

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DO
KCL NA FERTIRRIGAÇÃO, EM UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR
GOTEJAMENTO**

MARCUS VINICIUS ARAUJO MELLO DE OLIVEIRA

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração em Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU-SP
Julho – 2002

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DO
KCL NA FERTIRRIGAÇÃO, EM UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR
GOTEJAMENTO**

MARCUS VINICIUS ARAUJO MELLO DE OLIVEIRA

Orientador: Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Bôas

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia - Área de
Concentração em Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU-SP
Julho – 2002

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E
TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO
SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - FCA
UNESP - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

O48u Oliveira, Marcus Vinicius Araujo Mello de, 1976-
Uniformidade de distribuição temporal e espacial do
KCL na fertirrigação, em um sistema de irrigação por go-
tejamento / Marcus Vinicius Araujo Mello de Oliveira. --
Botucatu, [s.n.], 2002
xiii, 75 f. : il color., gráfs., tabs.

Dissertação (mestrado) -- Universidade Estadual Pau-
lista, Faculdade de Ciências Agrônomicas
Orientador: Roberto Lyra Villas Bôas
Inclui bibliografia

1. Fertilizantes - Distribuidores 2. Injetores 3.
Irrigação por gotejamento I. Villas Bôas, Roberto Lyra
II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mêsquita
Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agro-
nômicas III. Título

Palavras-chave: Fertirrigação; Irrigação por gotejamento; Uni-
formidade de distribuição de fertilizantes; In-
jetores de fertilizantes

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

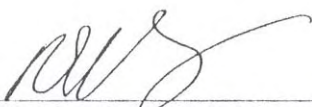
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DO KCL NA
FERTIRRIGAÇÃO, EM UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO.**

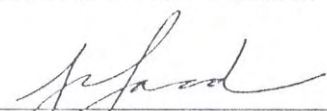
ALUNO: MARCUS VIINICIUS ARAUJO MELLO DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: PROF. DR. ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. ROBERTO LYRA VILLAS BOAS



PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD



PROF. DR. TARLEI ARRIEL BOTREL

Data de Realização: 01 de julho de 2002

A Deus por me dar perseverança e fé nesta caminhada.

Ofereço

Aos meus pais, Adão e Lourdes, a meus irmãos Dermeval Luiz e Gustavo,

A meus avós Dermeval (*in memorian*) e Dalva, Luiz e Ozília (*in memorian*),

A minhas tias, tios, primos, primas e sobrinhos, enfim a toda minha querida família sempre presente em todos os momentos de minha vida, fonte de força e coragem, meu eterno porto

seguro!

Dedico e agradeço

AGRADECIMENTOS

A Fernanda, minha namorada, pois tua companhia, estímulo, paciência e carinho fazem parte dessa vitória.

Ao professor e orientador Roberto Lyra Villas Bôas, pela oportunidade, amizade e confiança durante todo curso.

Aos colegas de Pós-graduação Carlos Garcia, João Leite, Maryselia Furtado, Alexandre Dalri, Claudio Marcio, Wagner Vilella, Marcelo Lopes, Patrick Shimidt, Ioshua Katz, Guilherme Biscaro, Luiza Duenhas, Magali Ribeiro, Antonio Ricardo, pelo imensurável auxílio na condução desse trabalho e convivência.

Aos filhos de funcionários da fazenda Lageado pela ajuda na coleta dos dados de campo, porque sem eles não teria sido possível a realização dessa dissertação.

Aos Professores João Carlos Cury Saad, Ângelo Catâneo, Rummy Goto, Marta M. Mischon pelo especial apoio.

A Universidade Estadual Paulista “Faculdade de Ciências Agronômicas”, pela acolhida e apoio concedido principalmente por intermédio dos professores e funcionários dos Departamentos de Recursos Naturais / Área de Ciência do solo e Engenharia Rural.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP,
pela concessão da bolsa que me possibilitou desenvolver esse trabalho.

A todos amigos do passado e do presente, os quais pretendo ter
também no futuro.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	XII
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO	5
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	7
4.1 Equipamentos de injeção de fertilizantes	8
4.1.1 Injetores Venturi	9
4.1.2 Bombas dosificadoras.....	11
4.1.2.1 Bombas dosificadoras elétricas	12
4.1.2.2 Bombas dosificadoras hidráulicas.....	13
4.2 Operação do sistema de irrigação / fertirrigação	14
4.2.1 Uniformidade de aplicação de água e fertilizante	15
5 MATERIAL E MÉTODOS	20
5.1 Determinação da uniformidade de distribuição de água e injeção de fertilizante ..	25
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
6.1 Pressão nas linhas laterais	30
6.2 Uniformidade de distribuição de água no sistema de irrigação	31
6.3 Solução injetada.....	33

6.4 Injeção de fertilizante.....	34
6.5 Injetor venturi.....	34
6.5.1 Concentrações de potássio	34
6.5.2 Quantidade de potássio	37
6.6 Bomba injetora elétrica Multifertic	43
6.6.1 Concentrações de potássio	43
6.6.2 Quantidade de potássio	45
6.7 Bomba injetora hidráulica proporcional Dosmatic.....	51
6.7.1 Concentração de potássio.....	51
6.7.2 Quantidade de potássio	54
6.8 Considerações gerais	60
7 CONCLUSÕES.....	68
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1 Performance do injetor Venturi marca Netafim modelo A (3/4 '' x 0,9).	22
2 Quantidade média de água (g) coletada para calculo do CUC.	31
3 Valores do CUC (%) das linhas laterais e do sistema.	31
4 Características estimadas dos segmentos que compõem uma linha lateral.	32
5 Volume (L) e concentração de K (mg L^{-1}) na solução injetada nos diferentes tratamentos.	33
6 Valores da concentração de K (mg L^{-1}) quando aplicado durante 25 minutos com o injetor venturi.	35
7 Valores da concentração de K (mg L^{-1}) quando aplicado durante 20 minutos com o injetor venturi .	35
8 Valores da concentração de K (mg L^{-1}) quando aplicado durante 15 minutos com o injetor venturi.	35
9 Valores da concentração de K (mg L^{-1}) quando aplicado durante 10 minutos com o injetor venturi.	36
10 Quantidades de K (mg) aplicado durante o ensaio de 25 minutos com o injetor venturi e avaliação da uniformidade de distribuição por período de coleta.	37
11 Quantidades de K (mg) aplicado durante o ensaio de 20 minutos com o injetor Venturi e avaliação da uniformidade de distribuição por período de coleta.	38

12	Quantidades de K (mg) aplicado durante o ensaio de 15 minutos com o injetor Venturi e avaliação da uniformidade de distribuição por período de coleta.	38
13	Quantidades de K (mg) aplicado durante o ensaio de 10 minutos com o injetor Venturi e avaliação da uniformidade de distribuição por período de coleta.	39
14	Valores de CUC (%) para distribuição de potássio quando utilizado o injetor Venturi.	40
15	Equações ajustadas e R^2 para os tratamentos com o injetor Venturi.	41
16	Decréscimo do CV ao longo do tempo para a quantidade aplicada de potássio pelo injetor Venturi em 200 metros de linha lateral.	42
17	Valores da concentração de K (mg L^{-1}) quando aplicado durante 25 minutos com o injetor Multifertic.	43
18	Valores da concentração de K (mg L^{-1}) quando aplicado durante 20 minutos com o injetor Multifertic.	44
19	Valores da concentração de K (mg L^{-1}) quando aplicado durante 15 minutos com o injetor Multifertic.	44
20	Valores da concentração de K (mg L^{-1}) quando aplicado durante 10 minutos com injetor Multifertic.	44
21	Quantidades de K (mg) aplicado durante o ensaio de 25 minutos com a bomba injetora Multifertic e avaliação da uniformidade de distribuição por período de coleta.	45

22	Quantidades de K (mg) aplicado durante o ensaio de 20 minutos com a bomba injetora Multifertic e avaliação da uniformidade de distribuição por período de coleta.	46
23	Quantidades de K (mg) aplicado durante o ensaio de 15 minutos com a bomba injetora Multifertic e avaliação da uniformidade de distribuição por período de coleta.	46
24	Quantidades de K (mg) aplicado durante o ensaio de 10 minutos com a bomba injetora Multifertic e avaliação da uniformidade de distribuição por período de coleta.	47
25	Valores de CUC (%) para distribuição de potássio quando utilizada a bomba injetora Multifertic.	48
26	Equações ajustadas e R^2 para os tratamentos com bomba injetora Multifertic.	50
27	Decréscimo do CV ao longo do tempo para a quantidade aplicada de potássio pela bomba injetora Multifertic em 200 metros de linha lateral.	50
28	Taxa de diluição calculada para os diferentes tratamentos.	51
29	Valores da concentração de K (mg L^{-1}) quando aplicado durante 25 minutos com a bomba injetora Dosmatic.	52
30	Valores da concentração de K (mg L^{-1}) quando aplicado durante 20 minutos	53
31	Valores da concentração de K (mg L^{-1}) quando aplicado durante 15 minutos	53
32	Valores da concentração de K (mg L^{-1}) quando aplicado durante 10 minutos	53
33	Quantidades de K (mg) aplicado durante o ensaio de 25 minutos com a bomba injetora Dosmatic e avaliação da uniformidade de distribuição por período de coleta.	55

34	Quantidades de K (mg) aplicado durante o ensaio de 20 minutos com a bomba injetora Dosmatic e avaliação da uniformidade de distribuição por período de coleta.	55
35	Quantidades de K (mg) aplicado durante o ensaio de 15 minutos com a bomba injetora Dosmatic e avaliação da uniformidade de distribuição por período de coleta .	56
36	Quantidades de K (mg) aplicado durante o ensaio de 10 minutos com a bomba injetora Dosmatic e avaliação da uniformidade de distribuição por período de coleta.	56
37	Valores de CUC (%) para distribuição de potássio quando utilizada a bomba injetora Dosmatic.	57
38	Equações ajustadas e R^2 para os tratamentos com a bomba injetora Dosmatic.	58
39	Decréscimo do CV ao longo do tempo para a quantidade aplicada de potássio pela bomba injetora Dosmatic em 200 metros de linha lateral.	59
40	Resumo estatístico dos coeficientes de variação das quantidades de potássio aplicadas pelos injetores analisados durante 4 tempos de injeção.	67
41	Análise de variância dos coeficientes de variação das quantidades de potássio aplicadas pelos injetores analisados em diferentes tempos de injeção.	67
42	Resumo estatístico dos CUC das quantidades de potássio aplicadas pelos injetores analisados durante 4 tempos de injeção.	67
43	Análise de variância dos CUC das quantidades de potássio aplicadas pelos injetores analisados em diferentes tempos de injeção.	67

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Ponto de emissão com 4 gotejadores autocompensantes.	21
2	Vista do injetor venturi utilizado no experimento.	22
3	Bomba elétrica Multifertic MF-100 utilizada durante o experimento.	23
4	Detalhamento do regulador de taxa de injeção da bomba Multifertic MF –100.	23
5	Bomba dosadora hidráulica proporcional Dosmatic Advantage A 30 utilizada no experimento.	24
6	Detalhamento cilindro dosador bomba dosadora hidráulica proporcional Dosmatic Advantage A 30.	25
7	Aagitador utilizado durante o experimento.	26
8	Vista das amostras na bancada do laboratório aguardando para análise.	28
9	Coeficiente de variação (CV %) para quantidade de K (mg) em função dos diferentes tempos de amostragem para o injetor venturi.	41
10	Coeficiente de variação (CV %) para quantidade de K (mg) em função dos diferentes tempos de amostragem para a bomba injetora elétrica Multifertic.	49
11	Coeficiente de variação (CV %) para quantidade de K (mg) em função dos diferentes tempos de amostragem para a bomba injetora hidráulica proporcional Dosmatic.	58
12	Variação da quantidade total de K aplicada durante os intervalos amostrados nos tratamentos com injeção durante 25 (a) e 20 minutos (b) para os três injetores.	65

- 13 Variação da quantidade total de K aplicada durante os intervalos amostrados nos tratamentos com injeção durante 15 (a) e 10 minutos (b) para os três injetores.

1 RESUMO

As vantagens advindas do uso da fertirrigação para a agricultura brasileira esbarram na ausência de trabalhos que busquem trazer informações sobre muitos aspectos relacionados à técnica. O presente trabalho, conduzido na Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, procura diminuir essa carência de conhecimento comparando três injetores de fertilizante em condições de campo, encontrando e indicando o menor tempo possível para injeção de fertilizantes em um sistema de irrigação por gotejamento.

O experimento foi instalado na área de experimentação do Departamento de Engenharia Rural da referida faculdade, localizada no município de Botucatu – SP, ocupando uma área de 0,7 ha. O sistema de irrigação foi dimensionado buscando simular um setor de um pomar de citros, composto basicamente por um cabeçal de controle, uma linha principal, uma linha de derivação e seis linhas laterais com 200 m de comprimento cada. Os equipamentos utilizados para injeção de fertilizantes foram: um injetor venturi, uma bomba dosificadora elétrica e uma bomba dosificadora hidráulica proporcional.

Como forma de estudar a distribuição espacial e temporal do íon potássio no sistema de irrigação, quatro tempos de injeção foram escolhidos: 10, 15, 20 e 25 minutos; sendo recolhidas amostras de solução em diferentes momentos durante e após a injeção do produto. As amostras coletadas tiveram seu teor de K determinado, via fotometria de chama, com a finalidade de inferir-se a uniformidade de distribuição do íon nos diferentes tratamentos.

Concluiu-se que quanto menor a distância percorrida pelo fertilizante e mais longo o tempo de injeção, maior é a uniformidade de distribuição. Os injetores utilizados não apresentaram diferença estatística quanto uniformidade de aplicação de fertilizantes. O tempo mínimo de injeção de fertilizante foi de 20 minutos, para se obter um CUC de 80%; sendo 50 minutos o tempo total de funcionamento do sistema de irrigação / fertirrigação.

UNIFORMITY OF TEMPORARY AND SPACE DISTRIBUTION OF KCl APPLIED BY DIFFERENT EQUIPMENTS USED IN THE FERTIGATION, IN A DRIP IRRIGATION SYSTEM. Botucatu, 2002. 75p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MARCUS VINICIUS ARAUJO MELLO DE OLIVEIRA

Adviser: Prof. Dr. ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS

2 SUMMARY

The advantages of fertigation use for Brazilian agriculture encounter a lack of works with information about this technique. The objective of this was to supply the lack of knowledge comparing three fertilizers injection in field conditions. The results indicated the smallest possible time for injection of fertilizers in a trickle irrigation system.

The experiment was carried out in the area of experimentation of the Department of Rural Engineering of Faculty of Agronomic Sciences – UNESP, in Botucatu – SP, with an area of 0,7 ha. The irrigation system was designed searching into simulate a citrus orchard, composed basically for head control, a main line, a derivation line and six lateral lines with 200 m of length each. The equipment used for injection of fertilizers were: a venturi injector, an electric pump and a proportional hydraulic pump.

Four times, 10, 15, 20 and 25 minutes, of injection were chosen to study the space and temporary distribution of the ion potassium in the irrigation system,;. The solution samples were picked up in different moments during and after the injection of the product. The contents of K were measured in the samples, using flame fotometric, with the purpose of determining the uniformity of distribution of ion in different treatments.

The results showed that as much as shorter the distance and as much as longer the injection time, better is the uniformity of distribution. There was no difference in uniformity of distribution of potassium among the used injectors. Under the conditions of this work the minimum time of fertilizer injection for studied pumps was 20 minutes, to be obtained 80% of CUC, and the time total of irrigation / fertigation were 50 minutes.

Keywords: Fertigation, drip irrigation, fertilizer uniformity distribution, fertilizers injectors.

3 INTRODUÇÃO

A fertirrigação é o processo de aplicação de fertilizantes juntamente com a água de irrigação. A agricultura sob irrigação localizada e fertirrigada se difundiu e diversificou muito, já ultrapassando a barreira do semi-árido nordestino estendendo-se desde a produção de figos e pêssegos na campanha gaúcha, passando pelos grandes projetos de citros irrigados por gotejamento no estado de São Paulo até os cultivos de pupunha e dendê na região amazônica sob precipitação de mais de 2000 mm anuais.

Algumas das maiores empresas de irrigação localizada tem se preocupado nos projetos de irrigação, em dimensionar bombas injetoras de alta capacidade de vazão para satisfazer situações durante o ano agrícola, nas quais há a necessidade do sistema de irrigação ser usado somente como meio de levar fertilizantes às plantas, e não como forma de suprir a demanda hídrica das culturas, principalmente considerando situações de alta precipitação. Dessa forma é de grande valia que o período de injeção de fertilizantes seja o mais breve possível, levando em consideração as características e exigências do sistema e da cultura.

Dentro deste enfoque o presente trabalho objetivou estudar a variabilidade espacial e temporal do KCl em um sistema de irrigação por gotejamento quando utilizados um injetor venturi, uma bomba elétrica Multifertic e uma bomba injetora hidráulica proporcional Dosmatic em condições de campo; visando ainda encontrar e indicar o menor tempo possível para a injeção homogênea de fertilizantes.

4 REVISÃO DE LITERATURA

A partir dos anos 90, a irrigação localizada passou a ser o sistema de irrigação mais comercializado no Brasil, de acordo com o relatado por Villas Bôas et al (2001). Dentre as diversas vantagens desses sistemas, é salientado por vários autores a grande viabilidade de realização da fertirrigação. Bernardo (1995) ressalta que em função da maior concentração radicular da cultura junto ao bulbo molhado, ocasionado pela irrigação localizada, são facilitadas as operações de adubação de cobertura.

Segundo López Cadahia (2001) a fertirrigação é o sistema mais racional de aplicação de fertilizantes, respeitando o meio ambiente dentro da chamada agricultura sustentável. Ainda segundo esse autor, a fertirrigação é considerada atualmente um dos mais importantes fatores de produtividade para a agricultura.

Villas Bôas et al. (1999) comentam que o uso da fertirrigação leva a uma amortização mais rápida do custo do equipamento de irrigação. Outras vantagens da fertirrigação são: aumento da produtividade das culturas, melhor qualidade do produto agrícola, melhor eficiência na recuperação dos nutrientes, perdas mínimas de nutrientes

ocasionadas por lixiviação, controle da concentração de nutrientes na solução do solo, flexibilidade na escolha da época de distribuição do fertilizante em relação à exigência da cultura, baseada nos estádios de desenvolvimento fisiológico das mesmas e ainda permite um desenvolvimento agrícola mais sustentável (Papadopoulos, 1999).

De acordo com López Cadahia (1998), a fertirrigação apresenta como inconvenientes à necessidade de pessoal mais especializado para manejo do sistema e maior custo inicial. A possível reação de materiais químicos na rede de irrigação ocasionando entupimento de emissores e a corrosão das partes metálicas do sistema que entram em contato direto com a solução de fertilizante, também podem ser citadas como limitações relacionadas a fertirrigação (Hernandez , 1994).

4.1 Equipamentos de injeção de fertilizantes

Diversos equipamentos podem ser utilizados na injeção de produtos químicos via água de irrigação. No mercado são encontrados produtos que fazem uso de diferentes métodos de funcionamento e possuem eficiência e preços distintos (Frizzone & Botrel, 1994).

De acordo com o relatado por Feitosa Filho (1998) uma tomada de decisão errônea na escolha de um injetor de fertilizante pode prejudicar completamente a prática da fertirrigação. Pizarro (1996) recomenda critérios básicos que podem facilitar a escolha de um injetor: preço, fonte de energia, possibilidade de automação, capacidade do sistema e comportamento temporal da concentração da solução durante o tempo de aplicação.

Os métodos de injeção podem ser classificados, de acordo com Testezlaf et al. (2001) em dois grupos: os que utilizam a energia hidráulica proveniente do próprio sistema de irrigação e aqueles que utilizam uma fonte de energia externa. Ainda,

segundo esse autor, estes dois grupos estão subdivididos em algumas categorias, de acordo com seu princípio de funcionamento. Frizzone & Botrel (1994) indicam que os equipamentos injetores podem operar com pressão efetiva negativa, destacando-se injetores venturi; pressão efetiva positiva - bombas injetoras (ou dosificadoras); ou ainda fazendo uso do diferencial de pressão na rede, como o tanque de derivação de fluxo.

4.1.1 Injetores Venturi

Os injetores venturi são peças confeccionadas geralmente de polipropileno, PVC ou metal, sendo constituídas por uma seção gradual convergente, seguida por uma seção constrita constante que resulta em uma gradual transição ampliatória, que retorna ao diâmetro original da linha de irrigação.

O princípio de funcionamento dos injetores venturi baseia-se na transformação de formas de energia. A energia de pressão da água na tubulação é convertida em energia cinética, quando passa pela seção estrangulada do venturi que, novamente, transforma-se em energia de pressão quando volta a tubulação principal (Feitosa Filho, 1990). O aumento da velocidade da água na seção estrangulada provocando queda de pressão, ocasiona uma pressão negativa que “succiona” a solução do tanque para linha principal ou lateral.

Burt et al. (1995) indicam que os injetores tipo venturi são comumente usados para fertirrigação devido sua simplicidade, tendo boa aceitação no mercado devido seu fácil manuseio e custo relativamente baixo. Feitosa Filho et al (1997) afirmam que uma das vantagens desse tipo de injetor é a possibilidade de obtenção de taxas de injeção constantes, caso não ocorram grandes variações nos parâmetros hidráulicos que influem em seu comportamento.

Feitosa Filho (1998) argumenta que esses podem ser considerados os injetores cujo funcionamento depende do maior número de parâmetros hidráulicos, os quais interdependentes muitas vezes. A variação de um parâmetro pode condicionar variações diretas nos demais, requerendo assim um controle preciso, em particular quando as dosagens dos produtos na água de irrigação são pequenas, a exemplo dos micronutrientes. Frizzone & Botrel (1994) afirmam que os injetores tipo venturi possuem uma limitada margem de operação, uma vez que uma pequena variação da pressão ou da vazão na tubulação de irrigação provoca uma significativa variação na taxa de injeção.

Kumbhani & Kumbhani (1998) citados por Feitosa Filho (1998) relacionaram as diferentes partes do injetor às grandezas físicas diretamente atuantes em cada uma delas; classificando-as em três grupos: grupo I – parte motriz (pressão, vazão e temperatura); grupo II – parte da sucção (pressão, vazão e temperatura); e grupo III – parte de descarga (pressão). Silvester & Mueller (1968) também citados por Feitosa Filho (1998) relacionam além desses parâmetros, os diferenciais de pressão como importantes no processo de funcionamento desses instrumentos, também constituindo a maioria das fórmulas utilizadas para definir o rendimento e as perdas de carga nesses equipamentos.

Lopez (1998) salienta como limitação do injetor venturi o fato de levar a uma elevada perda de carga provocada pelo estrangulamento da tubulação, sendo essa nunca inferior a 30% da pressão de operação.

Ferreira et al. (1996) indicam que nos catálogos comerciais, a capacidade de sucção do venturi refere-se à água pura, sendo essa reduzida na medida em que a densidade da solução fertilizante aumenta.

Segundo Abreu et al. (1987), a vazão de solução fertilizante injetada na rede de irrigação, por um dispositivo tipo venturi, tem uma relação direta com a pressão da água na entrada do injetor (pressão de alimentação). Nos modelos usuais, com uma pressão mínima de 15 mca., a vazão varia desde $1\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$ para os modelos de 1" (uma polegada), a mais de $20\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$ para alguns de 2", de alta capacidade de sucção.

4.1.2 Bombas dosificadoras

Segundo Alves (1992) as bombas de injeção (ou dosificadoras) podem ser de pistão ou de membrana (diafragma); acionadas por um sistema elétrico ou hidráulico.

O funcionamento de uma bomba de pistão é baseado em movimentos seqüenciais que promovem impactos consecutivos de admissão e compressão. Com o movimento de admissão, a solução de fertilizantes entra no interior do cilindro através da válvula de sucção, sequencialmente com o movimento de compressão, o produto químico é forçado para o interior da linha de descarga através da válvula de descarga (Testezlaf et al., 2000).

De acordo com Frizzzone & Botrel (1994) para adequar a taxa de injeção de uma bomba dosificadora é regulada a válvula do circuito de acionamento ou o curso do pistão: quanto mais aberta estiver a válvula, ou menor o curso do pistão, mais rápida será a movimentação do êmbolo; combinando estas duas regulagens obtém-se diferentes vazões.

Costa (1982) e Zanini (1987) citam que esses injetores são largamente utilizados, em razão de não haver variação temporal da concentração dos fertilizantes no reservatório.

Testezlaf et al. (2001) ressaltam que algumas bombas são equipadas com pistões ou diafragmas com dupla ação para minimizar as variações de concentração da solução no sistema de irrigação. Nestes casos o volume de ambos os lados do pistão ou diafragma é usado para bombear a solução química.

O custo elevado desses equipamentos é colocado por diversos autores como uma de suas principais desvantagens. Após serem operadas, as bombas injetoras de pistão apresentam ainda o inconveniente de reter uma quantidade razoavelmente grande de produto químico, de modo que a limpeza, o esvaziamento e o enchimento não são tão convenientes quanto nos injetores simples (Papadopoulos, 1999).

4.1.2.1 Bombas dosificadoras elétricas

A taxa de injeção de produtos químicos através de um acionamento elétrico da bomba é praticamente constante e independe da vazão de água do sistema de irrigação. Portanto, a taxa de injeção, deve ser calibrada entre intervalos se a vazão do sistema não é constante (Testezlaf et al, 2001).

Pizarro (1996) relata que automação da fertirrigação torna-se mais fácil com o uso de injetores elétricos. Testezlaf et al. (1999) descrevendo sobre sistemas de controle de fertirrigação em malha fechada, nos quais podem ser inseridos os dosificadores elétricos, explica que o uso de sensores de condutividade elétrica e pH possibilitam controlar de forma direta a taxa de injeção do sistema.

Segundo Frizzone & Botrel (1994), os injetores elétricos possuem como limitação de uso a necessidade de energia elétrica.

Os injetores Multifertic, da empresa ITC (Injection Technical Control Inc) são exemplos de dosificadores elétricos. As taxas de injeção para os diferentes modelos

variam desde 25 L h⁻¹ a mais de 500 L h⁻¹, com pressão de operação 30 a 150 bar, conforme informações do fabricante.

4.1.2.2 Bombas dosificadoras hidráulicas

Um dosificador hidráulico constitui-se de uma bomba hidráulica que possui uma câmara que alternadamente se enche e se esvazia, acionada por um motor hidráulico de movimento alternado, que utiliza a própria água de irrigação (Frizzone & Botrel, 1994).

Frizzone & Botrel (1994) indicam que a água utilizada para acionar um dosificador hidráulico é drenada e corresponde a um volume de aproximadamente o dobro da solução fertilizante injetada.

Testezlaf et al. (2001) relatam a existência de injetoras hidráulicas e misturadores proporcionais. Segundo esse autor a taxa de injeção dessas bombas depende da vazão do sistema de irrigação. Portanto, se ocorrerem variações de vazão na linha de irrigação conseqüentemente irão ocorrer variações na taxa de injeção dessas bombas.

O funcionamento da dosificadora hidráulica proporcional DOSMATIC modelo A 30, conforme relatado pelo fabricante, exemplifica o princípio desse tipo de equipamento. Nesta tem-se que a cada 475 ml de vazão desviada por dentro do corpo da bomba o pistão é acionado, e ao fim do percurso um mecanismo de inversão possibilita que o curso do pistão inverta de direção. Cada 950 ml de vazão representa um ciclo completo. O pistão principal, acionado pela força hidráulica da água, está conectado ao pistão dosador e ao cilindro. O pistão dosador suga o produto químico de dentro de um reservatório aberto e injeta uma quantidade predeterminada em 950 ml de água, dentro de uma câmara de mistura situada no corpo da dosadora. Geralmente a câmara de mistura permite que a mistura seja feita sem

que o produto químico entre em contato com o pistão principal. A dosagem de mistura é ajustável com amplitude bastante boa, e a relação de diluição, uma vez ajustada, se mantém constante mesmo com a variação da vazão de água do sistema.

Papadopoulos (1999) cita que versões dos alimentadores proporcionais Dosatron de tamanho $\frac{3}{4}$ ", 1 $\frac{1}{2}$ " e 2" possuem capacidade de injeção de 0,03-400 L h⁻¹, sendo o funcionamento seguro entre 0,12 e 10 bar.

Pizarro (1996) relata as seguintes vantagens e desvantagens dos dosificadores hidráulicos: utilizam como fonte de energia para o acionamento a própria pressão da água na rede de irrigação; a vazão pode ser regulada, normalmente entre 20 e 300 L h⁻¹; necessitam de uma pressão mínima de 20 mca e são de alto custo.

4.2 Operação do sistema de irrigação / fertirrigação

Na fertirrigação os fertilizantes devem ser distribuídos uniformemente com a água de irrigação em toda a área, requerendo assim, que o sistema de irrigação seja dimensionado para funcionar com altos índices de uniformidade de distribuição de água. Fatores como a concentração da solução a ser injetada e tempo de aplicação, também afetam a distribuição de nutrientes, comprometendo o rendimento da cultura (Sousa et al. 2000, Rolston et al., 1981 e Grobbelaar & Lourens, 1974).

Soil Conservation Service –USDA (1968) e Shani (1981) citados por Zanini (1987) indicam que a aplicação de fertilizantes via sistema de irrigação pode ser dividido em três etapas, da seguinte forma: a primeira, anterior a injeção propriamente dita, para o enchimento do sistema e umedecimento do solo (ao redor de 30 minutos), a segunda, que é o período de aplicação (calculado para cada situação), e a terceira, após encerrada a

injeção, para a lavagem das tubulações e movimentação do produto para a profundidade desejada (15 a 30 minutos).

4.2.1 Uniformidade de aplicação de água e fertilizante

São poucos os trabalhos técnicos que detalhadamente abordam a distribuição de fertilizantes via água de irrigação.

De acordo com Sousa & Sousa (1993), a uniformidade de distribuição de fertilizante, na água de irrigação depende da própria uniformidade de distribuição da água pelo sistema de irrigação. Desse modo, a quantidade aplicada de fertilizante é função do volume de água aplicado pelos emissores (Keller & Karmeli, 1975).

Sampaio et al. (1997) relatam que para avaliar a distribuição de fertilizantes em sistemas de irrigação, a maioria dos autores utiliza os mesmos coeficientes de uniformidade para a aplicação de água; sendo a variação na quantidade de adubo aplicado bastante semelhante à variação do volume de água coletado em cada emissor, dependendo assim do coeficiente de variação do emissor.

Segundo Rolston et al. (1981) a uniformidade de distribuição de fertilizantes depende da eficiência da agitação da solução no tanque de fertilizantes, da uniformidade de irrigação do sistema e das características do fluxo de água e solutos na tubulação de irrigação. Enfatizando ainda que melhores uniformidades de distribuição de fertilizantes são alcançadas quando a injeção de fertilizantes é iniciada após o completo enchimento das tubulações com água.

Sousa (2000) ressalta que o tempo de estabilização da fertirrigação e queda da concentração da solução no sistema varia com a distância do ponto de injeção e a concentração da solução inicial.

Bernardo (1995) cita que sendo conhecidas as vazões dos gotejadores, pode ser calculada a uniformidade de distribuição do sistema, por meio de várias fórmulas.

Keller & Karmeli (1974) sugerem que em estudos de uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação localizada sejam determinadas as vazões em quatro pontos da linha lateral, ou seja, do primeiro gotejador, do gotejador situado a 1/3 do comprimento, do gotejador situado a 2/3 do comprimento e do último gotejador. As linhas laterais selecionadas para determinação, ao longo da linha de derivação, devem ser a primeira linha lateral, a linha lateral situada a 1/3, a situada a 2/3 e a última linha lateral. Sendo a uniformidade de emissão dada pela seguinte equação:

$$UE = \frac{q_{25}}{\bar{q}} \times 100$$

Sendo:

UE- uniformidade de emissão;

q_{25} - vazão média do 25% menores valores de vazão, em L h⁻¹;

$\bar{q}$ - média das vazões observadas, em L h⁻¹.

Em decorrência do pequeno numero de pontos determinados em cada linha lateral, principalmente quando são utilizadas laterais de grande comprimento, Bernardo (1995) recomenda a determinação das vazões em oito emissores por lateral, localizados no inicio, a 1/7, 2/7, 3/7, 4/7, 5/7, 6/7 do inicio da lateral e no ultimo emissor; sendo analisadas quatro laterais, selecionadas com o mesmo critério anterior.

Pinto et al. (1988) relatam que em trabalhos comparativos entre vários métodos propostos para determinar a uniformidade de aplicação de água na irrigação

localizada, foi concluído que para a irrigação por gotejamento, o método que obteve melhores resultados foi o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).

Bernardo (1995) indica que para simplificar o trabalho e tempo necessário, recomenda-se determinar o CUC (coeficiente de uniformidade de Christiansen) por linha lateral, escolhendo, ao acaso, quatro linhas laterais em cada unidade operacional. A estimativa do CUC do sistema será a média dos CUC das linhas, tornando menos laboriosa a determinação e com resultados confiáveis. O limite mínimo de CUC aceitável em um sistema de irrigação por gotejamento é de 80%, sendo que coeficiente de uniformidade de Christiansen adaptado para avaliação da aplicação de fertilizante, pode ser definido pela seguinte equação relatada por Sampaio et al. (1996):

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - q_m|}{n \cdot q_m} \right) \times 100$$

Em que:

CUC - coeficiente de uniformidade de aplicação do fertilizante;

q_i - quantidade de fertilizante aplicada pelo emissor;

q_m - quantidade aplicada média de fertilizante;

n - número de observações (gotejadores).

Denícule et al. (1980) analisando a uniformidade de emissão em um sistema de irrigação por gotejamento, encontraram maior uniformidade de resultados e grande aumento na confiabilidade das determinações, quando são utilizados a equação de Christiansen, e oito pontos de amostragem por linha lateral.

Alves (1992) sugere que em trabalhos cujo objetivo é estudar a distribuição espacial e temporal de um fertilizante em uma linha lateral, colete-se todo o volume aplicado por um emissor, a fim de inferir corretamente sobre a quantidade de nutriente aplicado.

Segundo Holman (1978) é preferível injetar, em quase todos os casos, os fertilizantes vagarosamente ao sistema de irrigação, para ocorrer uma cobertura uniforme. A injeção muito rápida pode distribuir o material somente a uma parte do campo.

Souza et al. (1997) variando a taxa de injeção durante diferentes tempos de aplicação de fertilizante em um sistema de irrigação por gotejamento, concluiu que variações na taxa de injeção não interferiram na distribuição do potássio ao longo das laterais.

Sousa et al. (2000) trabalhando com um sistema de irrigação por gotejamento, no qual eram realizadas operações de fertirrigação, demonstraram que em um primeiro instante é encontrada maior condutividade elétrica nas partes terminais do sistema, divergindo de resultados encontrados por Zanini (1987), Alves (1992) e Sampaio et al. (1997); indicando que a uniformidade de distribuição de fertilizantes difere se o sistema for novo ou se já tiver sido usado em operações de fertirrigação, devido a resíduos de fertirrigações anteriores provocados pelo fluxo laminar de água no final das linhas laterais. A maior condutividade elétrica nas partes terminais do sistema deve diminuir com o prosseguimento do processo de fertirrigação, sendo que o tempo de estabilização da fertirrigação e queda da concentração varia com a distância do ponto de injeção e a concentração da solução inicial adotada.

Magalhães et al. (1996) estudando a uniformidade de distribuição de potássio e fósforo em um sistema de irrigação por gotejamento, mesuraram condutividade elétrica, a concentração de K por fotometria de chama e o pH das amostras coletadas;

verificando a mesma tendência de distribuição para as medidas de condutividade elétrica e concentração dos fertilizantes. Tendo concluído ainda que para estes dois íons não houve diferença na velocidade de transporte no sistema, sendo predominante o fluxo massivo.

5 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na área de experimentação do departamento de Engenharia Rural da faculdade de Ciências Agronômicas - Unesp, localizada no município de Botucatu – SP .

O sistema de irrigação foi dimensionado buscando simular um setor de um pomar de citros, no qual foram instaladas seis linhas laterais de 200 metros cada. Para tanto foram utilizadas mangueiras de polietileno PN 30 marca Plasnova com diâmetro interno de 20 mm. Foram instaladas tomadas de pressão no início, no meio e no fim das linhas laterais amostradas durante o experimento.

Foi adotado o espaçamento de 7 x 5 m, compreendendo um total de quarenta pontos de emissão por linha lateral. Em cada ponto de emissão foi “derivada” uma mangueira de polietileno com 16,10 mm de diâmetro interno e 1,5 m de comprimento, na qual foram instalados quatro gotejadores autocompensantes marca Netafim modelo PCJ, com vazão de 8 L h^{-1} (Figura 1).



Figura 1 Ponto de emissão com 4 gotejadores autocompensantes.

Nas linhas de derivação e na linha principal foram utilizadas tubulações de polietileno com diâmetro de 1 ½ polegada. Na linha principal, fez-se uso de um regulador de pressão marca Netafim de 1 ½ polegada, com regulagem para 30 mca. Também foram instaladas tomadas de pressão antes e depois do regulador de pressão.

O cabeçal de controle foi disposto à 17,5 m do centro do sistema de irrigação, confeccionado com tubulação de PVC de 2 polegadas. Nele foram instalados manômetro, registros, filtro e os injetores de fertilizantes. Foi utilizado um filtro de disco marca Arkall de 120 mesh nos ensaios com os dois injetores primeiramente testados; posteriormente nos ensaios com a bomba injetora Dosmatic, de acordo com instruções do fabricante, fez-se necessário o uso de um filtro de 150 mesh.

Foi utilizado um injetor venturi marca Netafim, modelo A (Figura 2), confeccionado de plástico com fibra de vidro com comprimento de 290 mm. O Quadro 1,

fornecido pelo fabricante do equipamento, demonstra a performance do injetor para diferentes pressões de entrada.



Figura 2 Vista do injetor venturi utilizado no experimento

Quadro 1 Performance do injetor venturi marca Netafim modelo A (3/4" x 0,9)			
Pressão de Entrada (kPa)	Fluxo Mínimo de água pelo Injetor (L h ⁻¹)	Perda de Pressão %	Capacidade máxima de sucção (L h ⁻¹)
147	600	30-75	190
196	645	30-70	189
294	820	28-60	170
392	940	27-52	160
490	1040	26-48	154
589	1120	25-43	145
687	1210	25-40	140

O segundo injetor utilizado foi uma bomba elétrica marca ITC modelo Multifertic MF2 100 (Figura 3). No experimento esse equipamento foi utilizado calibrado para trabalhar com uma taxa de injeção de 100 L h⁻¹, sendo que o mesmo podia ser calibrado para

trabalhar com taxas de injeção variando de 10 a 100 L h⁻¹ , fazendo uso do regulador mostrado na Figura 4.



Figura 3 Bomba elétrica Multifertic MF-100 utilizada durante o experimento.



Figura 4 Detalhamento do regulador de taxa de injeção da bomba Multifertic MF –100

A bomba injetora proporcional marca DOSMATIC modelo A 30 testada durante o trabalho é apresentada na Figura 5.

Injetores proporcionais necessitam que toda a vazão da área a ser fertirrigada seja desviada pelo interior do corpo da bomba, como forma de garantir a proporcionalidade do produto a ser injetado em relação ao volume total de água aplicado pelo sistema. Na Figura 6 visualiza-se o cilindro dosador da bomba, sua calibração é realizada em relação à porcentagem de água que passa pelo interior da bomba, variando de 2,5 a 0,2% da vazão desviada, ou em relação a taxa de diluição, variando de 40:1 a 500:1.

Durante os ensaios com este injetor fez-se necessário diminuir duas linhas laterais do sistema de irrigação, como forma de adequar a vazão inicial do sistema que era de 7680 L h^{-1} , a vazão máxima permissível para a utilização do equipamento que é de 6700 L h^{-1} . Todas as linhas laterais em operação foram analisadas durante os ensaios com este injetor.



Figura 5 Bomba dosadora hidráulica proporcional Dosmatic Advantage A 30 utilizada no experimento



Figura 6 Detalhamento do cilindro dosador da bomba injetora hidráulica proporcional Dosmatic Advantage A 30

5.1 Determinação da uniformidade de distribuição de água e injeção de fertilizante

Após instalado o sistema de irrigação, analisou-se a uniformidade de distribuição de água, utilizando-se como parâmetro o CUC (Coeficiente de Uniformidade de Christiansen), adotando como preconizado por Bernardo (1995) a coleta em oito pontos de cada linha lateral. Coletou-se durante 3 minutos a vazão de cada gotejador, que foi de aproximadamente 400 ml, sendo que foram realizadas três repetições. Procurando alcançar uma maior exatidão, optou-se por pesar todas as amostras, ao invés de mensurar seu volume.

Nos ensaios de fertirrigação foi utilizado o fertilizante KCl branco, por apresentar melhor solubilidade que o KCl vermelho. Após análise no laboratório de Fertilizantes e Corretivos do Departamento de Recursos Naturais / Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp, constatou-se que esse fertilizante apresenta 62% de K_2O . A quantidade desse fertilizante a ser dissolvida em água para constituir solução, foi determinada de acordo com as recomendações de Raij et al. (1997) para citros; ficando

estabelecida a dose de 260 g de KCl, em cada parcelamento da fertirrigação, para 0,7 ha irrigado pelo sistema.

Antes de cada fertirrigação o fertilizante era solubilizado em um determinado volume de água para cada tratamento (Quadro 5). Como forma de se garantir uma melhor solubilização, produziu-se um agitador, com uma haste de 67 cm, com duas hélices de 4 cm, acoplada a um motor de 1 cv (Figura 7).



Figura 7 Agitador utilizado durante o experimento

A escolha das linhas laterais para avaliar a distribuição do fertilizante seguiu a metodologia proposta por Keller & Karmeli (1974), ou seja, foram analisadas a primeira linha lateral, a situada a $1/3$ do comprimento, a situada a $2/3$ e a última linha lateral. Conforme recomendado por Bernardo (1995), a amostragem de solução nas linhas laterais já selecionadas foi realizada no primeiro ponto de emissão e nos localizados a $1/7$, $2/7$, $3/7$, $4/7$, $5/7$, $6/7$ do comprimento da linha lateral e no último ponto de emissão.

O experimento foi composto por quatro tempos de injeção de fertilizante (10, 15, 20 e 25 minutos), ou seja, todo o fertilizante era aplicado nesses tempos, com quatro repetições. Durante cada tempo de injeção foram recolhidas sempre sete amostras

por ponto de coleta, sendo que ficou estabelecido a divisão do tempo de injeção em cinco partes iguais, e mais duas de mesma duração, que compreenderiam o início do período de lavagem do sistema de irrigação. Exemplificando para o tempo de 25 minutos de injeção, foram coletadas amostras a 5, 10, 15, 20, 25 minutos, durante o período de injeção e mais duas amostras a 30 e 35 minutos de iniciada a injeção correspondendo ao início do período de lavagem da tubulação.

Para cada intervalo coletou-se todo o volume de solução em garrafas tipo “pet” de 2 L, retirando-se uma sub-amostra em recipientes de plástico de 80 ml para ser levada ao laboratório. Em cada ponto de coleta encontravam-se duas garrafas “pet”, enquanto uma estava sendo cheia, era retirada a sub-amostra da outra, e assim sucessivamente.

Tendo em vista a coleta de solução simultânea em toda extensão do sistema, fizeram-se necessárias durante a condução do experimento dezesseis pessoas no mínimo, uma vez que cada pessoa ficou responsável por dois pontos de coleta situados em duas linhas laterais adjacentes. Entretanto em algumas ocasiões por falta de pessoal, realizou-se primeiramente a análise de metade do sistema, com oito pessoas, e posteriormente fez-se a análise da outra metade do sistema. Partiu-se do princípio que se as condições de vazão e pressão estavam sendo controladas, e mostravam-se constantes, não haveria variações significativas da uniformidade de distribuição do fertilizante nas duas etapas de estudo do mesmo tempo de injeção.

As amostras coletadas foram encaminhadas ao laboratório de Fertilizantes e Corretivos do Departamento de Recursos Naturais / Ciência do Solo (Figura 8), para ser determinando o teor de K via fotometria de chama. Foi utilizado um fotômetro de chama marca Micronal, modelo 262.

A concentração de algumas das amostras coletadas ultrapassava o limite máximo de operação do aparelho; por conseguinte fez-se necessário a prévia diluição de todas as amostras em 10 vezes, como forma de se garantir a leitura das mesmas. A diluição era realizada com o uso de uma pipeta automática, pipetando-se em copo de plástico, 1 ml da solução coletada no campo. Posteriormente, esse volume era completado a 10 ml, com água destilada, fazendo para isso uso de um dispensador calibrado para 9 ml. As leituras obtidas foram convertidas em concentração de K^+ ($mg\ L^{-1}$) pela seguinte equação:

$$C = 0,2 \times D \times L$$

Sendo:

C – concentração de K^+ em mg/L;

D- fator de diluição, 10;

L- leitura do aparelho

0,2- constante do aparelho



Figura 8 Vista das amostras na bancada do laboratório aguardando para análise

Os dados obtidos durante o experimento foram analisados levando em consideração os diferentes períodos de amostragem, o comprimento total das linhas laterais, e a distância dos pontos de coleta. Primeiramente foram estudados os dados de concentração de K, sendo posteriormente transformados em quantidades de K “acumulativas”, levando em consideração a vazão média de 8 L h^{-1} dos gotejadores. Determinou-se os valores de coeficiente de variação (CV) e do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para avaliar a distribuição do K nos tratamentos. Como forma de comparar os injetores utilizados procedeu-se a análise de variância dos valores de CV e CUC para o comprimento total das linhas laterais.

Visando estudar o comportamento temporal da distribuição de fertilizante, analisou-se a variação do CV minuto a minuto. Para tanto foram plotados em gráficos de dispersão os valores de CV, e ajustados para o modelo de regressão que melhor representou os dados. A partir das equações obtidas foi determinado o valor de CV para cada minuto, e sua respectiva variação.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos serão apresentados de forma individual, sendo que ao final serão feitas considerações sobre os três injetores estudados, uma vez que, um dos objetivos do trabalho é comparar a uniformidade de distribuição do potássio injetado por esses equipamentos. Primeiramente será estudado o valor de concentração encontrada nos diferentes tratamentos, depois as quantidades estimadas de fertilizante para os intervalos de amostragem em diferentes trechos das linhas laterais, e sua uniformidade de distribuição.

6.1 Pressão nas linhas laterais

A perda de carga ao longo das linhas laterais foi de 68,65 kPa, valor muito próximo ao calculado durante o planejamento do sistema que foi de 63,74 kPa. No início das linhas laterais foi medido uma pressão de 196,13 kPa e no final 127,49 kPa aproximadamente.

Os gotejadores autocompensantes utilizados durante o experimento eram novos, e de acordo com informações do fabricante devem trabalhar na faixa de 50 a 350 kPa com um coeficiente de variação na fabricação de 3%. Dessa forma, pode-se considerar

que as variações de vazão nas linhas laterais devido as variações de pressão foram mínimas. Vale salientar que a afirmação acima deveria ser respaldada pela equação do emissor, fornecida pelo fabricante ou estimada por ensaios.

6.2 Uniformidade de distribuição de água no sistema de irrigação

Depois de instalado o sistema de irrigação, analisou-se a uniformidade de distribuição de água, utilizando o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), adotando como preconizado por Bernardo (1995) a coleta em oito pontos de cada linha lateral. Coletou-se durante 2 minutos a vazão de cada gotejador, que foi de aproximadamente 266 ml, sendo que foram realizadas três repetições em todas as seis linhas laterais (Quadros 2 e 3). Procurando alcançar uma maior exatidão, optou-se pesar todas as amostras, ao invés de mensurar seu volume. O sistema apresentou um CUC de 96,6%, o que pode ser considerado excelente.

Quadro 2 Quantidade média de água (g) coletada para o cálculo do CUC.

Distância (m)	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4	Linha 5	Linha 6
5	282	268	267	279	273	272
30	270	274	272	276	269	259
55	278	269	274	267	266	257
85	281	272	275	279	268	201
115	271	268	277	265	265	266
145	272	264	265	273	263	260
170	251	260	280	264	254	244
200	266	259	261	261	257	265

Quadro 3 Valores do CUC (%) das linhas laterais e do sistema.

	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4	Linha 5	Linha 6	Geral
CUC (%)	95,73	98,1	97,21	97,91	97,58	93,09	96,6

Foram estimados a vazão, o número de Reynolds e a velocidade em cada segmento de cinco metros das linhas laterais, localizado entre dois pontos de emissão (Quadro 4). De posse desses dados estimou-se também que, o tempo necessário para a água se deslocar do início ao final de uma linha lateral foi de aproximadamente 12 minutos.

Quadro 4 Características estimadas dos segmentos que compõem uma linha lateral.

Distância (m)	Vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	Velocidade (m s^{-1})	Nº de Reynolds	Tempo (s)	Tempo acumulado (min)
5	$3,55 \cdot 10^{-4}$	1,13	22569	4,41	0,1
10	$3,46 \cdot 10^{-4}$	1,10	22005	4,53	0,1
15	$3,37 \cdot 10^{-4}$	1,08	21441	4,65	0,2
20	$3,28 \cdot 10^{-4}$	1,05	20876	4,77	0,3
25	$3,19 \cdot 10^{-4}$	1,02	20312	4,90	0,4
30	$3,10 \cdot 10^{-4}$	0,99	19748	5,04	0,5
35	$3,01 \cdot 10^{-4}$	0,96	19184	5,19	0,6
40	$2,93 \cdot 10^{-4}$	0,93	18620	5,35	0,6
45	$2,84 \cdot 10^{-4}$	0,91	18055	5,52	0,7
50	$2,75 \cdot 10^{-4}$	0,88	17491	5,70	0,8
55	$2,66 \cdot 10^{-4}$	0,85	16927	5,89	0,9
60	$2,57 \cdot 10^{-4}$	0,82	16363	6,09	1,0
65	$2,48 \cdot 10^{-4}$	0,79	15798	6,31	1,1
70	$2,39 \cdot 10^{-4}$	0,76	15234	6,54	1,2
75	$2,30 \cdot 10^{-4}$	0,74	14670	6,79	1,4
80	$2,22 \cdot 10^{-4}$	0,71	14106	7,06	1,5
85	$2,13 \cdot 10^{-4}$	0,68	13541	7,36	1,6
90	$2,04 \cdot 10^{-4}$	0,65	12977	7,68	1,7
95	$1,95 \cdot 10^{-4}$	0,62	12413	8,03	1,9
100	$1,86 \cdot 10^{-4}$	0,59	11849	8,41	2,0
105	$1,77 \cdot 10^{-4}$	0,57	11285	8,83	2,2
110	$1,68 \cdot 10^{-4}$	0,54	10720	9,29	2,3
115	$1,60 \cdot 10^{-4}$	0,51	10156	9,81	2,5
120	$1,51 \cdot 10^{-4}$	0,48	9592	10,39	2,6
125	$1,42 \cdot 10^{-4}$	0,45	9028	11,03	2,8
130	$1,33 \cdot 10^{-4}$	0,42	8463	11,77	3,0
135	$1,24 \cdot 10^{-4}$	0,40	7899	12,61	3,2
140	$1,15 \cdot 10^{-4}$	0,37	7335	13,58	3,5
145	$1,06 \cdot 10^{-4}$	0,34	6771	14,71	3,7
150	$9,75 \cdot 10^{-5}$	0,31	6207	16,05	4,0
155	$8,86 \cdot 10^{-5}$	0,28	5642	17,66	4,3
160	$7,98 \cdot 10^{-5}$	0,25	5078	19,62	4,6
165	$7,09 \cdot 10^{-5}$	0,23	4514	22,07	5,0
170	$6,20 \cdot 10^{-5}$	0,20	3950	25,22	5,4
175	$5,32 \cdot 10^{-5}$	0,17	3385	29,43	5,9
180	$4,43 \cdot 10^{-5}$	0,14	2821	35,31	6,5
185	$3,55 \cdot 10^{-5}$	0,11	2257	44,14	7,2
190	$2,66 \cdot 10^{-5}$	0,08	1693	58,85	8,2
195	$1,77 \cdot 10^{-5}$	0,06	1128	88,28	9,6
200	$8,86 \cdot 10^{-6}$	0,03	564	176,55	12,6

6.3 Solução injetada

Antes de cada fertirrigação o fertilizante era solubilizado em um determinado volume de água para cada tratamento, sendo as concentrações médias encontradas apresentadas na Quadro 5.

Quadro 5 Volume (L) e concentração de K (mg L^{-1}) na solução injetada nos diferentes tratamentos

	10 minutos		15 minutos		20 minutos		25 minutos	
	Vol. (L)	Conc. (mg L^{-1})	Vol. (L)	Conc. (mg L^{-1})	Vol. (L)	Conc. (mg L^{-1})	Vol. (L)	Conc. (mg L^{-1})
Injetor venturi	16	8362	24	5575	32	4181	40	3345
Bomba Multifertic	17	7870	25	5352	33	3994	41	3224
Bomba Dosmatic	16	8362	24	5575	32	4181	41	3224

Nota-se que a máxima concentração de K obtida no tanque de fertilizante foi de 8362 mg L^{-1} o que correspondente a $16,25 \text{ g KCl L}^{-1}$, sendo o limite de solubilidade do KCl 340 g L^{-1} (a 20° C) segundo indicado por Shaw (1961). Pode-se inferir, então que o fertilizante encontrava-se totalmente solubilizado, uma vez que sua concentração máxima estava dentro da faixa permissível.

Deve-se considerar ainda que foi utilizado um agitador para auxiliar a completa solubilização do KCl no tanque de fertilizante. Dessa forma a diferença de concentração do K na solução não influenciou na taxa de diluição do mesmo, fato observado por Alves (1992) e Sampaio (1995).

Outro fato que reforça a solubilização integral do fertilizante era que ao final da injeção não se observou resíduo de adubo no fundo do tanque de solubilização.

6.4 Injeção de fertilizante

Estabeleceu-se para fim de comparação que os três injetores testados trabalhariam com a taxa de injeção de 100 L h^{-1} . A tomada de decisão quanto a taxa de injeção a ser utilizada deu-se devido a uma prévia observação do funcionamento do injetor venturi, uma vez que os outros injetores seriam de calibração mais fácil, independente das características do sistema. Considerando que a pressão de entrada no injetor venturi foi de aproximadamente 510 a 549 kPa, observa-se no Quadro 1 que era possível a obtenção da taxa de injeção referida.

No presente trabalho os resultados apresentados nos diversos Quadros e Gráficos sempre levaram em consideração o comprimento total das linhas laterais, ou seja, 200 metros.

6.5 Injetor venturi

6.5.1 Concentrações de potássio

As concentrações de potássio obtidas nas amostras coletadas na saída dos emissores durante os diferentes tempos de injeção com o injetor venturi são apresentadas nos Quadros de 6 a 9.

Quadro 6 Valores da concentração de K (mg L^{-1}) quando aplicado durante 25 minutos com o injetor venturi.

Distância (m)	Período (minutos)	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35
5		40	54	56	48	24	8	3
30		36	51	53	50	29	7	2
55		35	48	54	48	37	18	7
85		25	53	55	52	31	9	6
115		15	52	54	50	40	20	4
145		8	50	53	52	41	18	3
170		2	39	53	55	47	34	6
200		1	2	21	49	53	50	38
Média geral		33						

Quadro 7 Valores da concentração de K (mg L^{-1}) quando aplicado durante 20 minutos com o injetor venturi.

Distância (m)	Período (minutos)	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24	24-28
5		35	42	45	45	36	19	16
30		32	43	39	46	38	21	21
55		24	44	44	43	38	23	21
85		17	41	42	41	39	29	17
115		8	47	42	45	46	28	20
145		6	36	46	44	45	38	20
170		1	18	44	45	45	43	23
200		1	4	6	23	39	38	45
Média geral		32						

Quadro 8 Valores da concentração de K (mg L^{-1}) quando aplicado durante 15 minutos com o injetor venturi.

Distância (m)	Período (minutos)	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21
5		35	52	64	69	69	46	23
30		36	54	59	74	72	55	29
55		32	54	60	69	66	52	36
85		14	56	58	75	77	53	42
115		6	49	63	72	66	68	48
145		4	28	54	63	74	68	56
170		1	4	43	56	64	72	65
200		1	1	2	4	26	46	58
Média geral		47						

Quadro 9 Valores da concentração de K (mg L^{-1}) quando aplicado durante 10 minutos com o injetor venturi.

Distância (m)	Período (minutos)	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14
5		59	94	90	103	94	29	5
30		30	88	100	116	103	57	16
55		12	97	92	97	102	49	12
85		2	88	110	112	118	76	19
115		1	35	103	94	100	102	46
145		2	3	70	100	98	106	79
170		2	4	6	90	111	114	122
200		1	1	2	1	1	9	53
Média geral		61,2						

Nota-se que a taxa de injeção planejada para o injetor venturi, 100 L h^{-1} , somente no ensaio com 15 minutos de duração foi obtida, uma vez que a concentração de K no início da linha começou a decair antes do tempo previsto nos demais tratamentos. Possivelmente esse fato ocorreu devido a alterações no funcionamento do injetor venturi decorrentes de variações na pressão de entrada do sistema, observadas no manômetro situado no cabeçal de controle. Essas variações não foram contornadas uma vez que o presente trabalho tentou reproduzir situações de campo, nas quais é muito difícil o controle momentâneo das variações inerentes ao funcionamento de um sistema de irrigação, apesar de se fazer uso de mecanismos de controle como reguladores de pressão.

Observa-se também que houve um aumento sequencial das concentrações de potássio ao longo das linhas laterais. Durante o ensaio de 25 minutos de injeção, a amostragem até 35 minutos após iniciada a fertirrigação possibilitou observar para os pontos situados a 5 e 30 metros do início da linha, que foram alcançadas as maiores concentrações no intervalo de 5 a 20 minutos. Constatou-se ainda que ao final do período

amostrado aqueles pontos já haviam sido “lavados”, uma vez que as concentrações obtidas correspondem a da água utilizada na irrigação.

6.5.2 Quantidade de potássio

Multiplicando a concentração mensurada nos diferentes intervalos de amostragem pela vazão dos gotejadores, estimou-se a quantidade de K aplicado durante os tratamentos. Calculou-se quanto foi à quantidade de potássio (mg) aplicada do instante que se iniciou a injeção até os diferentes intervalos de amostragem ao longo das linhas laterais, conforme demonstrado nos quadros 10, 11, 12 e 13. O coeficiente de variação (CV) para todos os instantes de amostragem e para os diferentes trechos de amostragem das linhas laterais também são demonstrados nos quadros citados .

Quadro 10 Quantidades de K (mg) aplicado durante o ensaio de 25 minutos com o injetor venturi e avaliação da uniformidade de distribuição por período de coleta.

Distância (m)	Período (minutos)						
	0-5	0-10	0-15	0-20	0-25	0-30	0-35
5	27	62	99	132	148	153	155
30	24	58	93	126	146	150	152
55	23	55	91	122	147	159	164
85	17	52	89	124	144	150	154
115	10	45	81	114	141	154	156
145	5	39	74	109	136	148	150
170	1	27	63	100	131	154	158
200	1	2	16	49	84	117	142
CV 200 m	78	47	35	24	16	9	4
CV 170 m	64	25	15	9	4	2	3
CV 145 m	48	17	10	7	3	3	3
CV 115 m	33	12	8	5	2	2	3
CV 85 m	18	8	5	3	1	3	4
CV 55 m	8	6	5	4	1	3	4

Quadro 11 Quantidades de K (mg) aplicado durante o ensaio de 20 minutos com o injetor venturi e avaliação da uniformidade de distribuição por período de coleta.

Distância (m)	Período (minutos)						
	0-4	0-8	0-12	0-16	0-20	0-24	0-28
5	19	41	65	89	108	118	126
30	17	40	61	85	106	117	128
55	13	36	60	83	103	116	127
85	9	31	53	75	96	111	120
115	4	29	52	76	100	115	126
145	3	22	47	70	94	114	125
170	0	10	33	57	81	104	116
200	0	2	6	18	39	59	83
CV 200 m	90	53	41	33	25	19	13
CV 170 m	77	37	20	14	9	4	3
CV 145 m	61	22	12	9	5	2	2
CV 115 m	48	15	9	7	5	2	2
CV 85 m	30	12	8	7	5	2	3
CV 55 m	19	6	4	4	2	1	1

Quadro 12 Quantidades de K (mg) aplicado durante o ensaio de 15 minutos com o injetor venturi e avaliação da uniformidade de distribuição por período de coleta.

Distância (m)	Período (minutos)						
	0-3	0-6	0-9	0-12	0-15	0-18	0-21
5	14	35	60	88	116	134	144
30	14	36	59	89	118	139	151
55	13	34	58	86	112	133	148
85	6	28	51	81	112	133	150
115	2	22	47	76	102	129	148
145	2	13	35	60	89	117	139
170	0	2	19	41	67	96	122
200	0	1	1	3	14	32	55
CV 200 m	97	68	52	46	39	32	25
CV 170 m	84	53	32	24	18	12	7
CV 145 m	69	32	19	14	10	6	3
CV 115 m	55	19	11	7	5	3	2
CV 85 m	34	11	7	4	2	2	2
CV 55 m	6	2	2	2	2	2	3

Quadro 13 Quantidades de K (mg) aplicado durante o ensaio de 10 minutos com o injetor venturi e avaliação da uniformidade de distribuição por período de coleta.

Distância (m)	Período (minutos)						
	0-2	0-4	0-6	0-8	0-10	0-12	0-14
5	16	41	65	92	117	125	126
30	8	31	58	89	116	132	136
55	3	29	54	79	107	120	123
85	1	24	54	84	115	135	140
115	0	10	37	62	89	116	128
145	1	1	20	47	73	101	122
170	0	1	3	27	57	87	120
200	0	1	1	1	2	4	18
CV 200 m	152	92	69	54	48	42	35
CV 170 m	141	79	54	36	25	15	6
CV 145 m	129	64	34	23	18	10	6
CV 115 m	116	42	19	14	11	6	6
CV 85 m	97	22	9	7	4	5	6
CV 55 m	71	19	10	8	5	5	5

Analisando os Quadros até sexta coluna, a qual representa o intervalo de tempo no qual deveria ter sido finalizada a injeção do fertilizante, observa-se que os coeficientes de variação (CV) para o comprimento total das linhas laterais possuem valores ainda altos, 16%, 25%, 39% e 48 % para os tempos de 25, 20, 15 e 10 minutos respectivamente. Nota-se que os valores de CV, demonstrando a variabilidade espacial do K, decrescem dos comprimentos maiores para os menores.

O Quadro 14 demonstra os valores de CUC para distribuição de potássio. O tempo de 25 minutos de injeção apresentou um CUC de 90 %, perfeitamente aceitável para um sistema de irrigação por gotejamento, contudo caso o tempo de injeção fosse prolongado poderia ser obtido um CUC tal qual o que o sistema apresentou para água, ou seja, 96 %.

Quadro 14 Valores de CUC (%) para distribuição de potássio quando utilizado o injetor venturi.

Tempo (minutos)			
25	20	15	10
90	83	71	64

Por meio de Gráficos de dispersão (Figura 11) foi estudado o comportamento temporal do coeficiente de variação das quantidades de K aplicadas para os diferentes instantes de coleta. A equação de regressão potencial foi a que melhor representou os dados plotados para os diferentes tratamentos, independente do injetor utilizado. O Quadro 15 exibe as equações e o r-quadrado (R^2) para os tratamentos com o injetor venturi, Y representa o CV para quantidade de potássio aplicada e X o período de amostragem. A partir da equação gerada para cada tempo de injeção e para cada comprimento de linha, procurou-se determinar o decréscimo do CV minuto a minuto (Quadro 16). A variação do CV para os diferentes instantes foi determinada subtraindo-se o CV do instante desejado do CV calculado para o instante anterior.

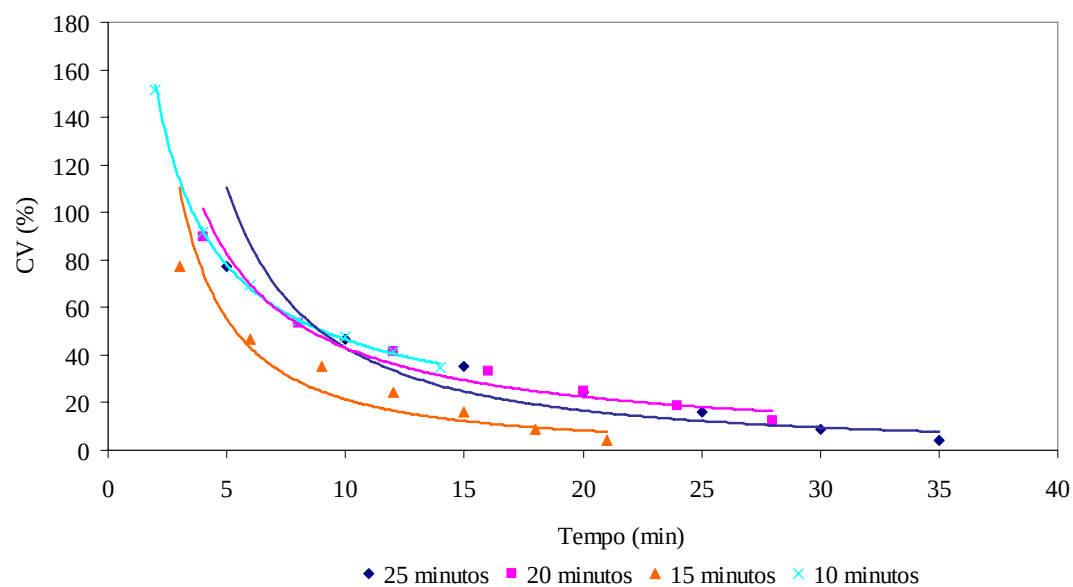


Figura 9 Coeficiente de variação (CV %) para quantidade de K (mg) em função dos diferentes tempos de amostragem para o injetor venturi.

Quadro15 Equações ajustadas e R^2 para os tratamentos com o injetor venturi.		
Tempo (minutos)	Equação	R^2
25	$Y=995,71X^{-0,8568}$	0,8568
20	$Y=374,11X^{-0,9386}$	0,9433
15	$Y=214,89X^{-0,9619}$	0,9619
10	$Y=257,18X^{-0,7426}$	0,9972

Quadro 16 Decréscimo do CV ao longo do tempo para a quantidade aplicada de potássio pelo injetor venturi em 200 metros de linha lateral.

Tempo (minutos)	25 minutos		20 minutos		15 minutos		10 minutos	
	Y (CV%)	Variação	Y (CV%)	Variação	Y (CV%)	Variação	Y (CV%)	Variação
8	58,3		53,1		54,5		54,9	
9	49,6	8,7	47,6	5,6	50,4	4,1	50,3	4,6
10	43,0	6,6	43,1	4,5	47,0	3,4	46,5	3,8
11	37,7	5,2	39,4	3,7	44,2	2,9	43,3	3,2
12	33,5	4,2	36,3	3,1	41,7	2,5	40,6	2,7
13	30,0	3,5	33,7	2,6	39,6	2,1	38,3	2,3
14	27,2	2,9	31,4	2,3	37,7	1,9	36,2	2,0
15	24,7	2,4	29,5	2,0	36,0	1,7	34,4	1,8
16	22,6	2,1	27,7	1,7	34,5	1,5	32,8	1,6
17	20,8	1,8	26,2	1,5	33,2	1,4	31,4	1,4
18	19,3	1,6	24,8	1,4	31,9	1,2	30,1	1,3
19	17,9	1,4	23,6	1,2	30,8	1,1	28,9	1,2
20	16,7	1,2	22,5	1,1	29,8	1,0	27,8	1,1
21	15,6	1,1	21,5	1,0	28,8	0,9	26,8	1,0
22	14,7	1,0	20,6	0,9	28,0	0,9	25,9	0,9
23	13,8	0,9	19,7	0,8	27,2	0,8	25,1	0,8
24	13,0	0,8	18,9	0,8	26,4	0,8	24,3	0,8
25	12,3	0,7	18,2	0,7	25,7	0,7	23,6	0,7

Para comprimento os 200 metros de comprimento das linhas de irrigação, nota-se no Quadro 16 e na Figura 9 que a variação do CV para os tempos de 25 e 20 minutos de injeção encontrava-se muito pequena, aproximadamente uma unidade, tendendo ficar constante; enquanto para os tempos de 15 e 10 minutos de injeção foram obtidas variações de aproximadamente 1,7 a 3,8 unidades de CV. Para esses últimos dois tempos o CV passou a ter uma menor amplitude de valores entre dois tempos consecutivos somente a partir dos 20 minutos de iniciado o processo de injeção.

6.6 Bomba injetora elétrica Multifertic

Durante a condução dos ensaios calibrou-se a bomba injetora elétrica Multifertic para uma taxa de injeção de 100 L h^{-1} , conforme é preconizado no manual; todavia observou-se que a taxa de injeção real foi superior, encontrando-se na faixa de 112 L h^{-1} .

6.6.1 Concentrações de potássio

Em praticamente todos os ensaios percebeu-se a finalização da injeção antes do tempo determinado uma vez que, as concentrações de K começaram a decair um intervalo de amostragem antes do previsto (Quadros 17, 18, 19 e 20).

Observou-se também que as concentrações médias de potássio determinadas para bomba injetora Multifertic foram sempre inferiores quando comparadas com o injetor venturi, sendo que para o tempo de injeção de 10 minutos foi verificada a maior amplitude de valores 11,2 unidades.

Analisando os Quadros 17, 18, 19 e 20 constatou-se ainda que a concentração do fertilizante aumentou gradativamente com o deslocamento nas linhas de irrigação, o que também foi observado nos ensaios com os demais injetores.

Quadro 17 Valores da concentração de K (mg L^{-1}) quando aplicado durante 25 minutos com o injetor Multifertic.

Distância (m)	Período (minutos)	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35
5		41	51	53	49	32	8	4
30		39	41	46	45	29	7	7
55		28	44	45	45	37	3	1
85		20	46	45	46	37	4	2
115		9	41	49	49	41	19	2
145		8	44	48	50	50	20	8
170		2	26	46	46	45	33	4
200		3	2	10	32	42	44	41
Média geral		30						

Quadro 18 Valores da concentração de K (mg L^{-1}) quando aplicado durante 20 minutos com o injetor Multifertic.

Distância (m)	Período (minutos)	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24	24-28
5		34	47	46	46	27	1	1
30		35	35	36	43	31	17	13
55		24	46	47	49	35	8	3
85		22	51	53	53	45	7	1
115		9	50	47	48	49	12	0
145		1	37	45	53	52	30	5
170		5	19	52	49	49	40	8
200		3	3	3	27	45	48	49
Média geral		30						

Quadro 19 Valores da concentração de K (mg L^{-1}) quando aplicado durante 15 minutos com o injetor Multifertic.

Distância (m)	Período (minutos)	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21
5		42	81	79	86	59	6	4
30		29	70	73	75	47	5	3
55		20	65	68	68	55	7	3
85		4	65	66	68	63	15	4
115		2	46	67	69	69	31	3
145		1	25	67	68	69	53	10
170		2	3	55	68	68	66	32
200		3	2	1	5	39	61	68
Média geral		41						

Quadro 20 Valores da concentração de K (mg L^{-1}) quando aplicado durante 10 minutos com o injetor Multifertic.

Distância (m)	Período (minutos)	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14
5		55	96	95	78	34	2	1
30		49	73	73	68	54	16	20
55		24	86	88	95	64	15	5
85		7	81	98	97	79	18	3
115		1	44	94	97	92	42	3
145		1	6	67	96	100	82	28
170		2	2	11	75	100	100	81
200		3	2	2	2	2	8	39
Média geral		50						

6.6.2 Quantidade de potássio

Assim como para o injetor venturi também foi estimada a quantidade de K aplicado, o coeficiente de variação (CV) e o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para os tratamentos com a bomba injetora Multifertic (Quadros 21, 22, 23, 24 e 25).

Pode-se verificar que os coeficientes de variação para os tempos de injeção estudados, tiveram seus valores reduzidos proporcionalmente com o aumento do tempo amostrado e inversamente ao comprimento da linha lateral, como o observado por diversos autores.

Verificou-se que o tempo de avanço do fertilizante para esse injetor foi de aproximadamente 15 minutos, devido ao aumento da quantidade de potássio nesse período na extremidade final da linha de irrigação.

Quadro 21 Quantidades de K (mg) aplicado durante o ensaio de 25 minutos com a bomba injetora Multifertic e avaliação da uniformidade de distribuição por período de coleta.

Distância (m)	Período (minutos)						
	0-5	0-10	0-15	0-20	0-25	0-30	0-35
5	27	61	96	129	151	156	158
30	26	53	84	114	134	138	142
55	18	48	78	107	132	134	135
85	13	44	74	104	129	131	133
115	6	33	66	98	125	137	139
145	5	34	66	99	132	146	151
170	1	18	49	79	109	131	134
200	2	3	9	31	59	88	116
CV 200 m	85	52	41	31	23	15	9
CV 170 m	75	34	21	15	9	6	7
CV 145 m	60	24	15	11	7	6	7
CV 115 m	49	22	15	11	7	7	7
CV 85 m	31	15	12	10	7	8	8
CV 55 m	20	12	11	9	7	8	8

Quadro 22 Quantidades de K (mg) aplicado durante o ensaio de 20 minutos com a bomba injetora Multifertic e avaliação da uniformidade de distribuição por período de coleta.

Distância (m)	Período (minutos)						
	0-4	0-8	0-12	0-16	0-20	0-24	0-28
5	18	43	68	92	106	107	107
30	19	37	56	79	96	105	112
55	13	37	63	89	108	112	113
85	11	39	67	95	119	122	123
115	5	31	57	82	108	115	115
145	1	20	44	72	100	116	119
170	2	13	40	66	92	113	117
200	2	3	5	19	43	68	94
CV 200 m	83	51	42	33	24	16	8
CV 170 m	75	35	19	13	9	5	4
CV 145 m	65	23	15	10	7	6	5
CV 115 m	43	11	9	8	8	6	5
CV 85 m	24	7	8	8	9	7	6
CV 55 m	19	9	9	8	6	3	3

Quadro 23 Quantidades de K (mg) aplicado durante o ensaio de 15 minutos com a bomba injetora Multifertic e avaliação da uniformidade de distribuição por período de coleta.

Distância (m)	Período (minutos)						
	0-3	0-6	0-9	0-12	0-15	0-18	0-21
5	17	49	81	115	139	141	143
30	11	39	68	98	117	119	120
55	8	34	61	88	110	113	114
85	2	28	54	82	107	113	114
115	1	19	46	74	101	114	115
145	1	11	38	65	93	114	118
170	1	2	24	51	78	104	117
200	1	2	2	4	20	44	71
CV 200 m	122	76	54	47	37	26	17
CV 170 m	116	64	36	26	18	10	8
CV 145 m	104	46	27	21	14	9	9
CV 115 m	88	34	22	18	13	10	10
CV 85 m	67	24	17	15	12	11	11
CV 55 m	38	19	14	14	12	12	12

Quadro 24 Quantidades de K (mg) aplicado durante o ensaio de 10 minutos com a bomba injetora Multifertic e avaliação da uniformidade de distribuição por período de coleta.

Distância (m)	Período (minutos)						
	0-2	0-4	0-6	0-8	0-10	0-12	0-14
5	15	40	66	86	95	96	96
30	13	33	52	70	84	89	94
55	6	29	53	78	95	99	100
85	2	23	50	75	96	101	102
115	0	12	37	63	87	98	99
145	0	2	20	45	72	94	101
170	1	1	4	24	51	77	99
200	1	1	2	2	3	5	15
CV 200 m	128	89	68	53	44	39	34
CV 170 m	119	77	54	34	20	9	3
CV 145 m	106	61	34	21	11	5	3
CV 115 m	90	39	20	12	6	5	3
CV 85 m	66	23	13	9	6	6	4
CV 55 m	38	17	14	10	7	6	3

Comparando as quantidades de potássio nos últimos intervalos amostrados nos tratamentos com o injetor venturi e com a bomba injetora Multifertic, percebe-se que as quantidades médias obtidas para a bomba Multifertic foram menores. Autores como Souza et al. (1997), Sampaio et al. (1996) e Alves (1992) recomendam que na realização de trabalhos cujo objetivo seja estudar a distribuição temporal e espacial do fertilizante, colete-se todo o volume aplicado pelo emissor, a fim de se inferir corretamente sobre a quantidade de nutriente aplicada. No presente trabalho não foi seguida essa recomendação, uma vez que seria inviável devido ao grande número de amostras coletadas, aproximadamente 10700. A quantidade média aplicada foi determinada a partir da vazão esperada do gotejador para aquele intervalo, o que pode ter ocasionado essa diferenciação de valores entre os dois injetores utilizados.

Analisando os Coeficientes de uniformidade de Christiansen para os tratamentos com a bomba injetora Multifertic (Quadro 25) observou-se que não foi atingido, para os 200 metros de comprimento das linhas laterais, valores próximos ao alcançado para distribuição de água no sistema, que seria o ideal, apesar de se notar que para os tempos de 25 e 20 minutos de injeção os coeficientes calculados poderiam ser adotados dentro de um planejamento de fertirrigação / irrigação da cultura. Nota-se também que os valores obtidos foram próximos aos mensurados para o injetor venturi, mesmo notando diferenças nas taxas de injeção desses equipamentos.

Vale salientar ainda que as bombas elétricas como a Multifertic usada nos ensaios, possibilitam a calibração da taxa de injeção independente das características do sistema, podendo facilmente adequar o período de injeção do fertilizante a uniformidade pretendida.

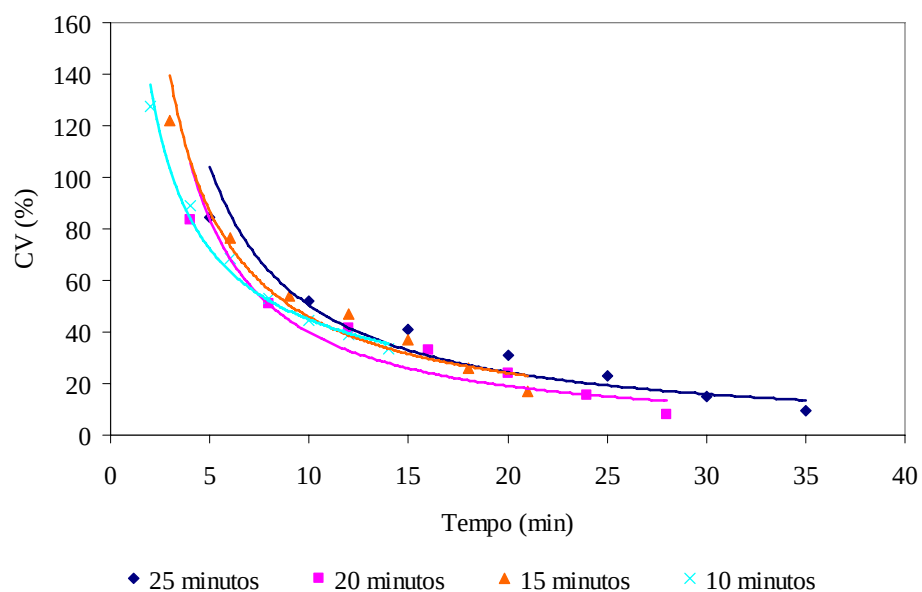
Quadro 25 Valores de CUC (%) para distribuição de potássio quando utilizada a bomba injetora Multifertic.

Tempo (min)			
25	20	15	10
84	85	75	68

O comportamento temporal dos coeficientes de variação das quantidades de potássio calculadas para diferentes intervalos nos tratamentos com a bomba injetora Multifertic é apresentado no gráfico de dispersão (Figura 10). Como o relatado para o injetor venturi, foram gerados a partir de equações potenciais (Quadro 26) valores decrescentes do coeficiente de variação, minutos a minutos, das quantidades de potássio aplicadas pela bomba elétrica (Quadro 27).

Os valores obtidos para os coeficientes de variação (CV) demonstraram valores muito próximos aos encontrados para o injetor venturi. Exemplificando para o tempo de 25 minutos não houve praticamente variação sendo de somente 0,1 unidade. Esse fato evidencia que apesar da variação na quantidade de fertilizante final aplicada entre os dois injetores, a variação de uniformidade entre a aplicação com os dois injetores praticamente inexistiu.

A Figura 10 possibilita ainda a visualização do comportamento da uniformidade de distribuição do fertilizante para diferentes comprimentos de linha lateral.



B

Figura 10

Coeficiente de variação (CV %) para quantidade de K (mg) em função dos diferentes tempos de amostragem para a bomba injetora Multifertic.

Quadro 26 Equações ajustadas e R^2 para os tratamentos com a bomba injetora Multifertic

Tempo (minutos)	Equação	R^2
25	$Y=561,28X^{-1,047}$	0,9042
20	$Y=462,61X^{-1,0647}$	0,8544
15	$Y=385,88X^{-0,9251}$	0,9326
10	$Y=219,89X^{-0,6912}$	0,9890

Quadro 27 Decréscimo do CV ao longo do tempo para a quantidade aplicada de potássio pela bomba injetora Multifertic em 200 metros de linha lateral.

Tempo (minutos)	25 minutos		20 minutos		15 minutos		10 minutos	
	Y (CV%)	Variação	Y (CV%)	Variação	Y (CV%)	Variação	Y (CV%)	Variação
8	63,6		50,5		56,4		52,2	
9	56,2	7,4	44,6	6,0	50,5	5,8	48,2	4,1
10	50,4	5,9	39,9	4,7	45,9	4,7	44,8	3,4
11	45,6	4,8	36,0	3,8	42,0	3,9	41,9	2,9
12	41,6	4,0	32,8	3,2	38,7	3,2	39,5	2,4
13	38,3	3,3	30,1	2,7	36,0	2,8	37,3	2,1
14	35,4	2,9	27,9	2,3	33,6	2,4	35,5	1,9
15	32,9	2,5	25,9	2,0	31,5	2,1	33,8	1,7
16	30,8	2,2	24,2	1,7	29,7	1,8	32,4	1,5
17	28,9	1,9	22,7	1,5	28,1	1,6	31,0	1,3
18	27,2	1,7	21,3	1,3	26,6	1,4	29,8	1,2
19	25,7	1,5	20,1	1,2	25,3	1,3	28,7	1,1
20	24,4	1,3	19,1	1,1	24,1	1,2	27,7	1,0
21	23,2	1,2	18,1	1,0	23,1	1,1	26,8	0,9
22	22,1	1,1	17,2	0,9	22,1	1,0	26,0	0,8
23	21,1	1,0	16,4	0,8	21,2	0,9	25,2	0,8
24	20,1	0,9	15,7	0,7	20,4	0,8	24,4	0,7
25	19,3	0,8	15,0	0,7	19,6	0,8	23,8	0,7

6.7 Bomba injetora hidráulica proporcional Dosmatic

Durante os ensaios com a bomba Dosmatic fez-se necessário diminuir duas linhas laterais do sistema de irrigação, como forma de adequar a vazão do sistema a vazão máxima permissível para a utilização do equipamento que é de 6700 L h^{-1} . Calibrou-se o equipamento para trabalhar com uma taxa de diluição de 53:1, visando injetar os mesmos volumes de solução dos equipamentos anteriormente testados. A redução na razão de diluição, de aproximadamente 80:1, para a bomba injetora Multifertic e para o injetor venturi (Quadro 28), ocasionaram valores mais elevados de concentração e quantidade de K nos ensaios com a bomba Dosmatic.

Quadro 28 Taxa de diluição calculada para os diferentes tratamentos.

Injetor	Tempo (minutos)			
	25	20	15	10
Injetor Venturi e Multifertic	80:1	80:1	78:1	78:1
Dosmatic	53:1	53:1	53:1	53:1

6.7.1 Concentração de potássio

Em todos os tempos de injeção o sexto intervalo de coleta deveria ser o ponto no qual a concentração de fertilizante começaria a decrescer, principalmente nos primeiros cinco metros das linhas laterais do sistema, demonstrando o final da injeção da solução no sistema. Analisando os Quadros 29 a 32, visualiza-se que houve decréscimo de concentração sempre no quinto intervalo de coleta. Levando em consideração que a vazão do sistema não apresentou variações consideráveis durante os ensaios, pode-se inferir que esse comportamento pode ter sido devido a uma falta de calibração da bomba, que segundo o fabricante deveria ser realizado quando há desgastes decorrentes da utilização do

equipamento, que não era o caso da injetora utilizada a qual encontrava-se nova. Vale enfatizar que a operação de calibração do equipamento é uma prática fácil e simples de ser realizada.

Assim como o observado para o injetor venturi e a bomba injetora Multifertic, os valores de concentração aumentaram ao longo do comprimento das linhas laterais.

No Quadro 32, referente a injeção de fertilizante com a bomba Dosmatic durante 10 minutos, foi possível observar influência do ensaio anterior no final das linhas laterais, no intervalo de 0 a 2 minutos o valor encontrado foi superior ao esperado. Entretanto nota-se que não houve interferência no resultado final daquele tratamento, pois nos intervalos posteriores, naquele ponto, o sistema é lavado aproximadamente até o intervalo de 6 minutos, voltando a ter aumentado os valores de concentração no intervalo de 10 a 12 minutos como o observado com os outros injetores.

Quadro 29 Valores da concentração de K (mg L^{-1}) quando aplicado durante 25 minutos com a bomba injetora Dosmatic.

Distância (m)	Período (minutos)	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35
5		60	69	68	68	59	17	2
30		49	62	72	70	59	27	12
55		46	69	69	66	60	26	2
85		39	70	70	70	66	29	3
115		29	73	70	67	67	39	7
145		16	71	69	71	70	49	11
170		3	58	68	70	67	59	22
200		2	2	35	64	62	67	63
Média geral		52,8						

Quadro 30 Valores da concentração de K (mg L^{-1}) quando aplicado durante 20 minutos com a bomba injetora Dosmatic.

Distância (m)	Período (minutos)	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24	24-28
5		75	89	94	91	83	11	5
30		60	82	97	97	85	32	16
55		60	93	95	92	87	28	2
85		43	86	93	95	94	46	3
115		31	89	97	93	90	61	11
145		6	90	95	100	93	74	11
170		2	55	95	92	95	82	38
200		2	2	16	71	83	91	91
Média geral		64,1						

Quadro 31 Valores da concentração de K (mg L^{-1}) quando aplicado durante 15 minutos com a bomba injetora Dosmatic.

Distância (m)	Período (minutos)	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21
5		85	115	116	120	109	36	4
30		67	102	149	126	112	64	17
55		66	113	114	113	101	56	7
85		37	103	119	119	116	80	16
115		12	102	116	120	116	93	24
145		18	76	118	116	120	113	48
170		9	22	98	116	118	118	87
200		5	3	7	22	75	103	112
Média geral		79,8						

Quadro 32 Valores da concentração de K (mg L^{-1}) quando aplicado durante 10 minutos com a bomba injetora Dosmatic.

Distância (m)	Período (minutos)	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14
5		98	161	143	169	147	103	5
30		66	156	170	169	166	92	28
55		33	166	163	165	154	117	31
85		4	128	163	173	171	154	77
115		16	68	160	161	166	161	93
145		3	6	132	171	167	167	145
170		4	3	31	127	166	164	155
200		10	6	4	3	3	27	54
Média geral		102,6						

6.7.2 Quantidade de potássio

Os Quadros 33, 34, 35 e 36 apresentam os valores de K e os coeficientes de variação calculados para diferentes períodos de amostragem nos tratamentos com a bomba injetora Dosmatic.

Conforme já mencionado, as quantidades aplicadas de potássio nos diversos pontos do sistema de irrigação com a bomba injetora Dosmatic foram superiores. Assim como relatado para o injetor venturi e para bomba injetora Multifertic, a quantidade aplicada de potássio nas linhas laterais aumentou com o transcorrer do período de aplicação. Os valores de coeficiente de variação obtidos com o uso desse injetor apresentaram também valores aproximados dos encontrados para os injetores já citados, para o tempo de 15 minutos de injeção no período de amostragem de 0 a 15 minutos no comprimento de 200 m, o CV encontrava-se em 33% para o injetor em questão, 39% para o injetor venturi e 37% para a bomba injetora Multifertic.

Como era esperado o tempo de 25 minutos de injeção apresentou os menores coeficientes de variação em todos os equipamentos utilizados. Contudo analisando as quantidades de potássio aplicadas nos 200 metros de comprimento das linhas laterais pela bomba injetora Dosmatic (Quadro 33), nota-se que quantidade aplicada no ponto situado a 200 metros corresponde a 51% do total recebido pelo ponto situado a 5 metros. Apesar dessa amplitude de valores diminuir com o decorrer do processo, os pontos situados no início das linhas tendem a receber mais fertilizante, contudo essa diferença talvez não aponte diferenças significativas de produção, uma vez que uma das maiores vantagens da fertirrigação é uma melhor eficiência de aproveitamento dos nutrientes pelas plantas.

Quadro 33 Quantidades de K (mg) aplicado durante o ensaio de 25 minutos com a bomba injetora Dosmatic e avaliação da uniformidade de distribuição por período de coleta.

Distância (m)	Período (minutos)						
	0-5	0-10	0-15	0-20	0-25	0-30	0-35
5	43	93	143	192	234	247	248
30	36	81	132	183	226	246	255
55	33	83	133	181	224	243	244
85	28	79	130	180	228	248	250
115	21	73	124	173	221	250	255
145	12	63	113	164	215	251	258
170	2	44	94	144	192	235	251
200	1	3	28	74	119	168	214
CV 200 m	71	45	33	24	18	12	6
CV 170 m	57	22	13	9	6	2	2
CV 145 m	39	13	8	5	3	1	2
CV 115 m	26	9	5	4	2	1	2
CV 85 m	17	8	4	3	2	1	2
CV 55 m	14	8	4	3	2	1	2

Quadro 34 Quantidades de K (mg) aplicado durante o ensaio de 20 minutos com a bomba injetora Dosmatic e avaliação da uniformidade de distribuição por período de coleta.

Distância (m)	Período (minutos)						
	0-4	0-8	0-12	0-16	0-20	0-24	0-28
5	40	88	138	187	231	237	239
30	32	76	128	180	225	242	250
55	32	82	132	181	228	243	244
85	23	69	118	169	219	243	244
115	16	64	116	166	213	246	252
145	3	51	102	155	204	244	250
170	1	30	81	130	181	224	245
200	1	2	11	49	93	141	190
CV 200 m	84	50	40	30	23	16	9
CV 170 m	71	30	17	12	8	3	2
CV 145 m	54	18	11	7	5	1	2
CV 115 m	32	13	7	5	3	1	2
CV 85 m	22	10	7	4	2	1	2
CV 55 m	13	7	4	2	1	1	2

Quadro 35 Quantidades de K (mg) aplicado durante o ensaio de 15 minutos com a bomba injetora Dosmatic e avaliação da uniformidade de distribuição por período de coleta.

Distância (m)	Período (minutos)						
	0-3	0-6	0-9	0-12	0-15	0-18	0-21
5	34	80	127	175	218	233	234
30	27	68	127	178	222	248	255
55	27	72	117	163	203	225	228
85	15	56	103	151	197	229	236
115	5	46	92	140	186	224	233
145	7	38	85	131	179	224	244
170	4	12	52	98	145	192	227
200	2	3	6	15	45	86	130
CV 200 m	84	59	47	41	33	25	17
CV 170 m	73	44	27	19	14	7	4
CV 145 m	62	27	17	12	8	4	4
CV 115 m	54	21	14	10	7	4	4
CV 85 m	31	15	9	7	6	4	5
CV 55 m	14	9	4	5	5	5	6

Quadro 36 Quantidades de K (mg) aplicado durante o ensaio de 10 minutos com a bomba injetora Dosmatic e avaliação da uniformidade de distribuição por período de coleta.

Distância (m)	Período (minutos)						
	0-2	0-4	0-6	0-8	0-10	0-12	0-14
5	26	69	107	152	191	219	220
30	18	59	105	150	194	218	226
55	9	53	97	140	182	213	221
85	1	35	79	125	170	211	232
115	4	22	65	108	152	195	220
145	1	2	38	83	128	172	211
170	1	2	10	44	88	132	173
200	3	4	5	6	7	14	28
CV 200 m	120	88	65	53	46	41	36
CV 170 m	116	78	51	35	24	17	9
CV 145 m	104	62	33	21	15	9	3
CV 115 m	89	39	20	14	10	5	2
CV 85 m	81	26	13	9	6	2	2
CV 55 m	49	13	5	4	3	2	1

Os coeficiente de Christiansen obtidos com a bomba injetora Dosmatic (Quadro 37) no comprimento total das linhas laterais foram sempre inferiores aos encontrados para a distribuição de água do sistema, fato já observado durante os ensaios com os injetores Venturi e Multifertic.

Observou-se ainda que os valores de CUC não variaram muito em comparação aos encontrados para os outros dois injetores utilizados. Sendo que taxa de diluição da solução injetada foi praticamente a única variável alterada com uso desse injetor, infere-se que essa não interferiu na uniformidade de distribuição do potássio.

Quadro 37 Valores de CUC (%) para distribuição de potássio quando utilizada a bomba injetora Dosmatic.

Tempo (min)			
25	20	15	10
88	84	77	65

Assim como apresentado para o injetor venturi e para a bomba elétrica Multifertic o comportamento temporal dos coeficientes de variação das quantidades de potássio calculadas para diferentes intervalos nos tratamentos com a bomba injetora Dosmatic são apresentados nos Gráficos de dispersão (Figura 11) e a variação minuto a minuto dos coeficientes de variação das quantidades de potássio aplicadas pelo injetor e suas respectivas equações são demonstradas nos Quadros 38 e 39.

A tendência de variação do CV expressa minuto a minuto para a quantidade de potássio aplicada pela bomba injetora Dosmatic mostrou-se muito próxima ao encontrado para os outros dois equipamentos testados.

O comportamento do coeficiente de variação ao longo do tempo demonstra ainda que assim como o verificado para os outros injetores estudados, a variação é

menor quanto maior é o intervalo de tempo considerado e quanto menor é o trecho estudado. Os valores encontrados para os diferentes tempos de injeção apresentaram-se próximos aos encontrados para os outros dois injetores estudados, apesar da diferença da taxa de diluição dos mesmos.

Quadro 38 Equações ajustadas e R^2 para os tratamentos com a bomba injetora Dosmatic .

Tempo (minutos)	Equação	R^2
25	$Y=596,03X^{-1,1562}$	0,8799
20	$Y=436,86X^{-1,0474}$	0,8913
15	$Y=215,32X^{-0,7377}$	0,9093
10	$Y=196,86X^{-0,6320}$	0,9906

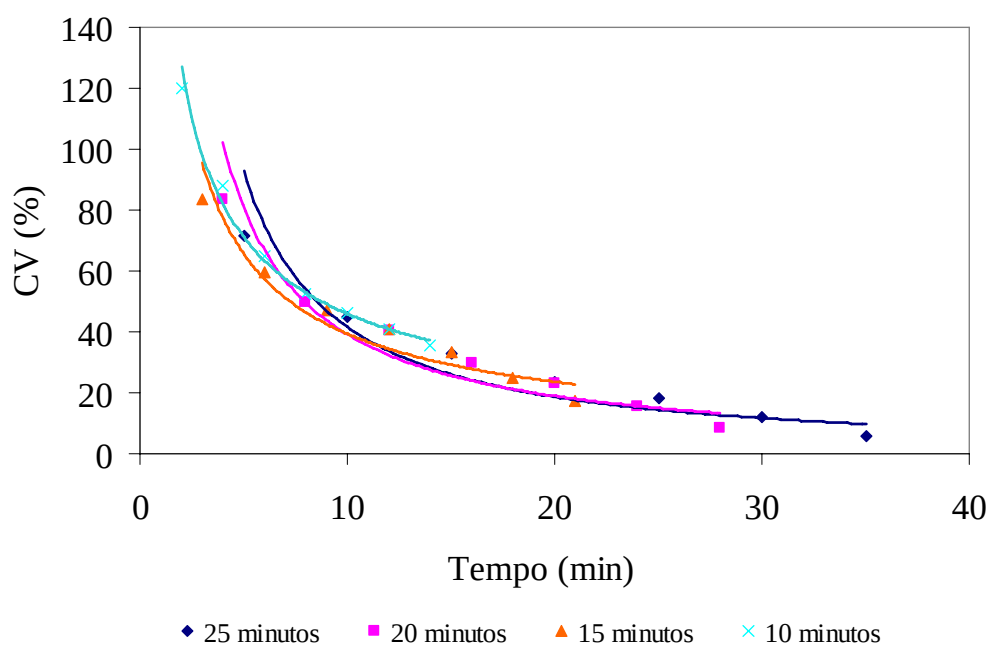


Figura 11 Coeficiente de variação (CV %) para quantidade de K (mg) em função dos diferentes tempos de amostragem para a bomba injetora hidráulica proporcional Dosmatic.

Quadro 39 Decréscimo do CV ao longo do tempo para a quantidade aplicada de potássio pela bomba injetora Dosmatic em 200 metros de linha lateral.

Tempo (minutos)	25 minutos		20 minutos		15 minutos		10 minutos	
	Y (CV%)	Variação	Y (CV%)	Variação	Y (CV%)	Variação	Y (CV%)	Variação
8	53,8		49,5		46,4		52,9	
9	47,0	6,9	43,7	5,7	42,6	3,9	49,1	3,8
10	41,6	5,4	39,2	4,6	39,4	3,2	45,9	3,2
11	37,3	4,3	35,4	3,7	36,7	2,7	43,3	2,7
12	33,7	3,6	32,4	3,1	34,4	2,3	40,9	2,3
13	30,7	3,0	29,8	2,6	32,5	2,0	38,9	2,0
14	28,2	2,5	27,5	2,2	30,7	1,7	37,1	1,8
15	26,0	2,2	25,6	1,9	29,2	1,5	35,6	1,6
16	24,2	1,9	23,9	1,7	27,8	1,4	34,1	1,4
17	22,5	1,6	22,5	1,5	26,6	1,2	32,8	1,3
18	21,1	1,4	21,2	1,3	25,5	1,1	31,7	1,2
19	19,8	1,3	20,0	1,2	24,5	1,0	30,6	1,1
20	18,7	1,1	19,0	1,0	23,6	0,9	29,6	1,0
21	17,6	1,0	18,0	0,9	22,8	0,8	28,7	0,9
22	16,7	0,9	17,2	0,9	22,0	0,8	27,9	0,8
23	15,9	0,8	16,4	0,8	21,3	0,7	27,1	0,8
24	15,1	0,8	15,7	0,7	20,6	0,7	26,4	0,7
25	14,4	0,7	15,0	0,7	20,0	0,6	25,7	0,7

6.8 Considerações gerais

De acordo com o observado para os três equipamentos ensaiados houve um aumento de concentração de potássio durante todo os tempos de injeção estudados. Tal fato esta de acordo com o observado por Sampaio (1995), Alves (1992) e Zanini (1987) que trabalharam com uniformidade de distribuição de fertilizante em irrigação localizada com injeção de fertilizante via tanque de derivação de fluxo e bomba injetora. Contudo como os tempos analisados no presente trabalho foram curtos se comparados aos testados pelos autores acima citados, praticamente não se observou um intervalo significativo no qual a concentração de potássio permaneceu constante para um mesmo trecho da linha de irrigação.

Verificou-se ainda que para todos os tratamentos estudados o potássio alcançou o final das linhas laterais aproximadamente 12 minutos após ter sido iniciado o processo de injeção, evidenciando que a velocidade de caminhamento independeu do tipo de injeção como o relatado por Sampaio (1995) e Zanini (1987). Tal observação corrobora com o item 5.2, no qual estimou-se que seria necessário 12 minutos para a água percorresse todo comprimento de uma linha lateral. Apesar de ter-se notado pequenas variações na taxa de injeção dos equipamentos, essas não foram suficientes para alterar o avanço do fertilizante na linha, como o observado por Souza et al. (1997) e divergente do relatado por Sampaio (1995) que trabalhando com taxas de injeção diferenciadas notou que o fertilizante percorre mais rapidamente a linha lateral quando é aumentada a taxa de injeção, evidenciando que o movimento do adubo se dá principalmente através do fluxo de massa.

Observando os Quadros de distribuição da concentração para os diferentes tratamentos, pode-se relatar ainda que o tempo para estabilização da concentração é

variável em relação à distância do ponto de injeção, influenciando assim na uniformidade de distribuição do fertilizante como o relatado por Sousa et al. (2000).

As Figuras 12 e 13 comparam a quantidade de potássio aplicada durante todo o período de amostragem para todos os tempos de injeção. Observa-se que a bomba injetora Multifertic quando comparada com o injetor venturi aplicou menor quantidade de fertilizante, apesar dos valores serem muito próximos. Esse fato diverge do encontrado por Sampaio (1995) e Zanini (1987) que trabalhando com tanque de derivação de fluxo e bomba injetora evidenciaram que a quantidade aplicada não difere quanto ao sistema de injeção e sim somente ao volume injetado. A bomba injetora Dosmatic aplicou sempre mais fertilizante do que os outros dois injetores, uma vez que a taxa de diluição para esse injetor foi menor do que a apresentada para os outros injetores, conforme explicado no item 6.7.

As Figuras 12 e 13 demonstram ainda que a quantidade de potássio aplicada nos trechos finais das linhas de irrigação foi menor em relação a quantidade aplicada nos primeiros gotejadores, contudo caso a amostragem de solução continuasse, possivelmente esses valores tenderiam a se igualar, uma vez que os períodos de amostragem mais longos apresentaram valores com uma menor amplitude nos extremos das linhas laterais. A diferença máxima obtida quando se injetou o fertilizante durante dez minutos foi 87 %, enquanto para os tratamentos com 25 minutos de injeção a diferença máxima foi de 27 %. A variação espacial da quantidade de potássio aplicada nos diferentes tratamentos foi calculada observando-se os dados referentes a todo intervalo de coleta de amostras.

A comparação entre os valores apresentados de coeficiente de variação (CV) e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para os três injetores analisados, através da análise de variância, Quadros 40 a 43, demonstrou que não houve variação

significativa entre os valores obtidos, evidenciando que a variação de uniformidade é devida ao tempo de injeção e a distância a ser deslocada pelo fertilizante, em conformidade com o relatado por Hahn et al (1983).

Ainda comparando os valores dos coeficientes que analisaram a dispersão dos dados coletados durante o experimento e as quantidades de potássio aplicadas nos diferentes tempos, verificou-se que assim como o relatado por diversos autores como Holman (1978) e Alves (1992), para se obter uniformidade do fertilizante aplicado é preferível que a injeção seja realizada em intervalos mais longos, pois pode ocorrer aplicação de maiores quantidades de fertilizante nos primeiros emissores.

Considerando o objetivo principal do trabalho que foi indicar o menor tempo possível de injeção homogênea de fertilizantes, particularmente para satisfazer situações nas quais há necessidade do sistema de irrigação ser usado somente como meio de aplicação fertilizantes às plantas, e não como forma de suprir a demanda hídrica das culturas, sobretudo considerando situações de alta precipitação, pode-se aceitar um valor mínimo de 80% para o coeficiente de uniformidade de Christiansen, conforme relatado por Bernardo (1995) fazendo inferência à uniformidade de distribuição de água em irrigação localizada por gotejamento; apesar de se saber que o valor ótimo seria o valor correspondente a uniformidade de distribuição de água no sistema.

A injeção de fertilizante durante 20 minutos possibilitou atingir o limite mínimo de uniformidade, independente do injetor utilizado, contudo foi necessário que a irrigação continuasse funcionando para permitir que chegasse fertilizante aos extremos das linhas laterais, bem como para promover a limpeza do sistema. Verificou-se ainda que praticamente só no período de 20 a 28 minutos de iniciada a fertirrigação a concentração nos

últimos gotejadores tende a um valor constante, que devera decrescer até valores próximos a concentração natural da água utilizada. Admitindo 5 mg L^{-1} de K como um valor aceitável dessa concentração, infere-se analisando os Quadros 6 a 9, 17 a 20 e 29 a 32 que 145 metros das linhas laterais já se encontravam lavados nesse mesmo intervalo de tempo para a injetora Multifertic, assim como 85 metros para a injetora Dosmatic, os dados de concentração do injetor venturi não possibilitaram essa conclusão. O sistema deverá permanecer em operação, visando o decréscimo de concentração nos 55 metros restantes do sistema, por mais 10 minutos aproximadamente, estimados a partir dos dados do Quadro 4. Essa observação vai de encontro à recomendação de Keller e Karmeli (1975) e Medina San Juan (1998) de que seja reservado 20% do tempo de irrigação para lavagem da tubulação. Baseado nesse trabalho pode-se sugerir para o funcionamento desse sistema o tempo de 50 minutos de operação divididos em quatro partes:

- 1) Tempo de uniformização do sistema -12 minutos,
- 2) Tempo de injeção do fertilizante - 20 minutos,
- 3) Tempo para o fertilizante alcançar a concentração desejada na extremidade final do sistema após finalizada, exemplificando 50 mg L^{-1} e 90 mg L^{-1} para as injetoras Multifertic e Dosmatic respectivamente – 8 minutos,
- 4) Tempo necessário para a partir de alcançada a concentração desejada no ultimo ponto essa volte ao valor de 5 mg L^{-1} - 10 minutos.

De acordo com essa observação pode ser inferida a seguinte equação para cálculo do tempo necessário para finalização do ciclo de fertirrigação, de acordo com as características intrínsecas do sistema em questão, características essas que podem ser previsíveis de acordo com a realidade hidráulica de cada sistema:

$$T_f = H + T_i + C + T_l$$

Sendo:

T_f – tempo de fertirrigação (min);

H – tempo para estabilização do sistema (min);

T_i – tempo operação do injetor de fertilizante (min);

C – tempo para alcance da concentração pretendida nos extremos do sistema;

T_L – tempo necessário para a lavagem do intervalo final do sistema.

Assim como todo projeto de irrigação, o sistema no qual foi conduzido o experimento apresentou condições particulares de concepção, assim sendo os resultados e conclusões apresentadas são validas para esse sistema e para os injetores testados. Entretanto, há a viabilidade dessas informações serem extrapoladas para outras situações, contando que se façam possíveis ajustes, como por exemplo a velocidade inicial da água no sistema de irrigação, a fim de se conhecer o tempo necessário para fertilizante alcançar os diferentes pontos da malha de irrigação.

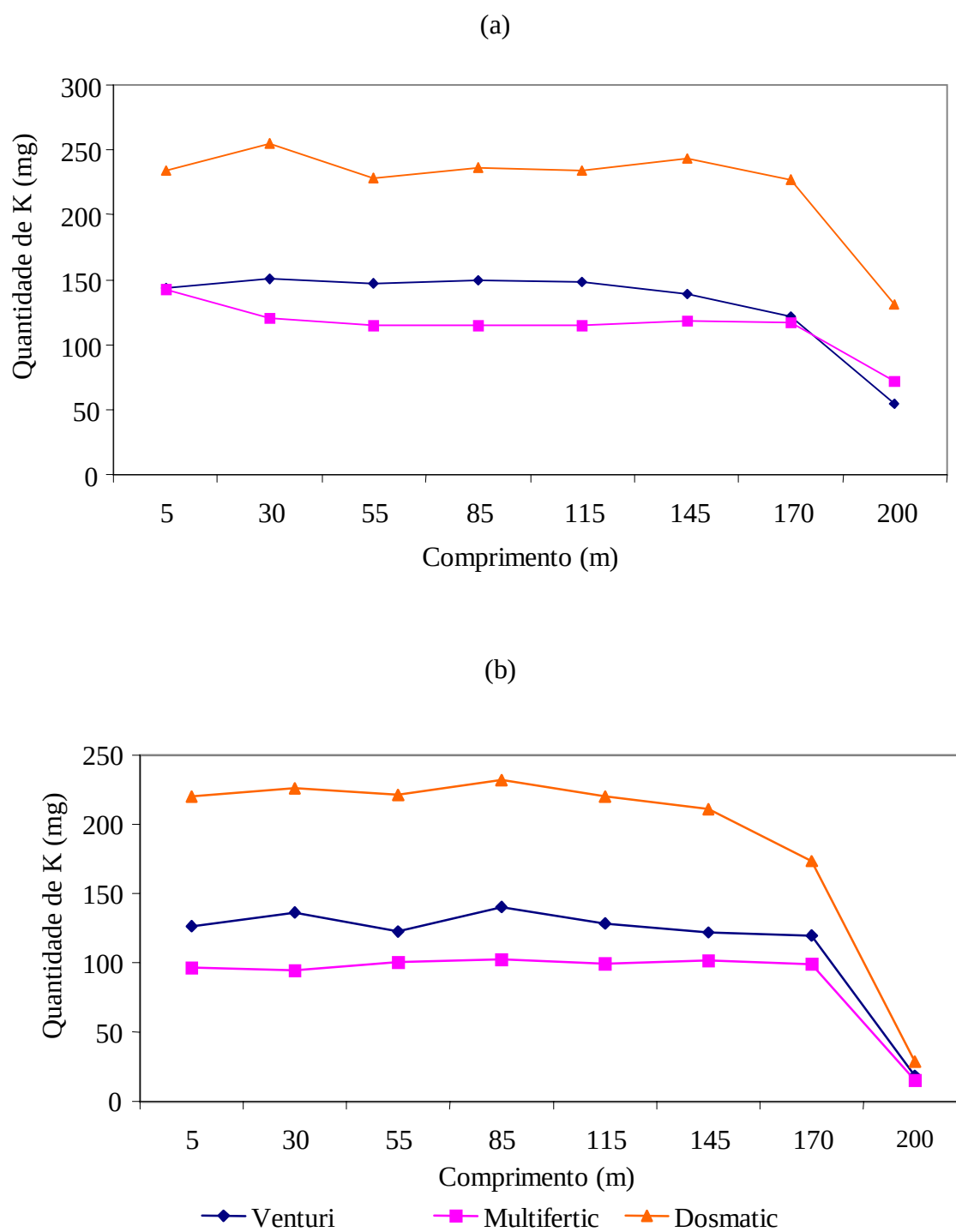


Figura 12

Variação da quantidade total de K aplicada durante os intervalos amostrados nos tratamentos com injeção durante 15 (a) e 10 minutos (b) para os três injetores.

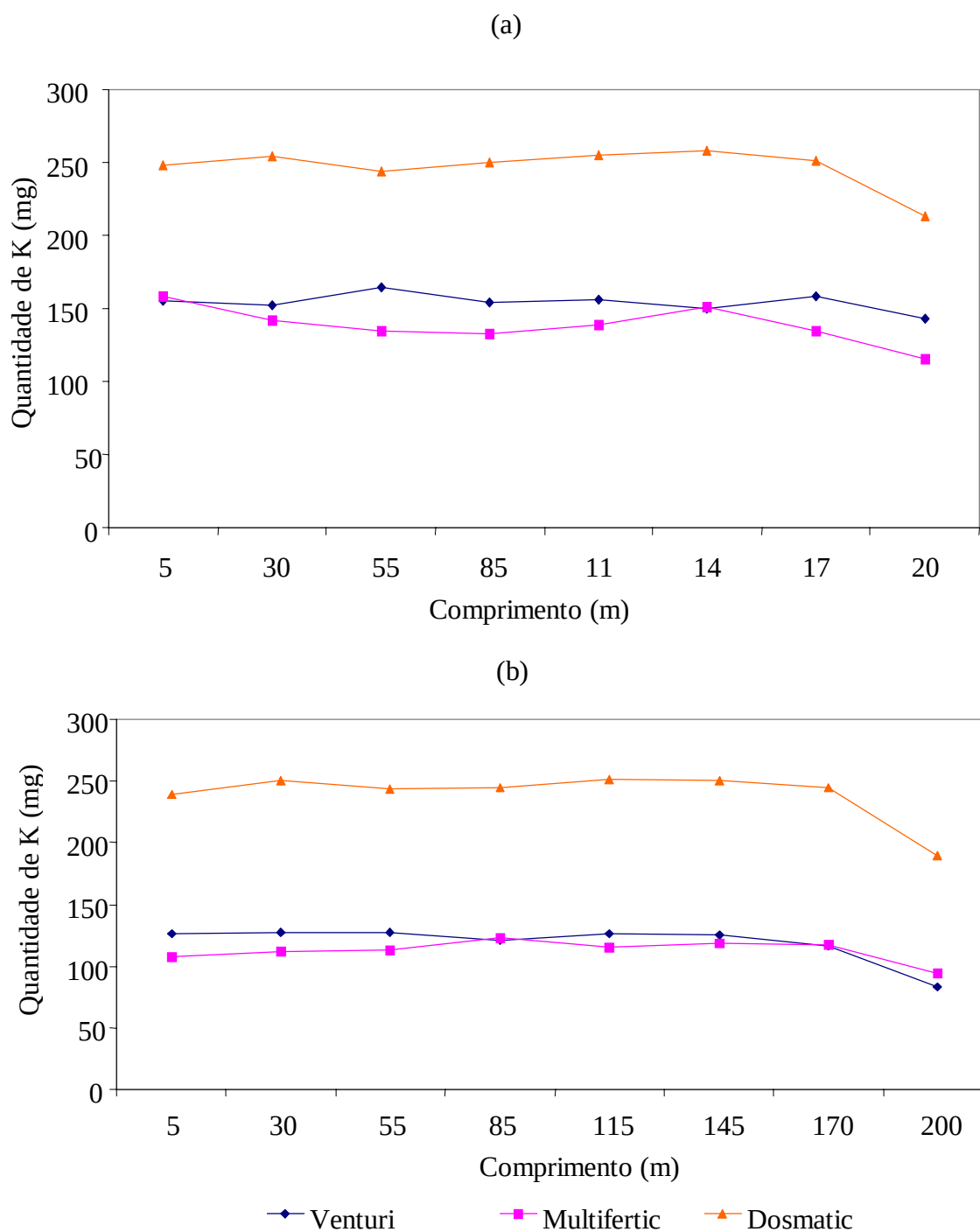


Figura 13

Variação da quantidade total de K aplicada durante os intervalos amostrados nos tratamentos com injeção durante 25 (a) e 20 minutos (b) para os três injetores.

Quadro 40 Resumo estatístico dos coeficientes de variação das quantidades de potássio aplicadas pelos injetores analisados durante 4 tempos de injeção.

Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância
Venturi	4	128	32	203,333
MF	4	128	32	104,667
Dosmatic	4	120	30	152,667

Quadro 41 Análise de variância dos coeficientes de variação das quantidades de potássio aplicadas pelos injetores analisados em diferentes tempos de injeção.

Fonte da variação	GL	SQ	QM	F	F crítico
Entre os grupos	2,0	10,7	5,3	0,035	4,256
Dentro dos grupos	9,0	1382,0	153,6		
Total	11,0	1392,7			

Quadro 42 Resumo estatístico dos CUC das quantidades de potássio aplicadas pelos injetores analisados durante 4 tempos de injeção.

Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância
Venturi	4	308	77	136,667
MF	4	312	78	64,667
Dosmatic	4	314	78,5	101,667

Quadro 43 Análise de variância dos CUC das quantidades de potássio aplicadas pelos injetores analisados em diferentes tempos de injeção.

Fonte da variação	GL	SQ	QM	F	F crítico
Entre os injetores	2,0	4,7	2,3	0,023	4,256
Dentro dos injetores	9,0	909,0	101,0		
Total	11,0	913,7			

7 CONCLUSÕES

- o Quanto menor a distância percorrida pelo fertilizante e mais longo o tempo de injeção, maior é a uniformidade de distribuição.
- o Os injetores utilizados não apresentaram diferença estatística quanto uniformidade de aplicação de fertilizantes.
- o O tempo mínimo de injeção de fertilizante foi de 20 minutos, para se obter um CUC de 80%; sendo 50 minutos o tempo total de funcionamento do sistema de irrigação / fertirrigação.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, J. M. H.; LÓPEZ, J. R.; REGALADO, A. P.; HERNÁNDEZ, J. F. G. **El riego localizado**. In: CURSO INTERNACIONAL DE RIEGO LOCALIZADO. Tenerife, España, 1987. p.61-72.
- ALVES, D. N. B. **Desempenho da bomba injetora e do tanque de derivação de fluxo na aplicação de cloreto de potássio em microaspersão**. 1992. 72 f. Dissertação- Escola Superior de Agricultura de Lavras. Lavras.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1995. 657 p.
- BURT, C.; O'CONNOR, K.; RUEHR, T. **Fertigation**. California, San Luis Obispo: The irrigation training research center. Polytechnic State University. 1995. 320 p.
- COSTA, E. F. **CURSO DE USO E MANEJO DA IRRIGAÇÃO, QUIMIGAÇÃO – APLICAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS VIA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO**. 4. Sete Lagoas. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: EMBRAPA - CNPMS, 1982. 29 p.

- DENÍCULI, W.; BERNARDO, S.; THIÉBAUT, J. T. L.; SEDIYAMA, G. C. **Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo, num sistema de irrigação por gotejamento.** Rev. Ceres, Viçosa, v.27, n.150, p.155-162, 1980.
- DOSATRON. Disponível em: <<http://WWW.DOSATRON.COM>>. Acesso em 13 de jan. de 2002.
- DOSMATIC. Disponível em: <<http://WWW.DOSMATIC.COM>>. Acesso em 13 de jan. de 2002.
- FEITOSA FILHO, J. C. **Otimização hidráulica e manejo de injetores tipo venturi duplo para fins de quimigação.** 1998. 164 f. Tese - Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba.
- FEITOSA FILHO, J. C. **Uniformidade de distribuição de fertilizantes via água de irrigação por microaspersão, com injetores tipo venturi e tanque de derivação.** 1990. 77 f. Dissertação- Universidade Federal de Viçosa. Viçosa.
- FEITOSA FILHO, J. C.; MEDEIROS, J. F; BOTREL, T. A.; PINTO, J. M. **Avaliação de um injetor tipo venturi funcionando com a água como fluido motriz e o ar como fluido motriz succionado com descarga submersa.** Rev. Irriga, v.2, n.1, p.68-75, 1997.
- FERREIRA, J. O. P.; FRIZZONE J. A.; BOTREL T. A. **Desempenho de um injetor de fertilizantes do tipo venturi para fins de fertirrigação.** Rev. Scientia Agrícola, Piracicaba, 53 (1), p. 105-113, 1996.
- FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A. **Aplicação de fertilizantes via água de irrigação.** In: BOARETTO, A. E; VITTI, G. C. Fertilizantes Fluidos. Piracicaba, 1994. v.1. p. 227-260.

- GROBBELAAR, H. L.; LOURENS, F. **Fertilizer applications with drip irrigation**. In: INTERNATIONAL DRIP IRRIGATION CONGRESS. Proceedings, San Diego. p. 405-410. 1974.
- HAHN, B. R.; BRALTS, V. F.; KESNER C. D. Uniform Fertilizer Application in Trickle Irrigation Systems. Summer Meeting of American Society of Agricultural Engineers, 1983. St. Joseph, Michigan.
- HERNANDEZ, F. B. T. **Potencialidades da fertirrigação**. In: BOARETTO, A. E.; VITTI, G. C. ed. Fertilizantes Fluidos. Piracicaba, 1994. v.1, p.215-225.
- HOLMAN, H. **Fertilizer and chemical injection for irrigation systems**. Citrus & Vegetable Magazine, Tampa, 41 (7): 26-28, 46-48, 1978.
- INJECTION TECHNICAL CONTROL INC. Disponível em: <<http://WWW.ITC.COM>>. Acesso em 26 de abril de 2001.
- KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. California, Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133 p.
- KUMBHANI, B. K.; KUMBHANI, N. K. **Steam jet ejector performance**. Disponível em: <http://www.exicom.org/cew/dec96/bharat.htm> . Acesso em 24 de Junho de 1998.
- LOPEZ CADAHIA, C. **Cálculo e preparo de soluções fertilizantes**. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F. F.; BRASIL, R. C.; SOUZA, R. S. Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças. v.2. ed. Gaíba: Agropecuária, 2001. p.145-162 .
- LOPEZ CADAHIA, C. **Fertirrigation cultivos hortícolas y ornamentales**. Madrid, Espanha: Mundi-Prensa, 1998. 513 p.
- LOPEZ, T. M. **Cabecal de riego**. In: LOPEZ, C. C. (coord.). Fertirrigation cultivos hortícolas y ornamentales. Madrid, Espanha: Mundi-Prensa, 1998. cap.6, p.247-263.

- MAGALHÃES, M. I.; TEIXEIRA, A. S.; FERREYRA, H. B. **Uniformidade de distribuição do fertilizante via fertirrigação, em um sistema de irrigação por gotejamento.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1996.
- MEDINA SAN JUAN, J. A. **Riego por goteo: Teoria e prática.** Madrid, Mundi Prensa, 1998. 461p.
- PAPADOPOULOS, I. **Fertilizantes em fertirrigação.** In: FOLEGATTI, M. V. Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças. 1. ed. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 11-140.
- PINTO, J. M.; SOARES, J. M.; NASCIMENTO, T. **Análise de coeficiente de uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação localizada.** In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8. Florianópolis, 1988. *Anais.* Florianópolis, Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 1988. v.1, p.309-26.
- PIZARRO, C. F. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación.** 3 ed. Madrid, Espanha, Mundi-Prensa, 1996. 513 p.
- RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** 2 ed. Campinas, Instituto Agrônômico: Fundação IAC, 1997. 285 p.
- ROLSTON, D. E.; MILLER, R. J.; SCHULBACH, H. **Management principales-fertilizacion.** In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D.A. Trickle Irrigation for Crops Production, Developments in Agricultural Engineering. 9. Amsterdam: Elsevier, 1986. 383 p.
- ROLSTON, D. E.; RAUSCHKOLB, R. S.; PHENE, C.; MILLER, R. J.; URIU, K.; CARLSO, R. M.; HANDERSON, D.W. **Applying nutrients and other chemicals to trickle-**

- irrigatec crops.** University of California: Division of agricultural Science, Bulletin, 1981. 14 p
- SAMPAIO, S. C **Distribuição do cloreto de potássio aplicado em linha de gotejadores por bomba injetora e tanque de derivação de fluxo.** 1995. 84 f. Tese: Agronomia (Irrigação e Drenagem)-Universidade Federal de Lavras. Lavras.
- SAMPAIO, S. C.; FARIA, M. A.; LIMA, L. A.; OLIVEIRA, M. S.; SILVA, A. M. **Distribuição espacial e temporal do cloreto de potássio aplicado em uma linha de gotejadores por bomba injetora e tanque de derivação de fluxo.** Engenharia Rural, Piracicaba, v.8, n.1, p.31-41, 1997.
- SHANI, M. **La fertilizacion combinada con el riego.** Israel: Ministério de Agricultura. 1981. 36 p.
- SHAW, E. J. **Western fertilizer handbook.** Soil improvment comité. Sacramento, California Fertilizer Association., 1961. 36 p.
- SILVESTER, R.; MUELLER, N. H. G. **Design data for the liquid-liquid jet pump.** Journal of Hydraulic Research, v.6, n.2, p.129-162, 1998.
- SOIL CONSERVATION SERVICE-USDA. **National engineering handbook.** Section 15, chapter 11- Sprinkler Irrigation, Washington, 1968. 83 p.
- SOUSA, A. P.; SOUSA, V. F. **Fertirrigação: tipos e seleção de produtos, aplicação e manejo.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA,12. Ilhéus, 1993. *Anais.* Ilhéus: Fundação Banco do Brasil, 1993. v.4, p.2529-2539.
- SOUSA, V. F.; CONCEIÇÃO M. A. F.; FOLEGATTI, M. V.; ALENCAR, C. M.; FRIZZONE, J. A.; CORRÊA, R. A. **Distribuição espacial e temporal de fertilizantes sob diferentes concentrações da solução inicial aplicada via água de irrigação por**

- gotejamento.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29, 2000, Fortaleza. XXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 2000.
- SOUZA, G. H. F.; NOGUEIRA, F. C.; MEDEIROS, J. F.; NETO, J. M. **Efeitos da variação da vazão do injetor de fertilizantes em diferentes tempos de aplicação na uniformidade de distribuição do adubo em irrigação por gotejamento.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1997.
- TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E. **Automação aplicada à fertirrigação** In: FOLEGATTI, M. V. Coord. Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças. v. 1. ed. Guaíba: Agropecuária, 1999. p.207-235.
- TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E. **Fertirrigação: técnicas e equipamentos para aplicação de fertilizantes.** In: SANTOS, C. M. Irrigação da Cafeicultura no Cerrado. Uberlândia, 2001, v.1, p.153-172.
- VILLAS BÔAS, R. L.; ANTUNES, C. L.; BOARETTO, A. E.; SOUSA V. F.; DUENHAS, L. H. **Perfil da pesquisa e emprego da fertirrigação no Brasil.** 2001. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F. F.; BRASIL, R. C.; SOUZA, R. S. Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças. v.2. ed. Gaíba: Agropecuária, 2001. p. 71-104.
- VILLAS BÔAS, R. L.; BULL, L. T.; FERNÁNDES, D. M. **Fertilizantes em fertirrigação.** In: FOLEGATTI, M. V. Coord. Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças. v. 1. ed. Guaíba: Agropecuária, 1999. p.293-319.
- ZANINI, J. R. **Hidráulica da fertirrigação por gotejamento utilizando o tanque de derivação de fluxo e bomba injetora.** 1987. 103 f. Tese: Agronomia (Irrigação e

Drenagem)-Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba.