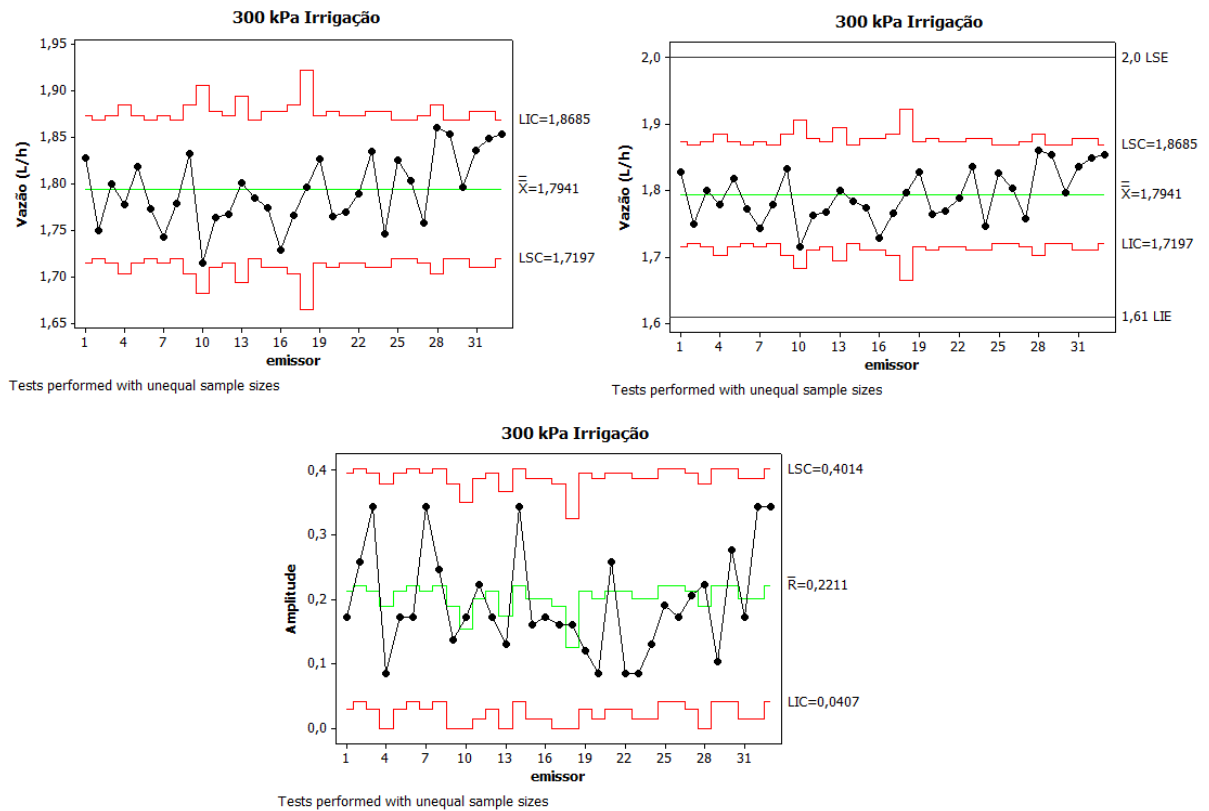


Figura 43 Gráficos de X e R para irrigação com pressão de entrada de 300 kPa.

Tanto o gráfico de X como o gráfico de R da Figura 44 estão fora de controle estatístico de processo, pois não apresentam aleatoriedade, mas sim tendências distintas com sugestões de diferentes médias.

Os pontos correspondentes aos emissores 9, 10, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 24, 21, 32, 33, 34, 35, 36 e 37 foram eliminados, para manter os pontos entre os limites de controle.

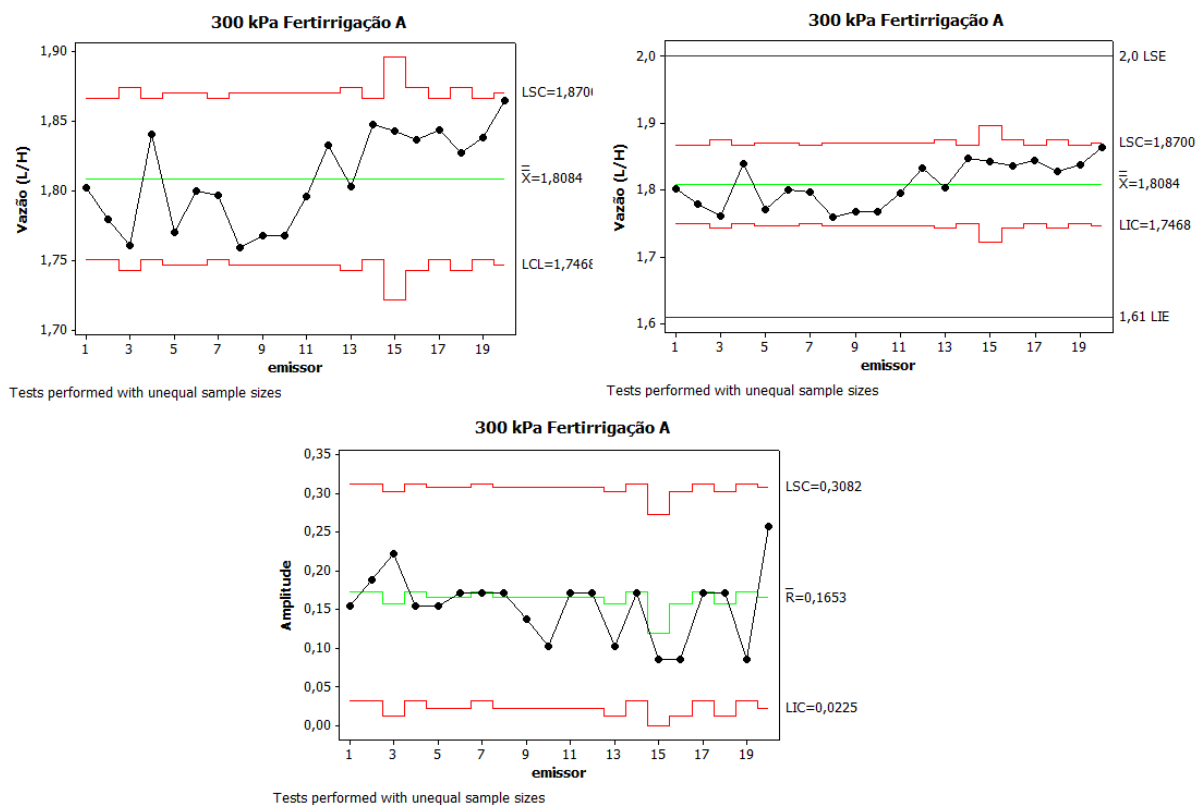


Figura 44 Gráficos de X e R para irrigação com pressão de entrada de 300 kPa.

Na Figura 45 estão os gráficos de X e R do processo de fertirrigação B. Este processo está sob controle estatístico de qualidade, apesar de suas amplitudes médias serem elevadas em relação aos tratamentos de menor pressão de entrada. Para esta figura, foram eliminadas as leituras dos emissores 9, 10, 18, 20, 22, 24, 26, 27, 28, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37 e 38.

Os gráficos de X para as pressões de entrada de 300 kPa foram centralizados, com relação aos limites de especificação, mas os valores elevados de amplitude nos gráficos de R indicam muita variabilidade nos subgrupos. Também, de início houve muitos pontos fora dos limites de controle, o que representa um maior número de falhas a serem corrigidas.

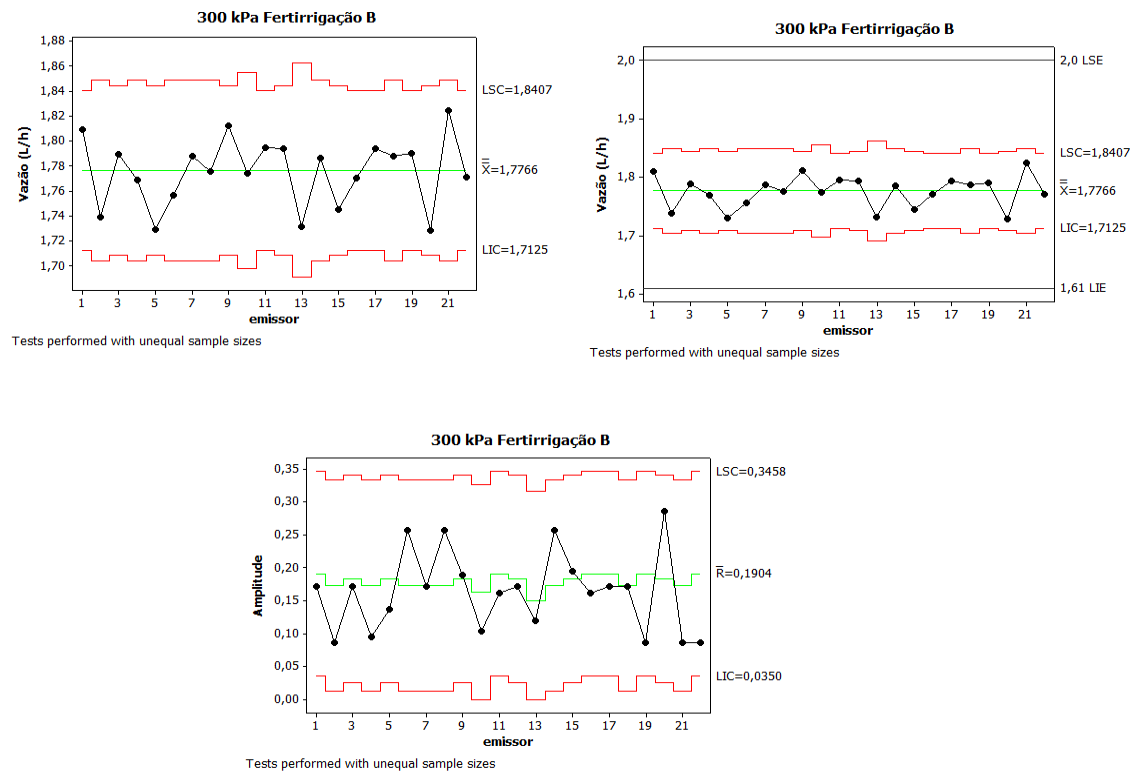


Figura 45 Gráficos de X e R para irrigação com pressão de entrada de 300 kPa.

Na Figura 46 estão as capacidades de processo das vazões com pressão de entrada de 300 kPa.

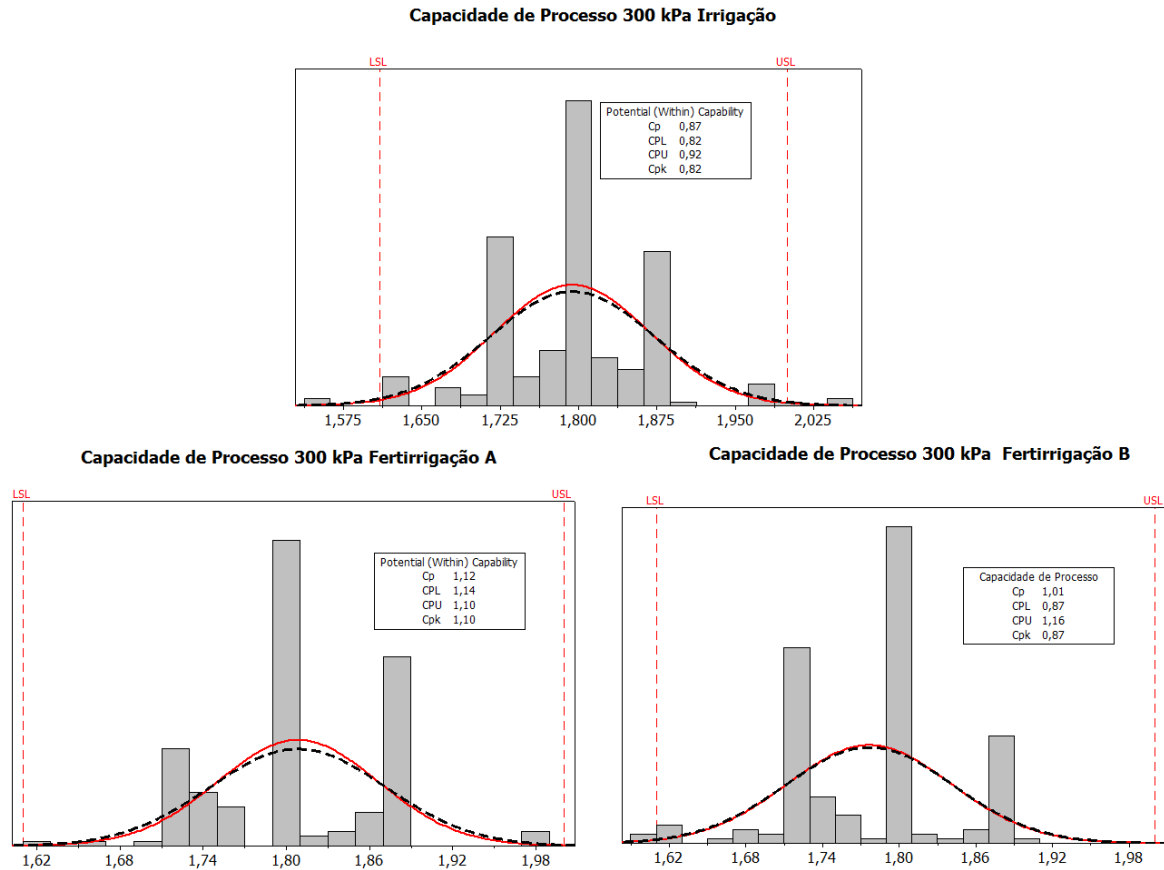


Figura 46 Capacidade de processo para pressão de entrada de 300 kPa.

As capacidades de processo foram inferiores a 1, sendo que, para irrigação, foi a menor, com 0,87. Isso pode ser explicado pelo maior número de subgrupos eliminados nos processos de fertirrigação. Nesta pressão de entrada, encontrou-se a maior centralidade do processo, o que deveria gerar capacidades de processo maiores do que as demais pressões, o que não aconteceu devido à grande variabilidade nos subgrupos.

Como os processos de 150 e 200 kPa de pressão de entrada apresentaram menos falhas e índices de capacidade semelhantes aos demais, além de menor variabilidade nos subgrupos. Seria mais fácil buscar a melhora desses processos até se atingir capacidades maiores. Os processos com 150 kPa de pressão de entrada foram mais descentralizados em relação a 200 kPa.

Quanto à concentração de fertilizante, seria escolhida para melhora do processo de fertirrigação A com 150 kPa e o de fertirrigação B para 200 kPa, por apresentarem uma capacidade de processo maior.

5 CONCLUSÕES

- Todas as classificações para o CUC foram “excelentes”;
- As irrigações obtiveram as maiores médias de CUC e CUD;
- Os CUDs gerados com a amostragem de Keller e Karmeli (1975) classificaram 83,4 % das avaliações como “excelente”. Com o mesmo coeficiente na metodologia de Deniculi *et al.* (1980), 97,3 % das avaliações com o CUD foram “excelentes”;
- O aumento na concentração da solução fertilizante reduziu a variação percentual de pressão com um R^2 de 93,42 % na fertirrigação A e com R^2 de 94,04 % para a fertirrigação B;
- Nenhum processo de aplicação de água e fertilizante apresentou capacidade de processo superior ao recomendado por Montgomery (2009) ($C_p > 1,33$);
- Os processos de 150 e 200 kPa de pressão de entrada são os mais aconselháveis para efetuar melhorias devido ao menor número de falhas com limites superiores de controle entre 1,77 e 1,8 e limites inferiores de controle entre 1,63 e 1,68 L.h⁻¹;
- Com 150 kPa de pressão de entrada no processo de fertirrigação A obteve o maior índice de capacidade de processo;
- Com 200 kPa a fertirrigação B obteve a maior capacidade de processo.

6 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Sistema de Informações Hidrológicas. HIDROWEB. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 14 mar. 2010

AHMED, B. A. O.; YAMAMOTO, T.; FUJIYAMA, H.; MIYAMOTO, K. Assessment of emitter discharge in microirrigation system as affected by polluted water. **Irrigation Drainage System**, v. 21, p. 97-107, 2007.

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.

ALVAREZ, V. M., LEYVA, J. C., VALERO, J. F., GÓRRIZ, B. M. Economic assessment of shade-cloth covers for agricultural irrigation reservoirs in a semi-arid climate. **Agricultural Water Management**, Murcia, n. 96, p.1351-1359, 2009.

AL-YARRI, M., SOLEMANI, A., ABUSHARKH, B., AL-MUBAIYEDH, U., ALSARKHI, A. Effect of drag reducing polymers on oil-water flow in a horizontal pipe. **International Journal of Multiphase Flow**, Baltimore, v.35, n. 6 p.516-524, 2009.

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.

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.

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

BHAT, R.; SUJATHA, S. Soil fertility and nutrient uptake by recant (*Areca catechu* L.) as affected by level and frequency of fertigation in a late rite 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 oxygation treatments in vertisols. **Irrigation Science**, Heidelber, v. 26, n. 5, p. 439-450, 2008.

BERNUTH, R.D. Von. Simple and accurate friction loss equation for plastic pipe. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.116, n.2, p.294-298, 1990.

BIZOTTO, V. C.; ALKSCHBIRS, M. I. SABADINI, E. Uma revisão sobre o efeito Toms: o fenômeno onde macromoléculas atenuam a turbulência em um líquido. **Química. Nova**, São Paulo, 2011, vol.34, n.4, pp. 658-664. ISSN 0100-4042.

BORGES, R. C.; FERREIRA, E. B.; OLIVEIRA, M. S. Estudo do padrão de não-aleatoriedade seqüência no controle estatístico do processo. **Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2. p. 31-35, 2008.

BORSSOI, A. L.; VILAS BOAS, M. A.; REISDÖRFER M.; HERNANDEZ H. R.; FOLLADOR F. A.C; Water application uniformity and fertigation in a dripping irrigation set. **Engenharia. Agrícola**, Jaboticabal, vol.32, n.4, pp. 718-726, 2012.

BOS, M. G.; BOSCH H. V. D.; DIEMONT, H.; KEULEN, H. V.; LAHR, J.; MEIJERINK G.; VERHAGEN A. Quantifying the sustainability of agriculture. **Irrigation and Drainage Systems**, Springer Netherlands, v. 21 p. 01-15, 2007.

BRALTS, V. F.; NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. (Ed). Trickle irrigation for crop production. **Field performance and evaluation**, Amsterdam: Elsevier. p. 216-240, 1986.

BRAUER, R. L.; CRUZ, R. L.; VILLAS BÔAS, R. L.; PLETSCH, T. A. Avaliação da uniformidade de aplicação de água em gotejadores em função do teor de ferro. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 1, p. 21-20, 2011.

BURGUETE, J.; ZAPATA, N.; GARCÍA-NAVARRO, P.; MAÏKAKA M.; PLAYÁN E.; MURILLO J. Fertigation in furrows and level furrow systems. I: model description and numerical tests. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Delaware, v. 135, n. 4, p. 401-412, 2009.

BURT, C., CLEMENTS, A., STRELKOFF, S., SOLOMON, K., BLISNER, R. HARDY, L., HOWELL, T.; EISERHAUER, D. Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Delaware, V (6): p. 423-442, 1997

CARDOSO, G. G. G.; KLAR, A. E. Fracionamento da fertirrigação e seu efeito na produção da alface sob ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 3, p. 259-270, 2010.

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

CHRISTOFIDIS, D. Os efeitos multiplicadores da agricultura irrigada. **Item** v: 82, n. 1 p. 13-18, 2009.

CÓRCOLES, J. I.; JUAN, J. A.; ORTEGA, J. F.; TARJUELO, J. M. F.; MORENO, M. A.

Fertigation in furrows and level furrow systems. I: model description and numerical tests. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Delaware v. 138, n. 3, p. 225-234, 2012.

COELHO F. E.; SOUZA V. F.; PINTO M. J. Manejo de fertirrigação em fruteiras. **Bahia Agrícola**, Salvador/BA, v 6, p. 67-70, 2003.

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

DENICULI, W.; BERNARDO, S.; THIEBAUT, J. T. L. Uniformidade de distribuição de água em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, Viçosa/MG, v. 27, n. 150, p. 155-162, 1980.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Ferticultura irrigada**. Brasília: Embrapa, 2011. 274 p.

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

FARAZ, A.; CHALAKI, K.; MOGHADAM, M. B.. On the properties of the hotelling's T2 control chart with variable sampling intervals. **Quality and Quantity**, v. 24, p. 579-586, 2011.

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.

GIL, M. RODRIGUES-SINOBAS, L. JUANA, L. SANCHEZ, R. LOSADA, A. Emitter discharge variability of subsurface drip irrigation in uniform soils: effect on water-application uniformity. **Irrigation Science**. Madrid, v. 26, n. 6, p. 451-458. 2008.

HANSON, B.; MAY, D. The effect of drip line placement on yield and quality of drip-irrigated processing tomatoes. **Irrigation and Drainage Systems**, Springer Netherlands, v. 21 p. 109-118, 2007.

HEZARJABI, A.; DEHGHANI, A. A.; HELGHI, M. M.; KIANI, A. Hydraulic performances of various trickle irrigation emitters. **Journal of Agronomy**, Madison, v. 7, n.3, p. 265-271, 2008a.

HEZARJABI, A.; DEHGHANI, A. A.; HELGHI, M. M.; KIANI, A. Hydraulic performances of various trickle irrigation emitters. **Journal of Agronomy**, Madison v. 7, n.3, p. 265-271, 2008b.

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.

JIMENEZ-BELLO, A. M.; MARTINEZ, F.; BOU, V.; BARTOLIN, H. Analysis, assessment, and improvement of fertilizer distribution in pressure irrigation systems. **Irrigation Science**, Heidelber, v. 29, p. 45-53, 2011.

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

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

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

LAMO, P. R.; MENEZES, T. J. B. Bioconversão das águas residuárias de processamento de mandioca para a produção de biomassa., v. 10, p. 1-14, 1979.

LI, Y. K.; LIU, Y. Z.; LI, G. B.; XU, T. W.; LIU, H. S.; REN, S. M.; YAN, D. Z.; YANG, P. L. Surface topographic characteristics of suspended particulates in reclaimed wastewater and effects on clogging in labyrinth drip irrigation emitters. **Irrigation Science**, Heidelber, v. 25, n. 2, p. 117-125, 2011.

LI, J.; MENG, Y.; LI, B. Field evaluation of fertigation uniformity as affected by injector type and manufacturing variability of emitters. **Irrigation Science**, Heidelber, 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>. Acesso em: 20 jun. 2009.

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, 2009.

MÖLLER, M.; WEATHERHEAD, E. K. Evaluating drip irrigation in commercial tea production in Tanzania. **Irrigation and Drainage Systems**, Springer Netherlands, v. 21 p. 17-34, 2007.

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

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, 2008a.

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, 2008b.

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

PIZARRO, C. F. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación**. 3 ed. Ediciones Mundi Prensa.1996. 513 p.

RAVIKUMAR, V.; VIJAYAKUMAR, G.; SIMUNEKD, J.; CHELLAMUTHU, S.; SANTHI, R.; APPAVU, K. Evaluation of fertigation scheduling for sugarcane using a vadose zone flow and transport model. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, p. 1431-1440, 2011.

RETTORE NETO, Osvaldo; FRIZZONE, José A.; MIRANDA, Jarbas H. and BOTREL, Tarlei A.. Perda de carga localizada em emissores não coaxiais integrados a tubos de polietileno. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n.1, pp. 28-39,2009.

REZENDE, R; JÚNIOR C, H; SOUZA R. S; ANTUNES, F. M; FRIZZONE, J. A. Crescimento inicial de duas cultivares de cafeeiro em diferentes regimes hídricos e dosagens de fertirrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.3, p.447-458, 2010.

RIBEIRO, P. A. A.; COELHO, R. D.; TEIXEIRA, M. B. Entupimento de tubos gotejadores convencionais com aplicação de cloreto de potássio (branco e vermelho) via duas qualidades de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.2, p.279-287, 2010.

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.

SOLOMON, K. Manufacturing variation of trickle emitters.**Transactions of the ASAE**. St. Joseph. 22, n. 5, p. 1034-1038, 1979.

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, 2007a.

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, 2007b.

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.

SRINIVASAN, J. T.; REDDY, V. R. impact of irrigation water quality on human health: A case study in India. **Ecological Economics**, v. 68, n. 11, p. 2800-2807, 2009.

TEIXEIRA, M. B. **Avaliação de danos em membranas de compensação sob diferentes tempos de contato com ácido nítrico** 2006. 318 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiros”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006

VARGAS, V. C. C.; LOPES, L. F. D.; SOUZA, A. M. Comparative study of the performance of the CUSUM and EWMA control charts. **Computers & Industrial Engineering**, Los Angeles, v. 46, n. 4, p. 707-724, 2004.

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

WU, P. T.; ZHU, D. L.; WANG, J. Gravity-fed drip irrigation design procedure for a single-manifold subunit. **Irrigation Science**, Heidelber,v. 28, p. 359-360, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Dados de CUC de acordo com a concentração e metodologias de amostragem

Keller e Kalmeli (1975)			Deniculi <i>et al.</i> (1980)		
Irrigação	fertirrigação A	fertirrigação B	Irrigação	fertirrigação A	fertirrigação B
97,51	95,42	95,13	97,59	96,67	96,70
98,27	97,74	96,76	98,06	97,54	98,34
97,82	95,50	95,67	97,81	96,97	97,23
98,19	95,28	96,10	98,40	96,95	96,28
97,16	94,58	94,71	97,44	96,38	96,38
97,22	95,48	95,77	97,52	97,10	97,03
98,26	95,44	94,57	97,58	96,04	94,67
97,29	95,07	95,12	97,37	95,66	94,99
97,29	94,80	94,12	97,37	96,07	94,62
98,06	93,39	94,85	98,40	94,62	95,55
95,73	93,57	95,84	95,93	94,33	96,13
96,63	94,71	94,26	96,99	95,15	93,88

Dados de CUD de acordo com a concentração e metodologias de amostragem

Keller e Kalmeli (1975)			Deniculi <i>et al.</i> (1980)		
Irrigação	Fertirrigação A	Fertirrigação B	Irrigação	Fertirrigação A	Fertirrigação B
96,09	91,31	90,57	96,40	94,21	93,58
97,33	96,29	94,51	97,08	96,48	97,07
97,82	95,50	95,67	97,11	94,05	94,60
97,14	90,74	92,40	97,77	94,17	94,25
95,74	89,33	89,45	97,11	93,07	93,13
97,22	95,48	95,77	96,51	94,23	94,56
98,02	91,33	89,60	96,65	92,87	91,52
96,85	90,44	90,61	96,73	92,53	92,24
97,29	94,80	94,12	96,73	92,91	92,12
97,05	87,56	89,71	97,77	90,98	91,81
92,94	87,49	92,08	94,34	91,10	93,57
96,63	94,71	94,26	94,98	91,60	89,63

Dados de CUC de acordo com as pressões de entrada e metodologias de amostragem

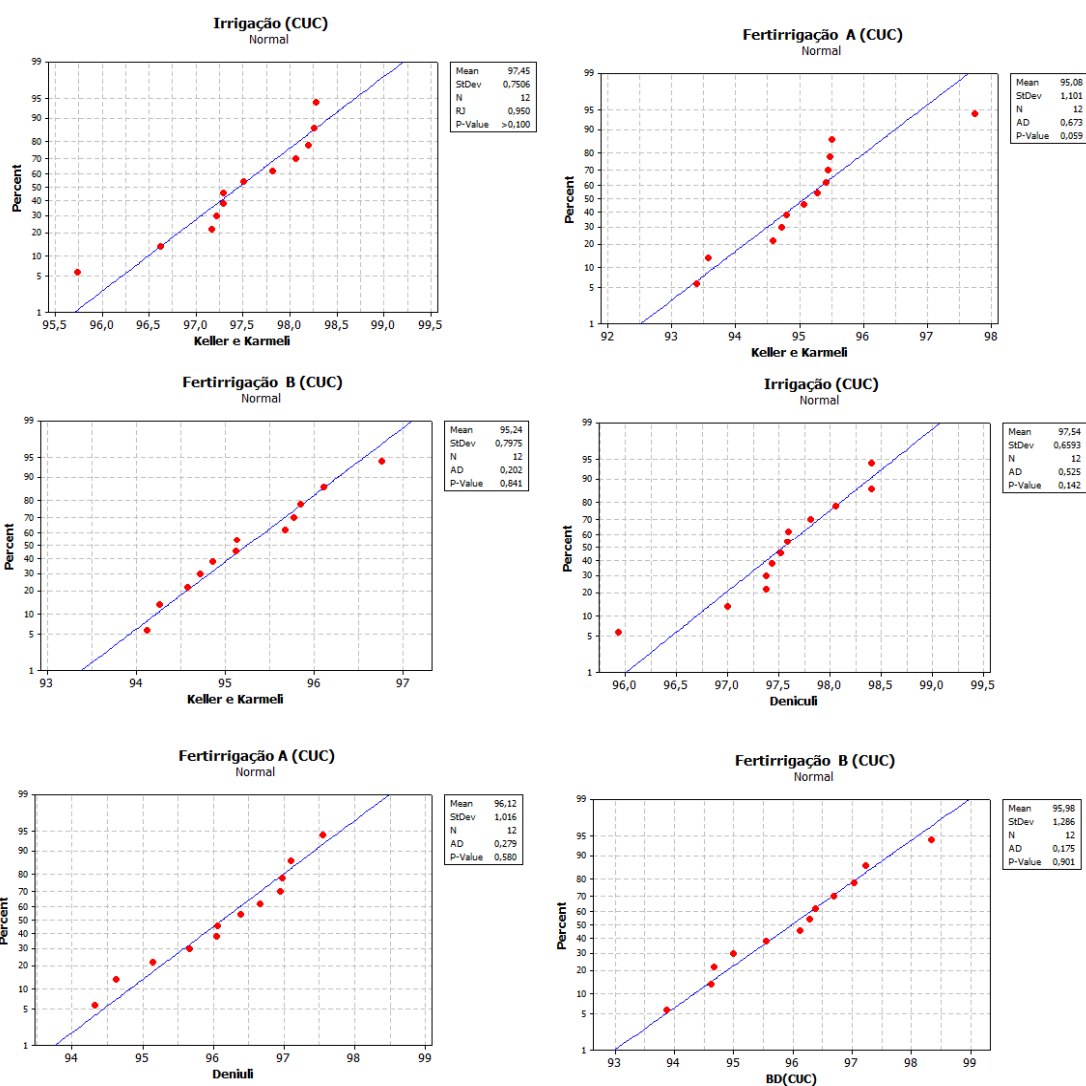
Keller e Kalmeli (1975)				Deniculi <i>et al.</i> (1980)			
150 kPa	200 kPa	250 kPa	300 kPa	150 kPa	200 kPa	250 kPa	300 kPa
97,51	98,19	98,26	98,06	97,59	98,40	97,58	98,40
98,27	97,16	97,29	95,73	98,06	97,44	97,37	95,93
97,82	97,22	97,29	96,63	97,81	97,52	97,37	96,99
95,42	95,28	95,44	93,39	96,67	96,95	96,04	94,62
97,74	94,58	95,07	93,57	97,54	96,38	95,66	94,33
95,50	95,48	94,80	94,71	96,97	97,10	96,07	95,15
95,13	96,10	94,57	94,85	96,70	96,28	94,67	95,55
96,76	94,71	95,12	95,84	98,34	96,38	94,99	96,13

95,67 95,77 94,12 94,26 97,23 97,03 94,62 93,88

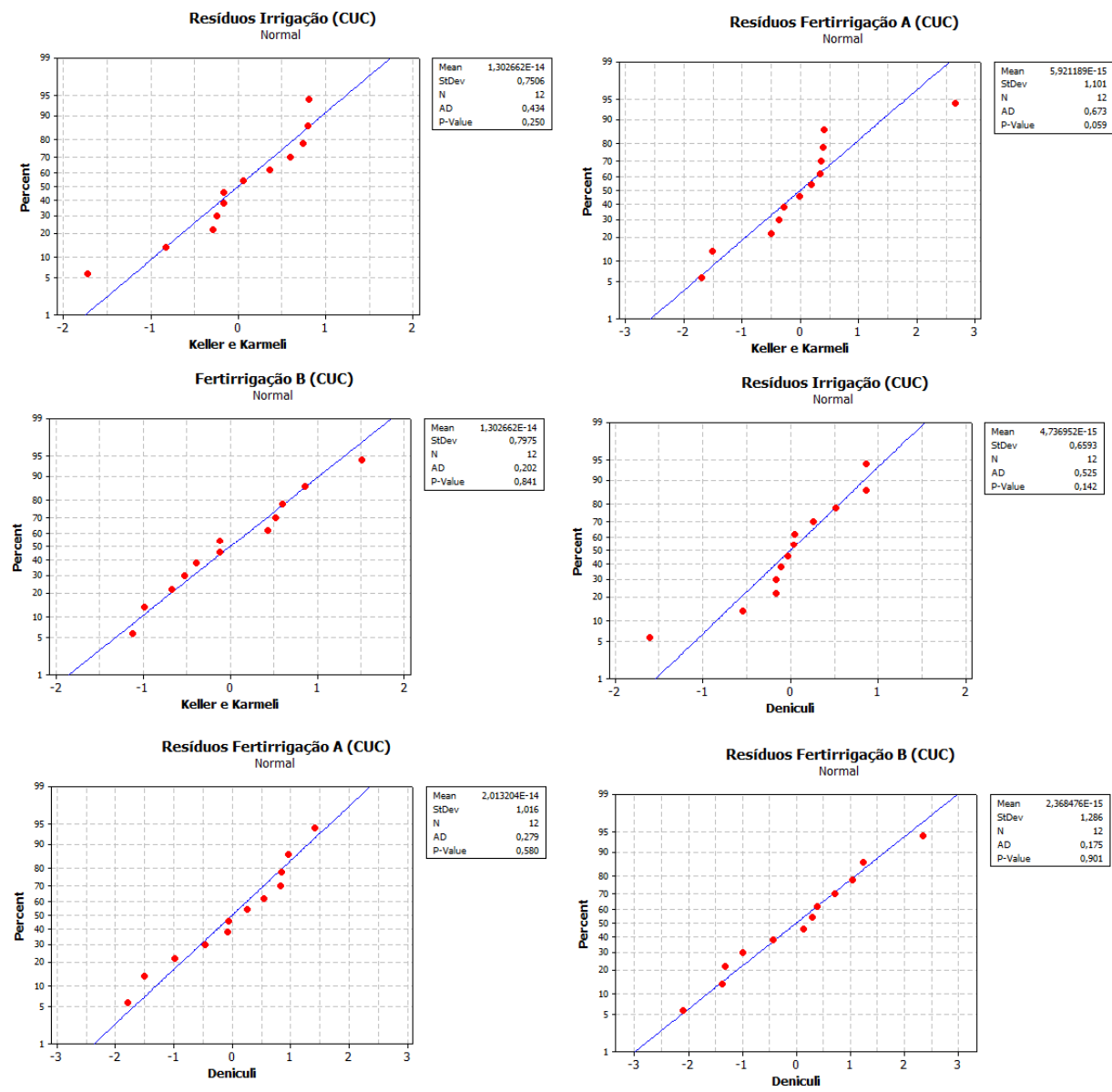
Dados de CUD de acordo com as pressões de entrada e metodologias de amostragem

Keller e Kalmeli (1975)				Deniculi <i>et al.</i> (1980)			
150 kPa	200 kPa	250 kPa	300 kPa	150 kPa	200 kPa	250 kPa	300 kPa
96,09	97,14	98,02	97,05	96,40	97,77	96,65	97,77
97,33	95,74	96,85	92,94	97,08	97,11	96,73	94,34
97,82	97,22	97,29	96,63	97,11	96,51	96,73	94,98
91,31	90,74	91,33	87,56	94,21	94,17	92,87	90,98
96,29	89,33	90,44	87,49	96,48	93,07	92,53	91,10
95,50	95,48	94,80	94,71	94,05	94,23	92,91	91,60
90,57	92,40	89,60	89,71	93,58	94,25	91,52	91,81
94,51	89,45	90,61	92,08	97,07	93,13	92,24	93,57
95,67	95,77	94,12	94,26	94,60	94,56	92,12	89,63

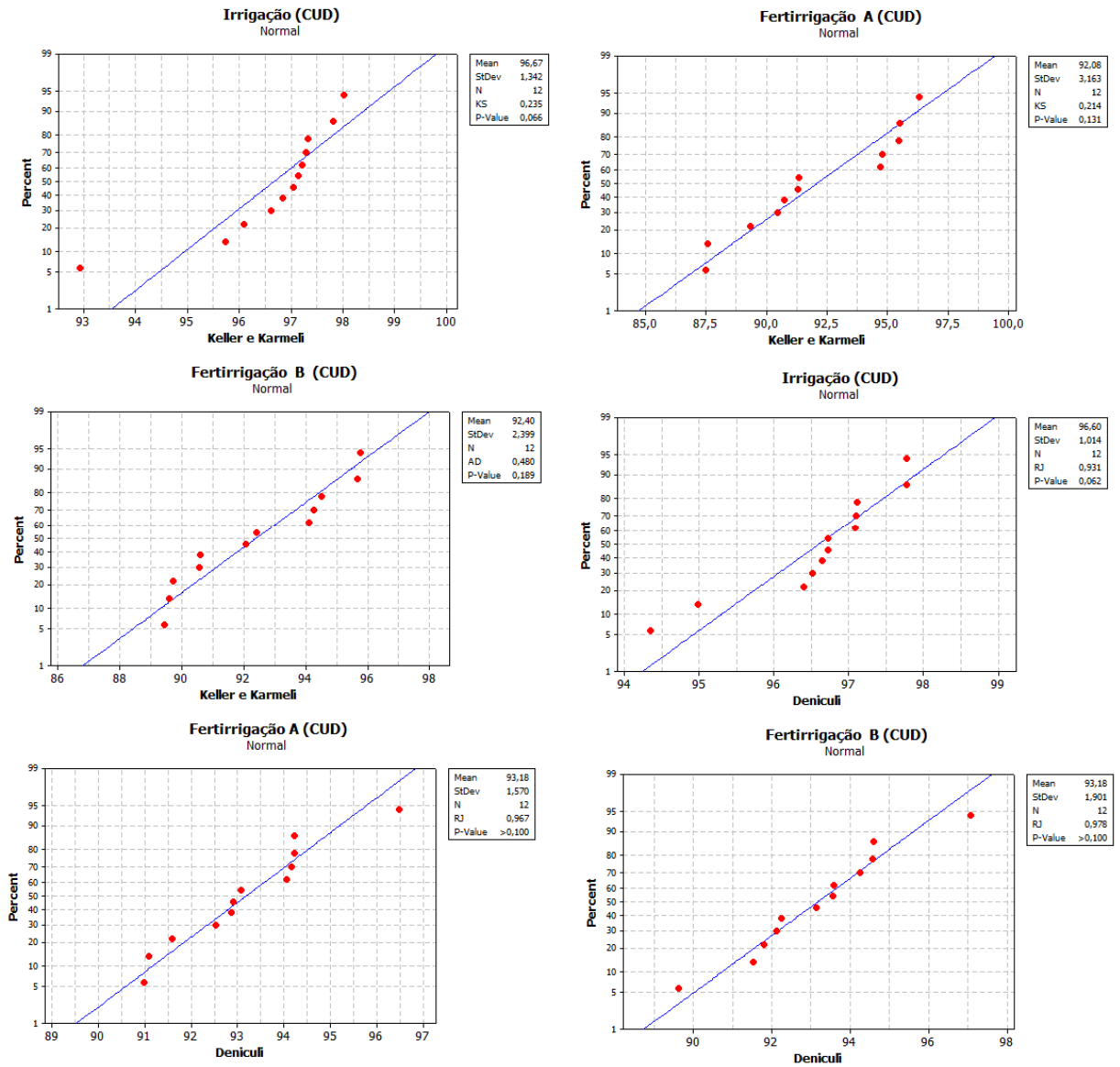
Testes de Normalidade para os dados de CUC de acordo com a concentração e metodologias de amostragem



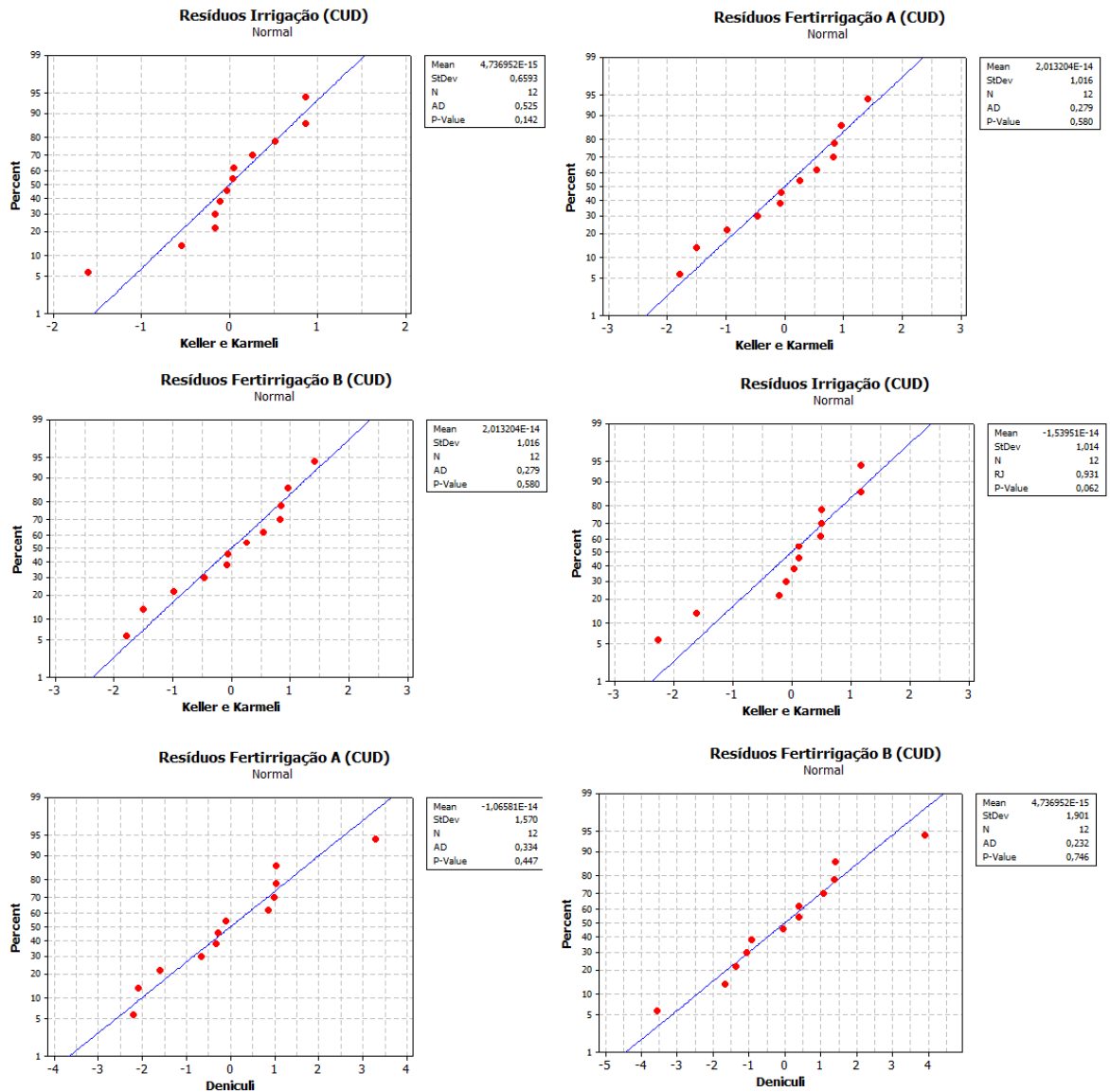
Testes de Normalidade para os resíduos dos dados de CUC de acordo com a concentração e metodologias de amostragem



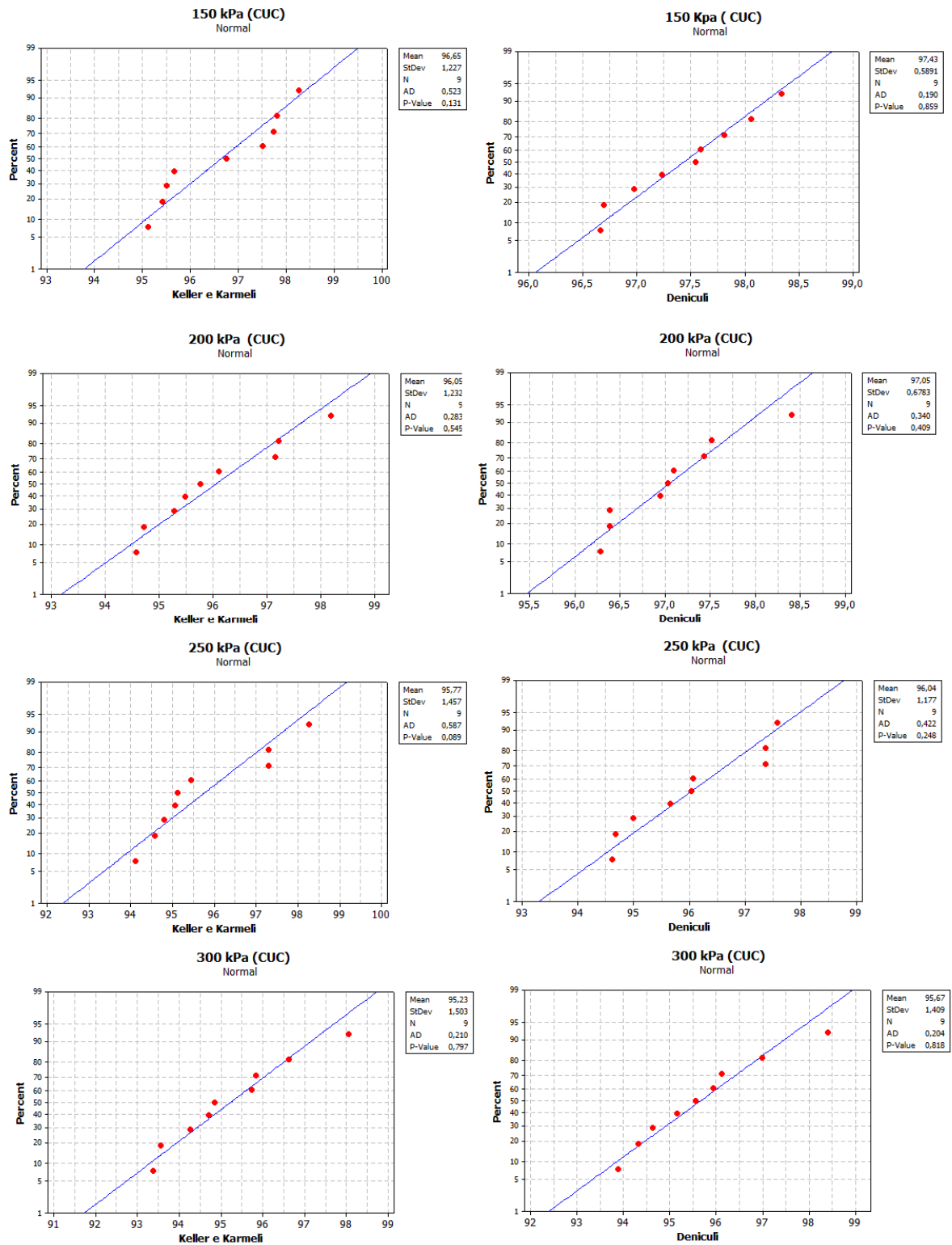
Testes de Normalidade para os dados de CUD de acordo com a concentração e metodologias de amostragem



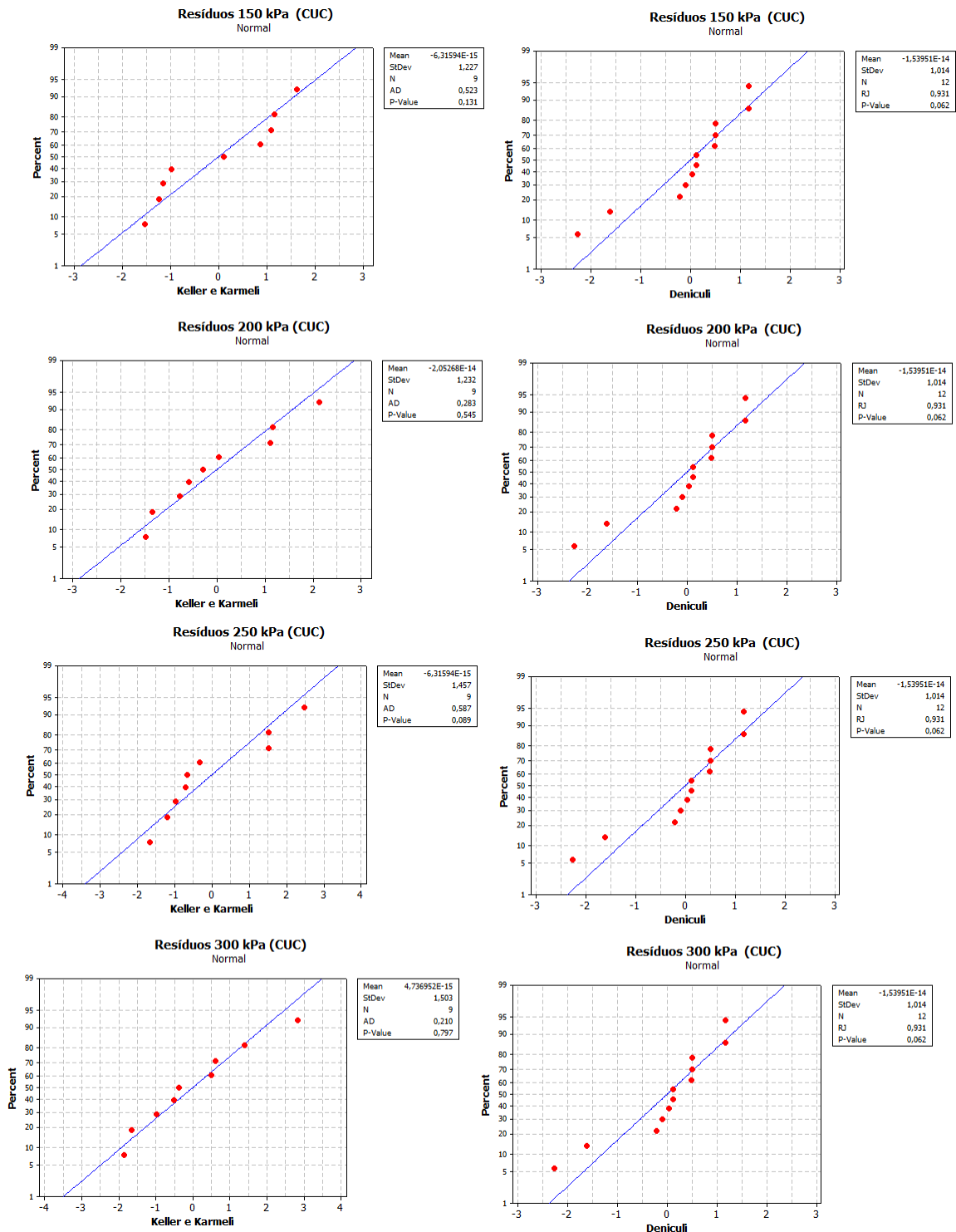
Testes de Normalidade para os resíduos de vazão de CUD de acordo com a concentração e metodologias de amostragem



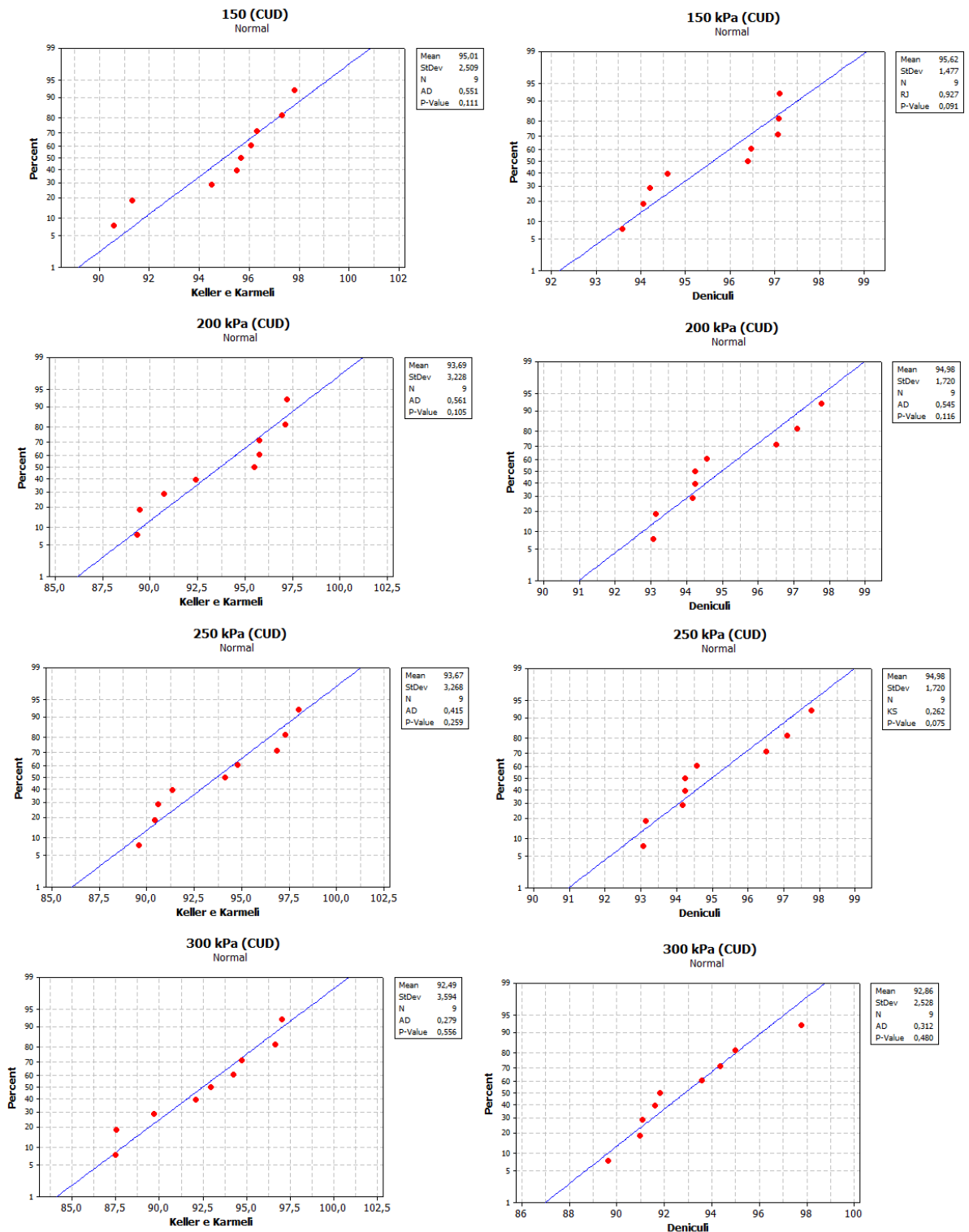
Testes de Normalidade para os dados de CUC de acordo com pressão de entrada e metodologias de amostragem



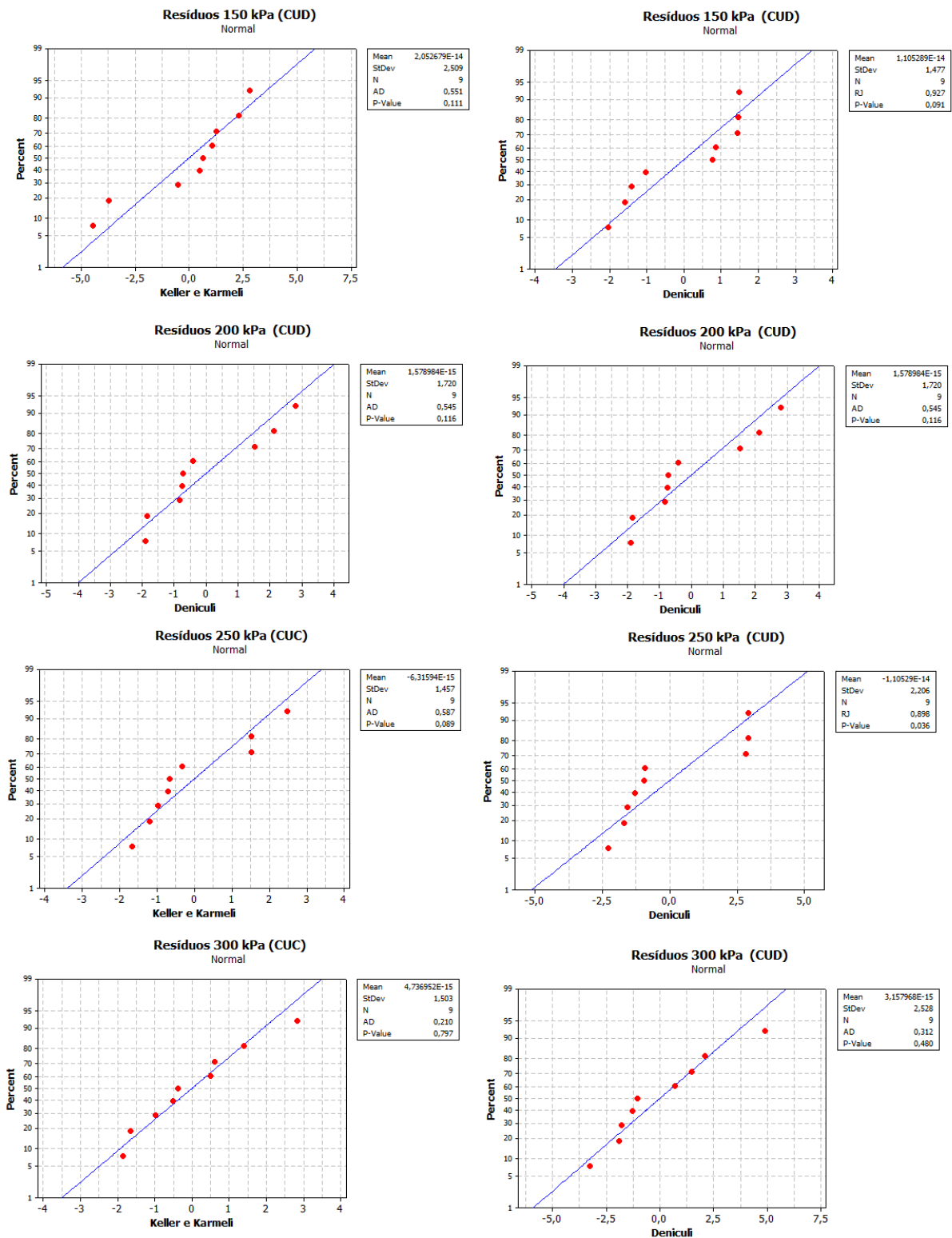
Testes de Normalidade para os resíduos de CUC de acordo com pressão de entrada e metodologias de amostragem



Testes de Normalidade para os de CUD de acordo com pressão de entrada e metodologias de amostragem



Testes de Normalidade para os resíduos do CUD de acordo com pressão de entrada e metodologias de amostragem



APÊNDICE B

Gráfico de I para os emissores da 1ª linha

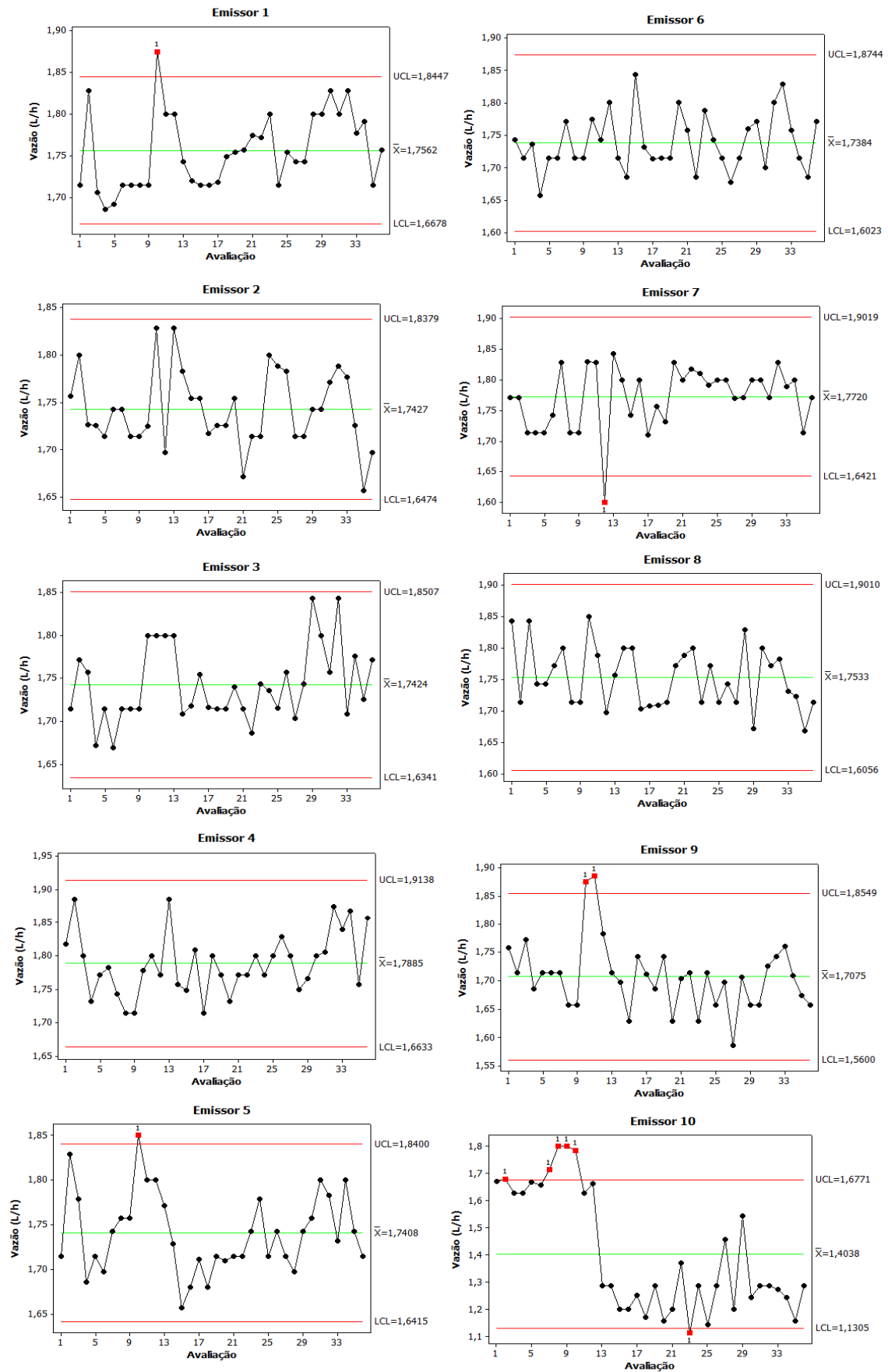


Gráfico de I para os emissores da 2ª linha

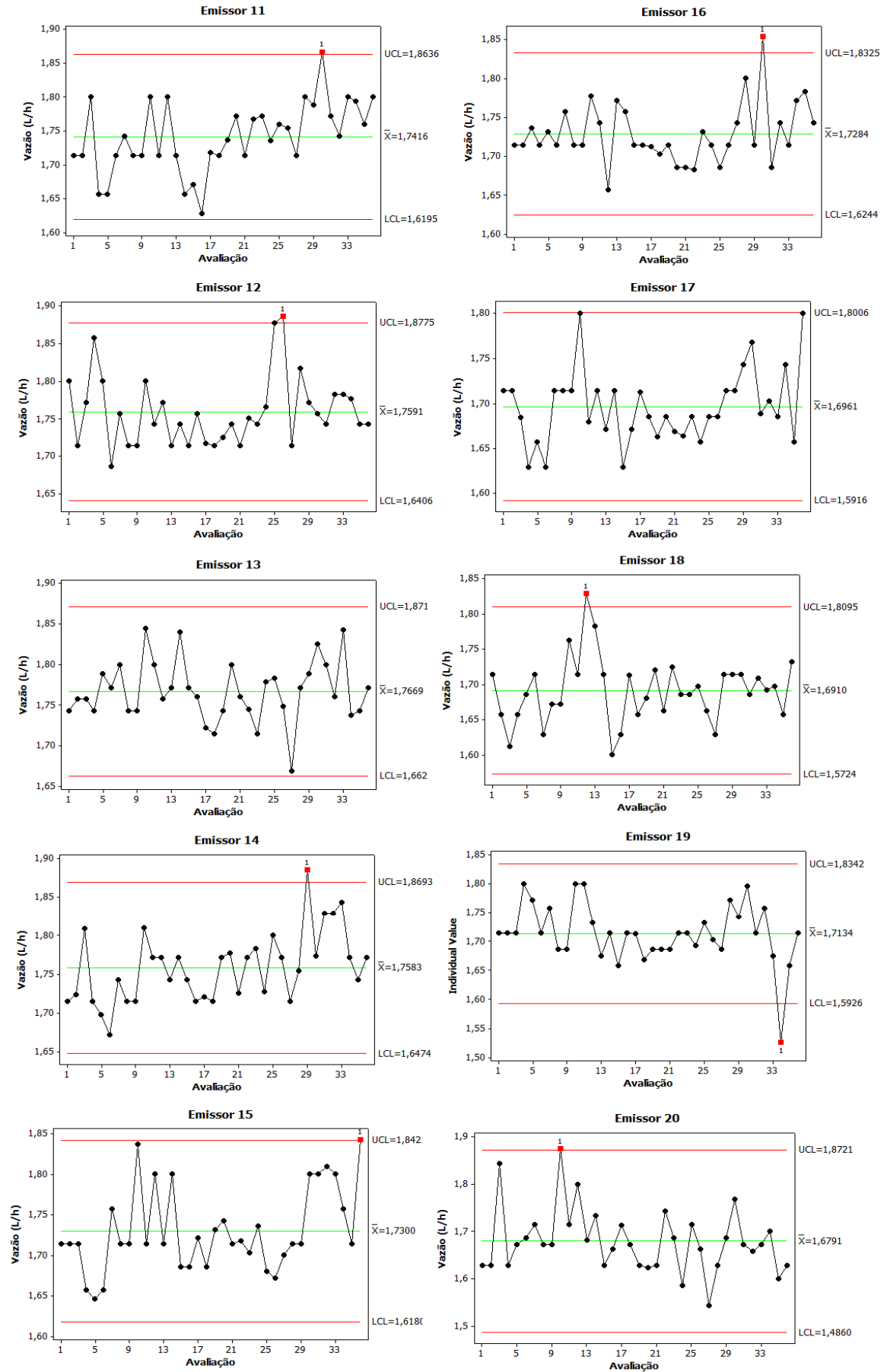


Gráfico de I para os emissores da 3ª linha

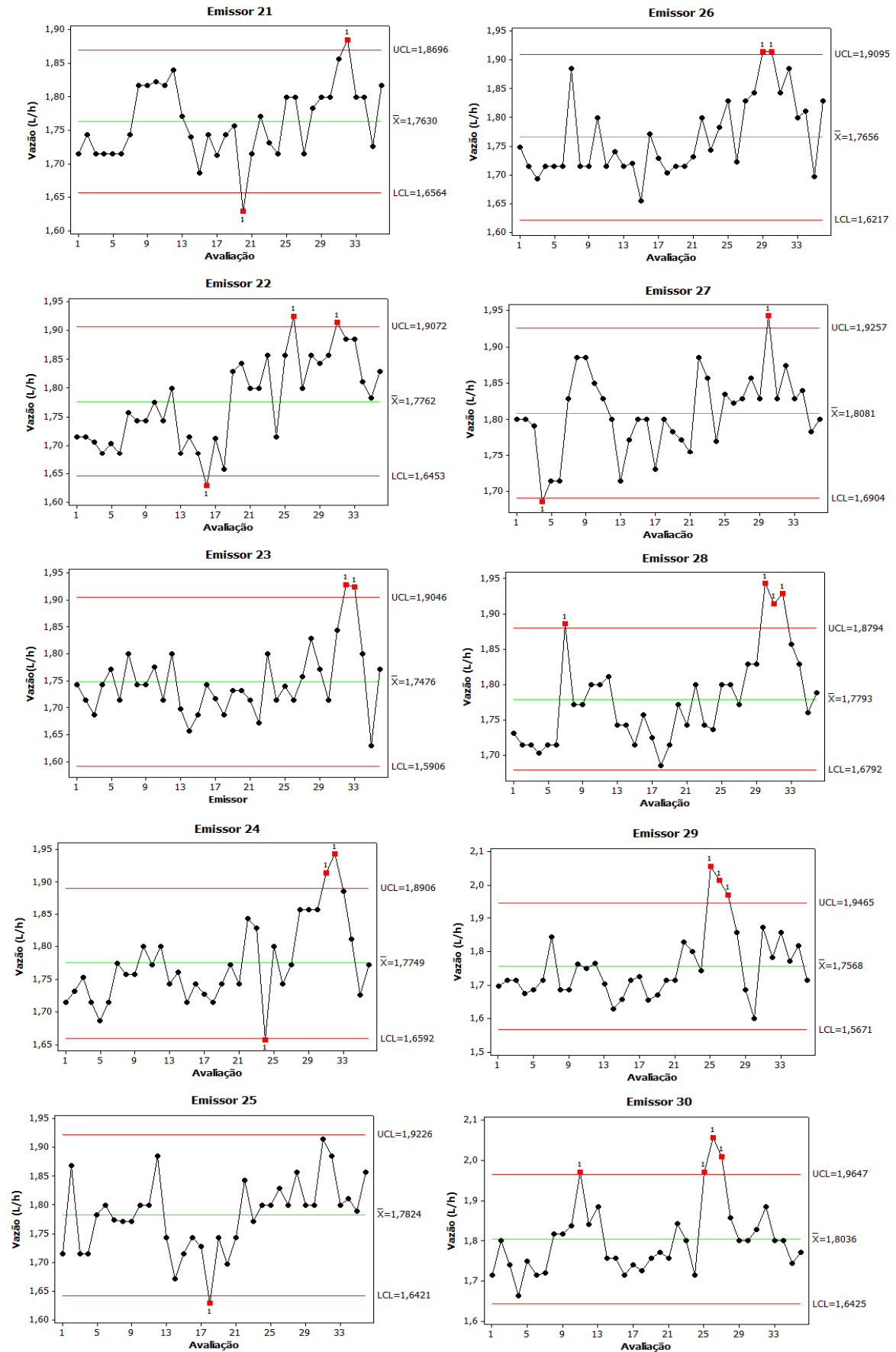
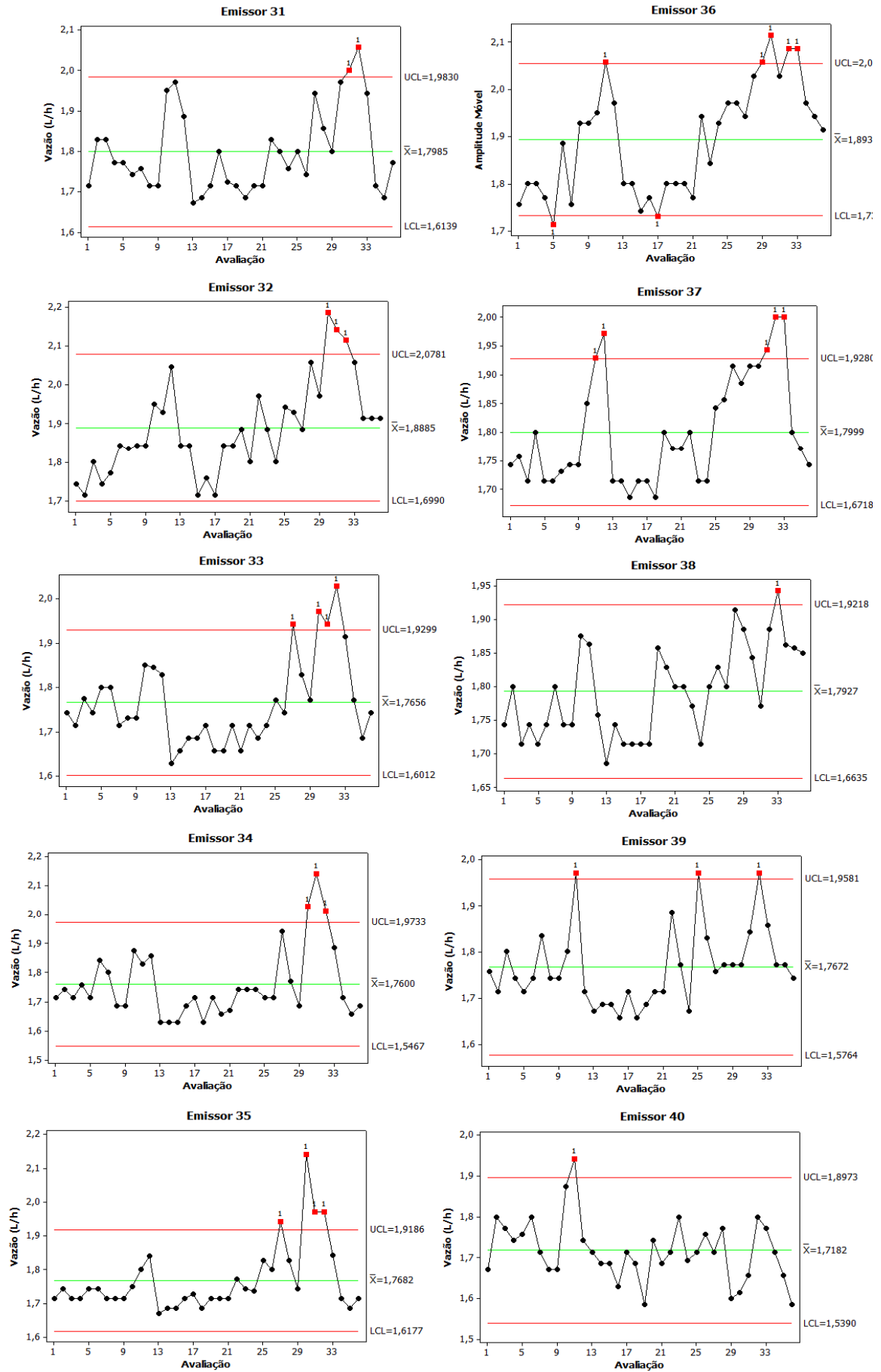
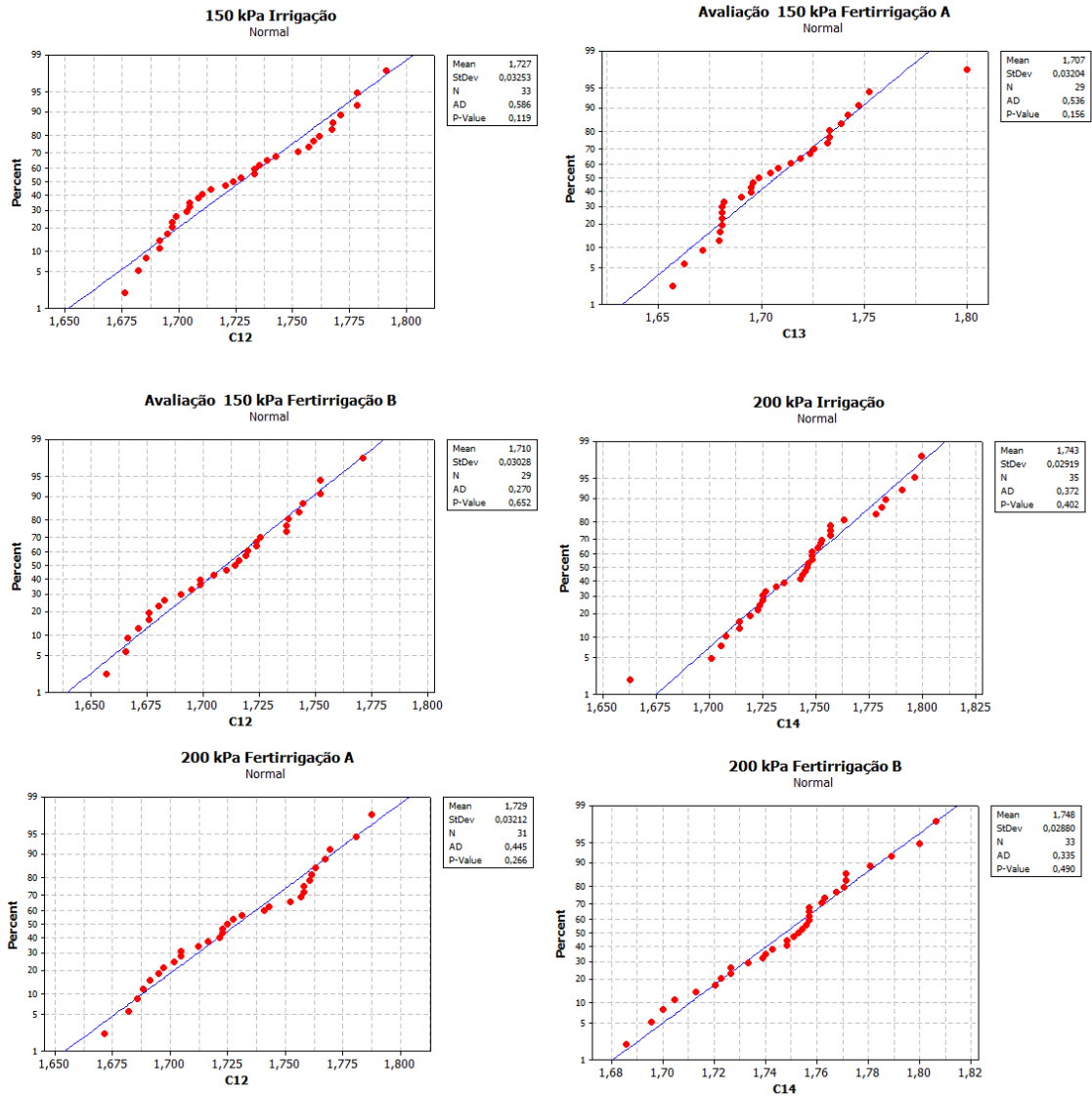


Gráfico de I para os emissores da 4ª linha

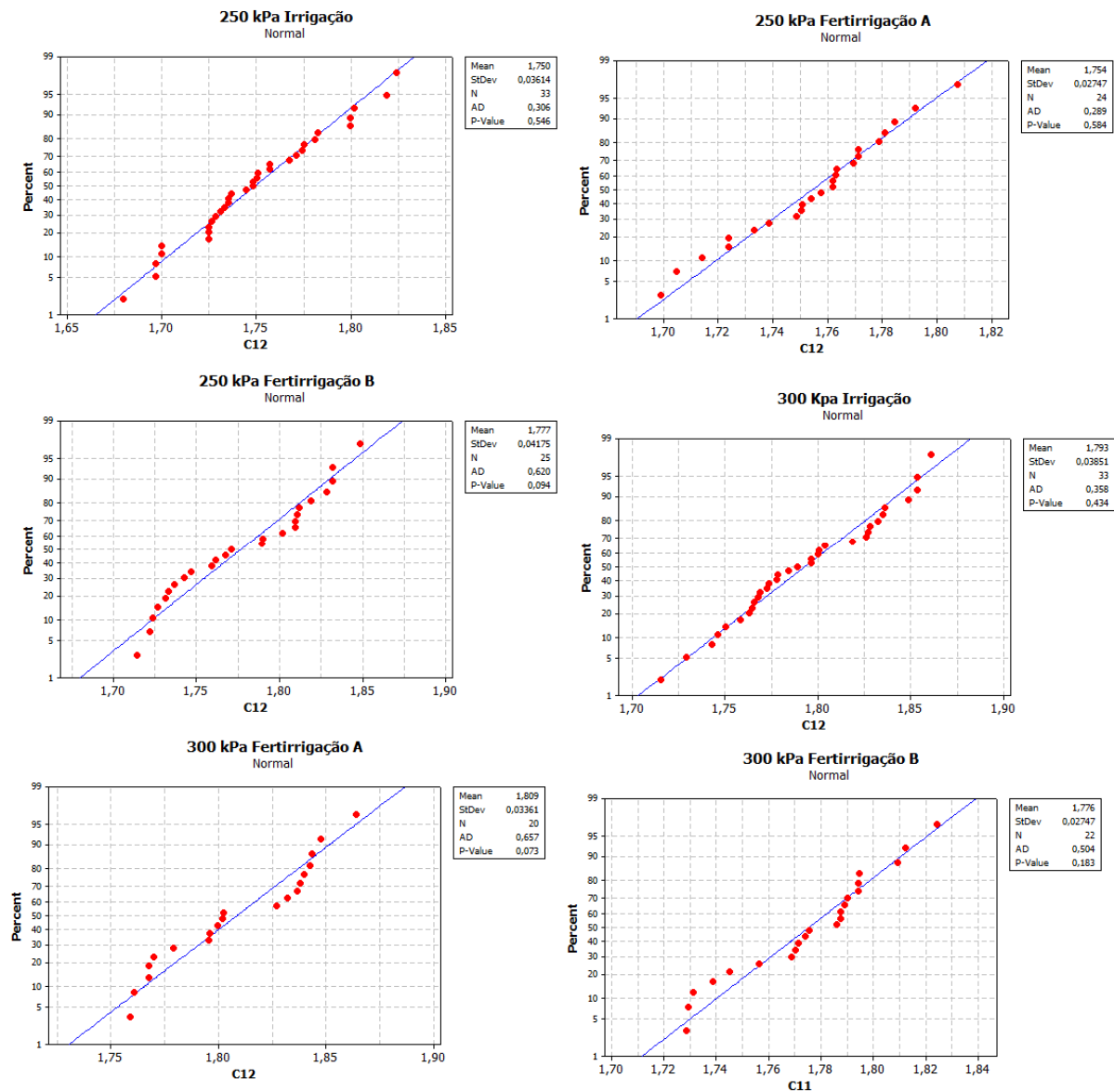


APÊNDICE C

Testes de Normalidade para os dados de vazão média, utilizados nos gráficos de X e R par as pressões de 150 e 200 kPa, na irrigação, fertirrigação A e fertirrigação B



Testes de Normalidade para os dados de vazão média, utilizados nos gráficos de X e R par as pressões de 250 e 300 kPa, na irrigação, fertirrigação A e fertirrigação B



APÊNDICE D

Dados de vazão para irrigação com 150 kPa de pressão de entrada

Avaliação 1			Avaliação 2			Avaliação 3		
repetição 1	repetição 2	repetição 3	repetição 1	repetição 2	repetição 3	repetição 1	repetição 2	repetição 3
1,71	1,68	1,66	1,71	1,71	1,65	1,77	1,66	1,71
1,80	1,68	1,70	1,80	1,63	1,71	1,80	1,68	1,75
1,68	1,66	-	1,71	1,71	-	1,71	1,66	1,63
1,80	1,68	1,71	1,80	1,80	1,71	1,80	1,77	-
1,71	1,71	1,63	1,71	1,71	1,71	1,71	1,66	1,71
1,71	1,63	1,63	1,71	1,80	1,63	1,71	1,71	1,71
1,71	1,71	1,71	1,77	1,75	1,63	1,80	1,71	1,71
1,80	1,71	1,71	1,71	1,89	1,63	1,83	1,77	1,71
1,66	1,70	1,70	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71
1,63	1,63	1,63	1,66	1,71	1,63	1,71	1,63	1,63
1,71	1,63	1,63	1,71	1,63	1,63	1,71	1,71	1,71
2,06	1,71	1,80	1,89	1,63	1,89	1,71	1,71	1,63
1,80	1,71	1,71	1,80	1,77	1,80	1,80	1,80	1,71
1,71	1,71	1,71	1,77	-	1,63	-	1,71	1,63
1,71	1,63	1,63	1,66	1,63	-	1,71	1,71	1,54
-	1,71	1,71	1,80	1,63	1,77	1,80	1,63	1,71
1,71	1,63	1,54	1,71	1,63	1,63	1,71	1,54	1,63
1,71	1,63	1,63	1,71	1,71	1,63	1,71	1,71	1,71
1,80	1,80	-	1,80	1,71	1,80	1,80	1,63	1,71
1,63	1,63	1,63	1,71	1,63	-	1,71	1,71	1,63
1,71	1,68	1,75	1,71	1,71	1,71	1,75	1,68	1,71
1,71	1,63	1,71	1,71	1,71	1,68	1,71	1,66	1,68
1,80	1,63	1,80	1,80	1,63	1,89	1,80	1,71	1,63
1,71	1,71	1,71	1,71	1,68	1,66	-	1,71	1,71
1,78	-	1,80	1,82	-	1,75	-	1,80	1,80
1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71
1,71	1,63	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,68	1,75
1,71	1,71	1,68	1,75	1,68	1,71	1,71	1,71	1,71
1,70	1,65	1,68	1,71	1,63	1,71	1,71	1,71	1,71
1,66	-	-		1,75	-	-	-	1,71
1,80	1,63	1,89	1,80	1,89	1,63	1,89	1,71	1,63
1,71	1,71	1,80	1,89	1,71	1,71	1,80	1,89	-
1,71	1,71	1,80	1,89	1,89	1,63	1,80	1,80	-
-	1,80	1,71	1,80	1,71	1,63	1,63	2,06	-
-	-	1,71	1,71	1,89	1,63	1,89	1,71	1,63
1,80	1,71	1,80	1,80	-	1,63	-	1,89	-
1,80		1,80	1,80	1,63	1,71	1,89	1,63	1,63
1,80	1,80	1,63	1,80	1,71	1,63	1,80	1,71	1,71
1,80	1,71	1,71	1,80	1,63	1,71	1,80	1,71	1,71
1,80	1,71	1,71	-	1,80	1,71	1,80	1,80	1,80

Dados de vazão para fertirrigação A com 150 kPa de pressão de entrada

Avaliação 1			Avaliação 2			Avaliação 3		
repetição 1	repetição 2	repetição 3	repetição 1	repetição 2	repetição 3	repetição 1	repetição 2	repetição 3
1,71	1,71	1,80	1,75	1,78	1,63	1,71	1,75	1,68
1,80	1,89	1,80	1,71	1,85	1,78	1,80	1,80	1,66
1,71	1,89	1,80	1,71	1,71	1,71	1,72	1,72	1,71
-	1,89	1,89	1,71	1,80	-	1,80	1,71	1,73
1,71	1,80	1,80	1,72	1,70	1,77	1,80	1,63	1,54
1,63	1,77	1,75	1,63	1,80	1,63	1,71	1,71	2,10
1,80	1,89	-	1,80	1,80	-	1,80	1,71	1,71
-	1,80	1,71	1,80	1,80	-	1,80	1,75	1,85
-	-	1,71	1,71	1,68	1,70	1,65	1,65	1,59
-	-	1,29	1,29	-	-	1,03	-	1,37
1,71	-	-	1,71	1,54	1,71	1,63	1,71	-
1,71	1,71	1,71	1,71	1,63	1,89	1,80	1,63	1,71
1,80	1,71	1,80	1,89	1,75	1,89	1,71	1,80	1,80
1,71	1,77	1,75	1,80	1,71	1,80	1,71	1,80	1,71
1,77	1,66	1,71	-	1,89	1,71	1,71	1,71	1,63
1,80	1,80	1,71	1,71	-	1,80	1,71	1,71	1,71
1,63	1,71	-	1,71	-	1,71	1,63	-	1,63
1,77	-	1,80	1,71	-	1,71	1,71	1,54	1,54
1,68	1,71	1,63	-	-	1,71	1,71	1,71	1,54
1,71	1,70	1,63	1,71	-	1,75	1,68	1,58	-
1,80	1,71	1,80	1,77	-	1,71	1,68	1,66	1,71
1,80	1,59	1,66	1,65	1,78	1,71	1,80	1,63	1,63
-	1,68	1,71	1,63	1,70	1,64	1,71	1,63	1,71
1,71	1,80	1,71	1,80	1,77	1,71	1,80	1,71	1,63
1,71	-	1,77	1,71	-	1,63	-	1,71	1,71
-	1,71	1,71	1,77	1,77	1,63	1,71	1,59	-
-	-	1,71	1,80	1,80	1,71	1,80	1,80	1,80
1,75	1,77	1,71	1,80	1,80	1,63	1,71	1,71	1,71
1,75	1,68	1,68	-	1,63	1,63	1,71	1,63	1,63
1,89	-	-	-	1,80	1,71	-	1,77	1,75
1,71	1,63	-	1,71	1,63	1,71	1,71	1,71	1,71
1,80	1,89	-	1,80	1,89	-	1,63	-	1,80
1,71	1,63	1,54	1,71	1,54	1,71	1,71	1,63	1,71
1,63	-	-	-	1,63	1,63	1,63	-	1,63
1,71	1,63	-	1,63	1,71	1,71	1,71	1,63	1,71
1,80	1,80	-	1,80	1,89	1,71	1,71	1,80	1,71
-	1,71	1,71	-	1,71	-	1,71	1,63	1,71
1,71	1,71	1,63	1,71	1,80	1,71	1,71	1,71	1,71
1,71	1,63	-	1,71	1,71	1,63	1,71	1,71	1,63
-	1,71	-	1,63	1,71	1,71	1,63	1,71	1,71

Dados de vazão para fertirrigação B com 150 kPa de pressão de entrada

Avaliação 1			Avaliação 2			Avaliação 3		
repetição 1	repetição 2	repetição 3	repetição 1	repetição 2	repetição 3	repetição 1	repetição 2	repetição 3
1,71	1,71	1,71	1,71	1,73	1,70	1,77	1,68	1,80
1,80	1,75	1,71	1,75	1,77	1,75	1,71	1,63	1,83
1,80	1,71	1,75	1,71	1,77	1,75	1,71	1,71	1,71
1,77	-	1,85	1,80	1,80	1,75	1,80	-	-
1,68	1,68	1,68	1,70	1,66	1,68	1,68	-	-
1,71	1,77	1,71	1,66	1,77	1,68	-	1,71	1,71
1,80	-	1,80	1,71	1,80	-	1,80	-	1,71
1,71	1,71	1,68	1,71	1,63	1,71	1,73	1,71	1,68
1,75	1,77	1,71	1,63	1,54	1,63	1,68	1,66	1,71
-	1,46	0,94	1,25	-	-	1,20	1,11	1,20
1,63	1,63	1,63	1,71	-	1,89	1,71	1,71	1,71
1,80	1,71	-	1,71	1,63	1,89	1,71	1,71	1,71
1,75	1,77	1,77	1,71	1,75	1,63	1,71	1,71	1,71
1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71
1,71	1,71	1,63		1,89	-	1,71	1,63	1,71
-	1,71	1,71	1,71	-	-	1,71	1,68	1,71
1,71	-	1,63	1,71	-	-	1,71	1,63	1,71
-	1,63	-	1,71	-	-	1,71	1,63	1,63
-	1,71	1,71	1,71	-	-	1,71	1,68	1,61
1,71	1,61	-	1,71	-	-	1,63	-	1,71
1,80	1,71	1,71	1,80	1,71	1,71	1,71	1,71	1,80
-	1,63	1,63		1,65	1,66	1,71	1,63	1,63
1,89	-	1,60	1,71	1,54	1,80	1,80	1,63	1,63
1,80	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71
-	1,71	1,71		1,71	1,63	-	-	1,63
1,89	1,71	1,71	1,71	1,71	1,63	1,71	1,71	1,68
-	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,71	1,89	1,80
1,80	-	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,63
-	1,71	-	1,68	1,58	1,63	1,68	1,63	-
1,80	1,63	1,71	1,71	1,89	1,71	1,77	1,75	1,66
1,80	1,80	1,80	1,71	1,80	1,71	1,71	1,71	1,71
1,71	1,80	-	1,71	-	1,89	1,80	-	1,89
1,71	1,71	1,63	1,71	1,71	1,63	1,63	1,71	1,63
1,71	1,71	1,63	1,71	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63
1,71	1,71	1,71	1,63	1,71	1,71	1,63	1,71	1,71
1,71	1,80	1,80	1,71	1,80	1,80	1,80	1,80	-
-	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,63	1,71
-	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71
1,63	1,71	1,63	1,71	1,71	1,54	1,71	1,71	1,54
1,63	-	-	1,63	1,71	1,63	1,63	1,71	1,71

Dados de vazão para irrigação com 200 kPa de pressão de entrada

Avaliação 1			Avaliação 2			Avaliação 3			
repetição 1	repetição 2	repetição 3	repetição 1	repetição 2	repetição 3	repetição 1	repetição 2	repetição 3	repetição 4
1,71	1,71	1,71	1,80	1,89	1,80	1,63	1,68	1,71	1,80
1,80	1,71	-	1,80	-	-	1,71	1,80	1,68	1,71
1,71	1,66	1,77	1,80	1,71	1,80	1,80	1,75	1,71	1,77
-	1,80	1,83	-	-	1,89	1,80	-	-	1,80
1,71	-	1,71	1,80	1,89	1,80	1,80	1,80	1,71	1,80
1,71	1,89	1,63	1,71	1,71	1,71	1,77	1,75	1,71	1,71
1,71	1,89	1,71	1,80	1,73	1,78	-	1,68	1,75	-
1,80	1,89	-	-	1,63	1,80	-	-	1,89	1,80
1,80	-	1,71	-	1,80	1,63	1,80		1,80	1,71
1,71	-	1,63	1,68	-	-	-	1,63	-	-
1,71	1,71	1,71	1,68	1,71	1,75	-	-	-	1,80
-	1,80	1,80	1,68	1,75	-	1,80	-	1,80	1,71
1,71	1,80	1,71	-	1,80	1,71	1,71	1,71	1,80	1,80
1,71	1,71	1,71		1,68	1,77	-		1,80	1,82
1,71	1,71	1,71	1,71	1,68	1,75	-	1,71	1,71	1,71
1,71	1,71	1,71	-	1,77	1,66	1,71	1,71	1,80	1,71
1,63	1,71	1,80	1,71	-	1,71	1,71	1,68	1,80	1,54
1,71	1,71	1,71	1,71	1,63	1,63	-	-	1,54	1,68
-	-	1,71	-	1,71	1,71	1,75	1,68	1,77	1,66
1,71	1,63	1,54	1,68	1,66	1,54	-	-	1,89	1,80
1,80	1,68	1,66	1,80	1,71	1,71	1,80	1,63	1,71	1,71
1,80	1,73	1,61	1,71	1,71	1,71	1,71	1,68	1,71	1,71
1,80	1,71	1,71	-	1,71	1,71		1,63	1,71	1,71
1,71	1,71	1,71	-	1,77	1,70	1,71	1,82	1,80	1,68
1,80	1,77	1,75	-	1,94	1,80	-	-	1,71	1,71
-	-	1,75	-		1,71	1,80	1,63	1,66	1,68
1,83	1,77	1,80	1,80	1,80	1,80	1,82	1,83	1,71	1,80
1,75	-	1,71	-	1,71		1,80	1,63	1,71	1,71
1,73	1,70	1,66	-	1,71	1,71	-	1,71	1,71	1,71
1,80	1,63	1,71	1,80	1,80	1,80	-	-	1,71	1,77
1,80	1,63	1,71	1,89	1,80	1,80	1,71		1,89	1,89
1,71	1,80	1,71	1,71	-	-	-	-	-	1,80
1,80	1,71	1,71	-	1,71		-	-	1,83	1,71
1,80	1,71	1,63	1,71	1,80	1,71	-	-	1,77	1,66
1,80	1,63	1,71	1,71	1,71	1,80	-	-	1,71	1,71
-	1,80	1,71	1,80	-		-	-	-	1,80
1,80	1,71	1,71	1,71	-	1,80	-	1,71	-	-
1,89	1,63	1,71	-	1,71	1,89	1,71	-	1,80	1,63
-	1,80	1,71	1,71	1,71	1,71	1,80	-	1,89	1,71
1,71	-	1,63	1,71	1,80	1,89	1,80	-	1,80	1,71

Dados de vazão para fertirrigação A com 200 kPa de pressão de entrada

Avaliação 1			Avaliação 2			Avaliação 3		
repetição 1	repetição 2	repetição 3	repetição 1	repetição 2	repetição 3	repetição 1	repetição 2	repetição 3
1,71	1,80	1,75	-	1,63	1,89	-	1,83	1,71
1,71	1,71	1,75	1,80	1,71	1,75	1,71	1,63	
1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,80	1,71	1,71	1,71
1,71	1,89	1,71	-	1,73	1,73	1,80	1,71	1,80
1,71	1,77	1,66	1,70	1,68	1,75	-	1,71	1,71
1,80	1,63	1,71	1,71	1,89	1,80	-	1,80	1,71
-	1,71	1,75	1,80	1,80	1,89	1,80	1,80	1,80
1,71	1,71	1,71	1,80	1,63	1,89	1,80	1,77	1,80
1,80	1,71	1,71	1,63	1,63	1,63	1,71	1,68	1,71
-	1,29	-	1,20	1,11	-	1,20	-	-
1,71	1,68	1,82	1,73	1,78	1,80	1,80	1,63	1,71
1,71	1,75	1,71	1,78	1,73	1,71	1,71	1,71	1,71
1,73	1,78	1,71	1,80	1,80	1,80	1,77	1,71	1,80
1,80	1,80	1,71	1,80	1,80	1,73	1,80	1,63	1,75
1,75	-	1,71	1,80	1,71	1,71	1,80	1,63	-
1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,63	1,68	1,66	1,71
1,68	1,68	1,63	1,68	1,66	1,71	1,71	1,63	1,66
1,68	1,68	-	1,71	1,71	1,73	1,71	1,63	1,65
1,71	1,63	1,71	1,63	1,71	1,71	1,71	1,63	1,71
1,63	1,63	1,63	1,65	1,61	1,61	-	-	1,63
1,71	1,80	-	1,71	1,54	-	-	-	1,71
1,80	1,89	1,80	-	1,80	1,89	-	1,80	1,80
-	1,70	1,77	1,82	1,66	1,71	1,80	1,63	1,71
1,80	1,71	1,71	1,80	1,83	1,68	1,71	1,80	1,71
-	1,68	1,71	-	1,71	1,68	1,80	1,71	1,71
1,71	1,71	1,71	-	-	1,71	1,71	1,71	1,77
1,89	1,71	1,75	1,80	1,80	1,71	1,71	1,80	1,75
1,80	1,71	1,63	1,71	1,80	1,80	1,71	1,71	1,80
1,71	-	1,63	1,71	1,71	1,71	1,71	-	1,71
-	1,80	1,71	1,80	1,80	1,71	-	1,71	1,80
1,71	1,71	1,63	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71
1,80	-	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	-	1,71
1,71	1,63	1,63	1,71	1,71	1,71	1,63	1,71	1,63
-	-	1,71	1,71	1,63	1,63	1,71	-	1,63
1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71
-	-	1,80	1,71	1,80	1,89	1,80	1,80	1,71
1,80	1,89	1,71	1,80	1,71	1,80	1,80	1,71	1,80
1,89	1,80	1,89	1,80	1,89	1,80	1,80	1,80	1,80
1,71	1,63	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71
1,63	-	1,54	1,71	1,80	1,71	1,63	1,71	1,71

Dados de vazão para fertirrigação B com 200 kPa de pressão de entrada

Avaliação 1			Avaliação 2			Avaliação 3			
repetição	repetição	repetição	repetição	repetição	repetição	repetição	repetição	repetição	repetição
1	2	3	1	2	3	1	2	3	4
1,80	1,80	1,71	1,80	-	1,80	1,80	1,71	1,63	-
1,80	1,71	1,63	1,71	1,63	1,80	1,80	-	-	-
1,71	1,63	1,71	1,71	1,66	1,85	1,80	1,71	1,71	1,71
1,80	1,80	1,71	1,80	1,75	1,85	-	1,71	1,89	1,71
1,71	1,71	1,71	1,75	1,68	1,80	1,80	1,80	1,71	1,80
1,71	1,71	1,63	1,80	1,85	1,71	-	1,71	1,80	1,71
1,89	1,75	-	1,82	-	1,80	1,80	-	-	1,78
1,89	1,77	1,75	1,80	1,66	1,68	-	1,89	1,71	1,71
1,71	1,71	-	1,63	1,59	1,66	1,71	1,71	1,71	1,71
-	1,37	-	-	1,20	1,03	-	-	1,29	-
1,83	1,76	1,71	1,71	1,71	1,89	1,80	1,71	1,71	1,71
1,71	1,76	1,78	1,71	1,71	1,80	1,71	1,80	1,80	1,75
1,77	1,76	1,71	1,71	1,71	-	1,89	1,71	1,71	1,80
1,89	1,80	1,63	1,71	1,77	1,87	1,80	1,71	1,71	1,68
1,77	1,73	1,66	1,66	1,70	1,75	1,71	1,80	1,71	1,71
-	1,65	1,71	1,74	1,71	1,74	1,71	1,71	1,71	1,71
1,71	1,65	1,63	1,71	1,65	1,70	1,71		1,63	1,63
1,80	1,65	-	1,71	1,68	1,66	1,71		1,63	1,71
-	1,71	-	-	-	1,71	1,71	1,71	1,71	1,63
1,71	1,89	1,63	1,71	1,63	1,71	1,71	1,54	1,54	1,54
1,80	1,80	1,71	1,71	1,75	-	-	1,71	1,71	1,71
1,80	-	1,80	1,80	1,89	1,89	-	1,71	1,71	1,71
-	1,71	1,63	1,80		1,80	-	1,80	1,71	1,63
1,89	-	1,80	1,80	1,80	1,89	-	1,71	1,63	1,63
1,80	1,77	1,66	1,80	1,71	1,80	-	1,80	1,80	1,80
-	1,89	1,71	1,71	1,71	1,80	-	1,77	1,80	-
1,89	1,89	1,89	1,89	1,80	1,89	1,80	1,73	1,66	1,89
1,80	1,80	1,80	1,80	1,71	1,71	1,71	1,80	1,71	1,71
2,14	1,71	1,63	-	-	1,80		1,80	1,71	1,71
-	1,89	1,80	1,89	1,63	1,89	1,63	1,71	1,80	1,71
1,80	1,89	1,80	1,80	1,80	-	1,80	1,71	-	-
1,97	1,97	-	1,80	1,97	-	1,89	1,80	1,71	-
1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,63	1,71	1,63	1,80	-
1,71	1,71	1,80	1,71	1,71	1,80		1,80	1,71	1,71
1,80	1,80	1,71	1,71	1,71	1,80	1,71	1,71	1,80	1,71
1,97	1,97	1,89	1,89	1,80	-	1,89	-	-	1,97
1,80	1,80	1,80	1,63	1,71	1,80		-	-	1,71
1,80	1,80	-	1,71	1,80	1,80	1,71	-	-	1,71
-	-	1,89	1,71	1,80	1,80	1,71	-	-	1,63
1,71	1,71	-	1,71	1,89	1,80	1,71	1,71	1,71	1,63

Dados de vazão para irrigação com 250 kPa de pressão de entrada

Avaliação 1			Avaliação 2			Avaliação 3		
repetição 1	repetição 2	repetição 3	repetição 1	repetição 2	repetição 3	repetição 1	repetição 2	repetição 3
1,71	1,71	1,71	1,80	-	1,71	1,71	1,71	1,71
1,75	1,68	1,80	1,80	1,71	1,71	1,77	1,66	1,71
-	1,71	1,71	1,71	1,63	-	-	1,71	1,71
1,71	1,71	1,80	-	1,71	1,80	1,71	1,71	1,71
1,75	1,77	1,71	1,71	1,80	1,80	1,83	1,68	-
1,80	1,71	1,80	-	-	1,71	-	-	1,71
1,89	1,80	1,80	1,80	1,89	1,71	1,71	1,71	1,71
1,80	1,80	1,80	-	1,80	1,80	1,75	1,68	-
-	1,71	-	-	-	1,71	1,71	1,54	1,71
-	1,71	-	-	-	1,71	-	-	1,80
1,71	1,71	1,80	1,80	1,71	1,71	-	1,63	1,80
-	1,71	1,80	1,80	1,80	-	1,71	1,71	1,71
1,89	1,71	1,80	1,89	1,71	1,71	1,71	1,80	1,71
1,80	1,71	1,71	1,71	1,75	1,68	-	1,71	1,71
1,80	-	1,71	1,80	1,63	1,71	1,71	1,71	-
-	1,80	1,71	1,75	1,68	1,75	1,71	1,71	-
-	-	1,71	1,71	1,63	1,71	1,71	-	-
-	1,63	-	1,75	1,77	1,71	1,71	1,63	-
-	1,80	1,71	-	1,80	-	1,75	1,68	1,63
-	1,71	-	1,71	-	1,71	1,71	-	1,63
1,75	1,77	1,71	1,80	1,63	1,71	1,80	1,83	-
1,75	-	1,77	1,85	1,92	1,89	1,77	1,75	1,71
1,80	1,80	1,80	-	1,80	1,71	1,80	1,63	1,80
1,80	-	1,75	1,80	1,71	1,66	1,80	-	1,71
-	1,80	1,83	1,80	1,80	1,71	1,71	1,83	1,77
1,89	1,89	1,89	-	1,89	1,71	1,80	1,71	1,63
1,89	1,71	1,89	1,80	1,80	1,80	1,89	-	-
1,89	1,89	1,89	1,83	1,82	1,75	1,80	1,80	1,71
-	1,80	1,89	1,80	1,80	1,85	1,68	1,66	1,71
1,77	1,68	1,71	1,71	1,68	1,70	1,80	1,89	1,77
-	1,80	1,71	1,89	1,80	1,71	1,80	1,68	1,66
1,89	1,89	1,73	1,71	1,80	1,71	-	1,89	1,80
-	1,71	-	-	1,80	1,71	1,80	1,68	1,71
-	1,89	1,71	1,71	1,71	1,71	1,89	1,54	1,63
-	-	1,71	1,80	1,89	-	-	1,71	-
-	1,71	1,80	-	-	1,80	1,97	1,89	-
-	1,71	1,75	1,89	1,89	1,71	1,80	1,71	1,71
1,89	-	1,71	1,89	1,89	1,80	1,71	1,80	1,71
1,87	-	1,80	1,89	-	1,89	1,89	1,89	-
1,71	-	1,71	1,71	1,89	-	-	1,71	1,63

Dados de vazão para fertirrigação A com 250 kPa de pressão de entrada

Avaliação 1			Avaliação 2			Avaliação 3		
repetição 1	repetição 2	repetição 3	repetição 1	repetição 2	repetição 3	repetição 1	repetição 2	repetição 3
1,78	-	1,80	1,71	1,71	1,71	1,80	-	1,71
1,75	1,71	1,71	1,63	1,71	1,63	1,71	1,75	1,63
1,80	1,77	1,76	1,70	1,77	1,71	1,80	1,71	1,80
-	1,85	1,89	-	1,80	1,71	1,89	1,80	1,89
-	-	1,80	1,63	1,80	1,80	1,71	1,71	1,71
1,71	1,71	1,71	1,63	1,71	1,71	1,80	1,80	1,71
-	-	1,80	1,71	1,71	1,71	1,80	1,71	1,80
1,71	-	1,73	1,73	1,73	1,54	1,71	1,77	1,66
1,75	1,66	1,71	1,68	1,66	1,68	1,68	1,66	1,63
1,20	-	1,29	-	1,29	1,03	1,37	1,20	-
1,89	1,75	1,75	1,77	1,80	1,71	1,80	1,71	1,89
1,82	1,71	1,80	1,71	1,80	1,71	1,80	1,71	1,71
1,71	1,78	1,71	1,77	1,75	1,71	1,75	1,77	1,80
1,80	1,71	1,80	1,75	1,77	1,71	1,80	1,71	1,80
1,71	1,80	-	1,71	1,71	1,71	1,89	1,80	-
1,71	1,80	1,80	1,80	-	1,77	1,80	1,71	1,71
1,71	1,63	1,89	1,66	1,59	1,71	1,80	-	-
1,71	1,66	1,71	1,71	1,59	1,66	1,80	1,71	1,68
1,49	1,54	1,54	1,80	1,63	1,54	1,71	1,80	1,63
-	-	1,70	1,54	1,71	1,54	1,71	1,59	1,58
1,80	1,80	1,80	1,71	1,71	1,75	1,80	1,80	1,85
1,85	1,75	1,83	1,75	1,80	1,80	1,89	1,80	1,80
1,71	1,80	1,89	1,63	1,80	1,46	1,89	1,77	1,66
1,80	1,80	1,83	1,66	1,80	1,71	1,89	1,71	1,71
1,71	1,71	1,89	1,80	1,80	1,77	1,89	1,80	1,89
1,80	1,80	1,83	1,66	1,71	1,71	1,89	1,80	1,80
1,80	1,80	1,92	1,66	1,89	1,80	1,89	1,80	1,71
1,80	1,80	1,89	1,71	1,77	1,80	1,80	1,80	1,77
1,77	1,75	1,80	1,80	1,89	1,77	1,71	1,71	1,71
1,80	1,71	1,89	1,71	1,80	1,71	1,80	1,80	1,71
1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,63	1,80	1,71	1,80
1,89	1,97	1,89	1,97	1,89	1,89	1,97	1,89	1,89
1,71	1,80	1,80	1,71	1,71	1,63	1,80	1,71	1,71
1,71	1,71	1,71	1,63	1,71	1,63	1,71	1,63	1,71
1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,63	1,71	1,71	1,71
1,97	1,97	1,97	1,89	1,97	1,97	1,89	1,97	1,89
1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,71	1,80	1,71	1,71
1,89	1,80	1,90	1,89	1,80	1,89	1,80	-	1,90
1,71	1,71	1,89	1,80	1,80	1,71	1,89	1,71	1,63
-	-	1,71	1,71	1,63	1,63	-	1,63	1,54

Dados de vazão para fertirrigação B com 250 kPa de pressão de entrada

Avaliação 1			Avaliação 2			Avaliação 3		
repetição 1	repetição 2	repetição 3	repetição 1	repetição 2	repetição 3	repetição 1	repetição 2	repetição 3
1,80	1,63	1,83	1,68	1,80	1,75	1,71	1,80	1,71
1,75	1,77	1,85	1,83	-	1,73	1,63	1,80	1,71
1,74	1,69	-	1,80	1,71	-	1,71	1,77	1,63
1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,89	1,80	1,80	1,80
1,71	1,66	1,77	1,80	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71
1,71	1,71	1,71	1,66	1,71	1,66	1,71	-	1,71
1,80	1,80	1,80	-	-	1,80	-	1,80	1,74
-	-	1,71	1,71	1,80	1,71	1,63	1,80	1,71
1,63	1,63	1,71	1,66	1,71	1,71	-	1,63	1,54
1,20	1,11	1,11	1,11	1,46	-	-	1,29	1,63
1,75	1,68	1,85	1,75	1,80	1,71	1,71	1,71	1,71
1,89	-	1,87	1,89	1,89	-	1,71	1,71	1,71
1,71	1,89	1,75	1,82	1,80	1,63	1,71	1,63	1,66
1,80	1,80	1,80	1,80	1,89	1,63	1,78	1,71	1,65
1,68	1,70	1,66	-	1,71	1,63	-	1,70	1,70
1,71	1,63	1,71	-	1,71	-	1,71	1,71	1,80
1,75	1,68	1,63	1,71	1,71	1,63	1,71	1,71	1,71
1,71	1,68	1,70	1,68	1,71	1,59	1,63	-	-
-	1,71	1,75	1,68	1,71	1,71	1,71	1,71	1,63
1,71	1,71	1,71	1,65	1,71	1,63	-	1,54	1,54
1,71	1,80	1,89	-	1,80	1,80	1,71	1,71	1,71
1,83	1,85	1,89	1,95	1,89	1,94	1,80	1,80	1,80
-	1,80	1,68	-	1,77	1,66	1,71	1,80	-
1,71	1,80	1,89	1,71	1,73	1,78	1,80	1,71	1,80
1,89	1,71	1,97	1,71	1,89	1,89	1,71	-	1,89
1,85	1,75	1,89	1,73	-	1,71	1,80	1,89	1,80
1,80	1,89	1,82	1,87	1,80	1,80	1,80	1,89	1,80
1,80	1,80	-	1,80	1,71	1,89	1,71	1,80	1,80
-	-	2,06	-	2,06	1,97	1,97	-	-
-	1,97	-	1,97	2,06	2,14	-	2,01	-
1,71	1,89	-	1,71	1,80	1,71	1,97	1,97	1,89
1,97	1,97	1,89	1,97	-	1,89	1,89	-	-
1,71	1,71	1,89	1,80	1,71	1,71	1,97	1,89	1,97
1,71	1,71	1,71	-	1,71	-	1,97	1,89	1,97
1,80	1,80	1,89	1,80	1,80	1,80	1,97	1,97	1,89
1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,89	1,97	1,97
1,89	1,80	-	1,89	1,80	1,89	1,89	1,89	1,97
1,80	1,80	-	1,80	1,80	1,89	1,80	1,80	1,80
1,97	1,97	-	1,71	1,89	1,89	1,71	-	1,80
1,71	1,71	-	1,71	1,80	-	1,71	-	-

Dados de vazão para irrigação com 300 kPa de pressão de entrada

Avaliação 1			Avaliação 2			Avaliação 3		
repetição 1	repetição 2	repetição 3	repetição 1	repetição 2	repetição 3	repetição 1	repetição 2	repetição 3
1,88	1,88	1,88	-	1,80	1,80	1,71	1,80	1,89
1,73	1,73	1,73	1,83	1,77	1,89	1,63	1,71	1,75
1,80	1,80	1,80	1,77	1,83	-	1,97	1,63	1,80
1,80	1,76	-	-	-	1,80	1,71	1,80	1,80
1,85	1,86	1,85	1,80	1,89	1,71	-	1,80	1,80
1,80	1,80	1,73	1,71	1,75	1,77	1,89	1,71	1,80
1,83	-	1,83	1,83	1,77	1,89	1,63	1,54	1,63
1,88	1,80	1,88	1,80	1,80	1,77	1,66	1,63	1,80
1,88	-	-	1,89	1,89	-	1,75	1,80	1,80
1,80	1,77	-	1,63	-	-	1,66		
-	1,80	-	1,71	1,66	1,77	1,80	1,71	1,89
1,83	1,77	-	1,80	1,71	1,71	1,71	1,71	1,89
1,85	1,85	-	1,80	-	-	-	1,71	1,80
1,83	1,80	1,80	1,80	1,71	1,80	1,89	1,54	1,89
-	1,88	1,80	1,71	1,71	1,71	1,80		1,80
1,80	1,76	-	1,80	1,63	1,80	1,63	1,71	1,63
1,80	-	1,80	1,66	-	1,70	1,80	1,71	1,63
1,80	1,73	-	1,77	1,66	1,71	1,80	1,89	1,80
-	1,88	1,73	1,80	-	-	1,71	1,71	1,77
1,88	-	-	1,71	-	-	1,80	-	-
1,80	1,85	-	1,83	1,85	1,77	1,83	1,80	1,89
1,80	1,80	1,73	1,71	1,77	1,75	1,80	-	-
1,80	1,73	1,80	-	1,80	1,63	1,71	1,80	1,89
1,80	1,80	-	1,80	1,71	1,80	1,80	1,80	1,80
1,88	1,80	-	1,80	1,80	1,80	-	1,89	1,89
-	1,85	1,76	1,71	1,71	1,71	1,71	-	1,77
1,88	1,91	1,77	1,80	1,80	1,89	1,80	1,71	1,89
1,73	1,88	1,80	1,80	1,80	1,80	1,83	1,71	1,89
1,80	-	1,73	1,80	1,77	1,68	1,70	1,71	1,89
1,80	1,88	-	1,97	-	-	1,80	1,75	1,97
-	1,95	-	1,97	1,97	1,97	1,89	1,80	1,97
-	-	1,95	-	1,89	1,97	2,14	1,94	2,06
1,88	1,88	1,80	1,89	1,85	1,80	1,89	1,71	1,89
1,88	1,88	1,88	1,87	1,78	1,83	1,89	1,80	1,89
1,80	1,76	1,70	1,80	1,80	1,80	1,97	1,71	1,83
-	-	1,95	-	2,06	-	-	1,97	1,97
1,88	1,80	1,88	-	2,06	1,80	-	-	1,97
-	1,88	1,88	1,85	1,85	1,89	1,71	-	1,80
-	1,80	1,80	2,06	1,89	1,97	1,71	1,71	-
2,00	1,83	1,80	1,80	2,06	1,97	1,71	1,71	1,80

Dados de vazão para fertirrigação A com 300 kPa de pressão de entrada

Avaliação 1			Avaliação 2			Avaliação 3		
repetição 1	repetição 2	repetição 3	repetição 1	repetição 2	repetição 3	repetição 1	repetição 2	repetição 3
1,80	1,83	1,77	1,80	1,80	1,89	1,80	1,80	1,73
1,80	1,71	1,80	1,77	1,80	1,80	1,89	1,75	1,70
-	1,80	1,71	1,89	1,80	-	1,66	1,71	1,75
1,89	1,73	1,80	1,89	1,89	1,85	1,83	1,89	1,80
1,80	1,73	1,87	1,85	-	1,71	1,77	1,71	1,71
1,80	1,80	1,80	1,89	1,89	1,71	-	1,75	1,77
1,75	1,85	1,71	1,89	1,80	1,80	1,80	1,80	1,77
1,80	1,80	1,71	-	1,77	1,80	1,77	1,80	1,63
1,71	1,75	1,71	1,80	1,71	1,71	1,80	1,71	1,77
1,29	1,29	1,29	1,29	1,34	1,23	1,25	1,32	1,25
1,71	1,75	1,85	1,71	1,80	1,71	-	1,80	1,80
1,80	1,71	1,71	1,80	1,80	1,75	-	1,75	1,82
1,80	1,80	1,80	1,77	1,80	1,71	-	1,80	1,89
1,80	1,89	1,80	1,71	1,89	1,89	-	1,89	1,80
1,75	1,80	1,85	1,82	1,80	-	-	1,80	1,80
1,80	1,63	1,63	1,71	1,80	1,71	1,71	1,71	1,71
-	1,71	1,66	1,68	1,71	1,71	1,71	1,71	1,63
1,80	1,63	1,63	1,70	1,71	1,71	1,71	1,68	1,68
1,71	-	-	-	1,80	1,71	1,71	1,71	1,59
1,71	-	1,63	1,63	1,71	1,63	-	1,71	1,63
1,80	1,89	1,89	1,80	1,89	1,97	1,80	1,80	1,80
1,97	1,89	1,89	1,80	1,92	1,94	1,97	1,89	1,80
-	1,89	1,80	-	1,89	1,97	1,89	1,89	2,00
1,97	1,89	1,89	1,89	1,97	1,97	1,97	1,89	1,80
-	-	1,89	-	-	1,89	1,80	-	1,80
1,80	1,89	-	-	1,89	1,89	1,80	1,80	1,80
1,80	1,80	1,89	1,85	1,89	1,89	1,89	1,89	1,71
1,89	1,89	1,97	1,97	1,89	-	1,89	1,89	1,80
-	-	1,87	1,83	1,80	1,71	1,80	1,89	1,89
1,89	1,80	1,80	1,89	1,89	1,89	1,80	1,80	1,80
1,97	1,97	2,06	2,06	2,06	2,06	1,97	1,97	1,89
2,14	2,14	2,14	2,14	2,06	2,14	-	2,06	2,06
1,89	1,97	1,97	2,06	1,97	2,06	1,97	1,89	1,89
2,14	-	-	-	1,97	2,06	1,97	1,89	1,80
1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	-	1,89	1,80
2,14	1,97	1,97	2,06	2,14	2,06	1,97	2,14	2,14
1,97	1,97	1,89	1,97	2,06	1,97	1,89	2,14	1,97
1,89	1,71	1,71	-	1,89	1,89	1,89	1,97	1,97
1,97	1,71	-	-	1,97	1,97	1,89	1,89	1,80
1,71	1,71	1,54	-	1,71	1,89	1,80	1,80	1,71

Dados de vazão para fertirrigação B com 300 kPa de pressão de entrada

repetição 1	Avaliação 1		repetição 1	Avaliação 2		repetição 1	Avaliação 3	
	repetição 2	repetição 3		repetição 2	repetição 3		repetição 2	repetição 3
1,80	1,80	1,80	1,80	1,71	1,89	1,89	1,80	1,80
1,71	-	-	1,71	1,71	1,80	1,80	1,71	1,71
1,71	1,71	1,80	-	1,89	1,80	1,80	1,89	1,71
1,71	1,79	1,75	-	1,73	1,80	-	1,80	1,80
1,71	1,71	1,66	1,77	1,68	1,78	1,80	1,71	-
1,77	1,71	1,80	1,89	1,63	1,80	-	-	1,70
1,80	1,71	1,80	1,75	1,77	1,89	1,80	-	-
1,89	1,71	1,89	1,71	1,63	-	1,71	1,89	-
1,71	1,70	-	1,71	1,63	1,63	1,66	1,68	1,63
-	1,20	-	1,54	-	-	1,20	-	1,29
1,75	1,85	1,80	1,80	1,71	1,85	1,83	1,90	-
-	1,82	-	1,80	1,75	1,77	1,80	-	1,71
1,80	1,71	1,80	1,77	1,80	1,80	1,88	1,80	1,80
1,73	1,73	1,80	-	1,89	1,89	1,88	1,71	1,73
1,68	1,75	-	1,71	-	1,71	1,80	-	-
-	-	1,80	1,80	1,63	1,71	1,88	1,89	1,80
-	1,71	1,71	1,80	1,68	1,75	1,88	1,71	1,71
-	1,71	1,71	1,71	1,63	1,80	1,80	1,63	1,71
1,80	1,80	1,71	1,80	1,71	1,71	1,88	1,80	1,71
1,63	-	-	1,80	1,63	1,63	1,65	1,89	-
1,80	1,75	1,80	1,71	1,82	1,87	1,89	1,71	1,80
1,83	1,85	1,89	1,80	1,89		1,80	1,89	1,89
1,89	1,80	1,80	1,80	1,71	1,80	-	-	1,71
1,97	1,80	1,80	1,80	1,89	1,89	1,89	1,89	1,80
1,80	1,71	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
-	1,80	1,89	1,80	1,97	1,97	1,97	1,89	1,89
1,89	1,80	1,89	1,89	1,75	1,85	1,97	1,97	1,89
1,80	1,89	1,80	1,80	1,80	1,89	1,89	1,97	1,97
1,89	1,89	1,80	1,71	1,63	1,71	-	1,60	1,60
1,89	1,80	1,89	1,80	1,80	1,80	-	1,80	-
1,97	1,80	1,80	1,80	1,80	-	1,97	-	1,97
2,14	-	1,97	1,89	1,97	2,06	2,14	-	2,23
1,97	1,71	1,80	1,80	1,71	1,80	1,97	1,97	1,97
1,89	1,63	1,80	1,63	1,71	1,71	2,06	2,06	1,97
1,89	1,80	1,80	1,80	1,71	1,71	2,14	2,14	2,14
1,97	2,06	2,06	2,06	2,06	-	2,14	2,14	2,06
1,89	1,89	1,89	1,80	1,97	1,97	1,97	1,89	1,89
1,89	1,97	1,89	1,89	1,89	-	1,89	-	1,80
1,80	1,71	1,80	1,80	1,71	1,80	1,80	1,80	1,71
1,80	1,71	1,80	1,63	1,63	1,54	1,60	1,63	-