**DESENVOLVIMENTO DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.)
SUBMETIDO A DIFERENTES LÂMINAS MÉDIAS DE ÁGUA
ATRAVÉS DA IRRIGAÇÃO POR SULCO**

MARCOS VINÍCIUS FOLEGATTI

Orientador: Prof. Dr. ANTONIO SANCHEZ DE OLIVEIRA

Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de
Mestre em Irrigação e Drenagem.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Fevereiro - 1985.

A meus pais
Francisco e Dircce
e a minha sogra Luíza
DEDICO.

À minha esposa Elisabete
e à meu filho Lucas,
OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela fê e perseverança concedidas em todos os momentos.

Ao Prof. Dr. Antonio Sanchez de Oliveira pela orientação, amizade e apoio recebidos no decorrer do curso e na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Rubens Scardua pelas valiosas sugestões e orientação.

Ao Prof. Ass. Tarlei Arriel Botrel pelo apoio e efetiva participação em todos os passos deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Antonio Fernando Lordelo Olitta pelas sugestões.

Ao Prof. Dr. Valdemar Antonio Demétrio pelo apoio e incentivo.

Aos Profs. Drs. Clarice Garcia Borges Demétrio e Decio Barbin pelo valioso auxílio na análise estatística.

Ao Prof. Dr. Rubens Angulo Filho pela colaboração nos desenhos.

Ao Prof. Dr. Decio Eugenio Cruciani pela colaboração prestada na elaboração do summary.

Ao Prof. Dr. Antonio Petta Chefe do Departamento de Engenharia Rural pelo apoio concedido.

Ao Prof. Dr. Octavio Nakano pelo auxílio no controle das pragas.

Ao Prof. Dr. Ricardo Victória Filho pelo auxílio no controle das ervas daninhas.

Ao Prof. Dr. Homero Bergamaschi da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela orientação na análise de crescimento da cultura.

Aos Estagiários Celso Luiz Rodrigues Vegro e Maria Raquel Pinto pela inestimável colaboração neste trabalho.

Ao Sr. Laudelino Polizel, funcionário do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ, pelo interesse e dedicação.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA, pela concessão da bolsa de estudos para a realização do Curso de Mestrado em Irrigação e Drenagem.

Ao Instituto Agrônomo de Campinas em nome do pesquisador Dr. Eduardo Bulisani pela doação das sementes.

A Indústria e Comércio de Fertilizantes, Agro-fertil S/A, em nome do Engº Agrº Rubens Francisco Teixeira pela doação do fertilizante nitrogenado.

Aos demais professores, colegas de curso e funcionários do Departamento de Engenharia Rural pelas sugestões e convívio amigo.

C O N T E Ú D O

	Página
RESUMO	xvi
SUMMARY	xviii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DA LITERATURA	3
2.1. Avaliação da Irrigação	3
2.2. Efeito da Irrigação na Cultura do Feijoeiro ...	8
2.3. Distribuição do Sistema Radicular do Feijoeiro	16
3. MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1. Local, Clima e Solo	17
3.2. Determinação dos Parâmetros do Solo	18
3.2.1. Granulometria e Densidade	18
3.2.2. Curva de Retenção e Água Disponível ...	19
3.2.3. Curvas e Equações de Avanço e de Infil- tração	19
3.3. Instalação do Experimento	22
3.3.1. Sistematização do Terreno para Irri- gação	22
3.3.2. Dados Meteorológicos	23
3.3.3. Suprimento de Água	23
3.3.4. Manejo da Irrigação	24
3.3.5. Tensiômetros	26
3.4. Delineamento Experimental	27
3.5. Cultura	29
3.5.1. Plantio e Tratos Culturais	29

	Página
3.5.2. Fenologia	31
3.5.3. Análise dos Parâmetros de Crescimento	31
3.6. Análise Estatística	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1. Curva de Avanço	34
4.2. Curva de Infiltração.....	37
4.3. Avaliação da Irrigação	37
4.4. Manejo da Irrigação	48
4.5. Análise de Crescimento	60
4.6. Parâmetros de Rendimento	64
4.6.1. Produtividade de Grãos	64
4.6.2. Número de Vagens por Planta	66
4.6.3. Número de Grãos por Vagem	70
4.6.4. Número de Nós por Planta	73
4.6.5. Número de Ramificações por Planta	74
4.6.6. Comprimento do Caule	76
4.6.7. Matéria Seca Total da Parte Aérea em Gramas por 10 Plantas	80
4.7. Acréscimo de Produção Devido a Irrigação - Análise Econômica	83
5. CONCLUSÕES	86
6. LITERATURA CITADA	88

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 - Granulometria, Classe Textural e Peso Específico Aparente	18
TABELA 2 - Valores Médios dos Tempos de Avanço da Água no Sulco de 120 m para as Vazões de 1,0 e 0,35 l/s.....	35
TABELA 3 - Dados Médios da Velocidade de Infiltração da Água no Solo para Vazão de 1,0 l/s.....	39
TABELA 4 - Dados Médios da Velocidade de Infiltração da Água no Solo para Vazão de 0,50 l/s.....	40
TABELA 5 - Dados Médios da Velocidade de Infiltração da Água no Solo para Vazão de 0,35 l/s.....	41
TABELA 6 - Valores da Lâmina de Irrigação para cada Estaca ao Longo do Sulco para os Tratamentos I, II e III.....	45
TABELA 7 - Eficiências de Armazenamento (Ear), de Aplicação (Ea) e de Distribuição (Ed) e Perdas por Percolação (Pp) e por Runoff (Pr).....	46
TABELA 8 - Valores Referentes à Produtividade Média de Grãos em kg/ha, para os Diferentes Tratamentos no Início, Meio e Final de Sulco.....	65

TABELA 9 - Análise Estatística em Blocos Casualizados com Sub-Parcelas em Classificação Hierárquica para Produtividade de Grãos sob Diferentes Tratamentos de Irrigação por Sulco.	67
TABELA 10- Número Médio de Vagens por Planta obtido no Início, Meio e Final do Sulco para Diferentes Tratamentos.....	68
TABELA 11- Análise Estatística em Blocos Casualizados com Sub-Parcelas em Classificação Hierárquica para Número de Vagens por Planta sob Diferentes Tratamentos de Irrigação por Sulco	69
TABELA 12- Número Médio de Grãos por Vagem obtidos no Início, Meio e Final do Sulco nos Diferentes Tratamentos.....	71
TABELA 13- Análise Estatística em Blocos Casualizados com Sub-Parcelas em Classificação Hierárquica para Número de Grãos por Vagem sob Diferentes Tratamentos de Irrigação por Sulco	72
TABELA 14- Número Médio de Nós por Planta obtido no Início, Meio e Final do Sulco, nos Diferentes Tratamentos.....	73

TABELA 15 - Análise Estatística em Blocos Casualizados com Sub-Parcelas em Classificação Hierárquica para Número de Nós por Planta sob Diferentes Tratamentos de Irrigação por Sulco.....	75
TABELA 16 - Número Médio de Ramificações por Planta obtido no Início, Meio e Final do Sulco nos Diferentes Tratamentos.....	76
TABELA 17 - Análise Estatística em Blocos Casualizados com Sub-Parcelas em Classificação Hierárquica para Número de Ramificações por Planta sob Diferentes Tratamentos de Irrigação por Sulco.....	77
TABELA 18 - Comprimento Médio de Caule (cm) obtido no Início, Meio e Final do Sulco nos Diferentes Tratamentos.....	78
TABELA 19 - Análise Estatística em Blocos Casualizados com Sub-Parcelas em Classificação Hierárquica para Comprimento de Caule sob Diferentes Tratamentos de Irrigação por Sulco	79
TABELA 20 - Matéria Seca Total da Parte Aérea em Gramas por 10 Plantas obtida no Início, Meio e Final de Sulco nos Diferentes Tratamentos	80

Página

TABELA 21 - Análise Estatística em Blocos Casualizados com Sub-Parcelas em Classificação Hierárquica para Matéria Seca Total da Parte Aérea por 10 Plantas sob Diferentes Tratamentos de Irrigação por Sulco.....	82
TABELA 22 - Custo da Produção do Feijão sem Considerar o da Irrigação.....	84
TABELA 23 - Análise da Relação Benefício/Custo.....	85

	Página
FIGURA 1 - Curva Característica da Água no Solo.....	20
FIGURA 2 - Terreno Sistematizado para Irrigação, com Sulcos de 0,6% de Declividade, Espaçados de 1,00 m e Interceptados pelo Conjunto de Calhas	24
FIGURA 3 - Conjunto de Calhas de Chapa de Aço Galvani- zadas Distribuídas de Maneira Escalonada, à Guisa de Canal Adutor.....	26
FIGURA 4 - Tensiômetros, Conjunto de Calhas, Sifões e Sulcos em Funcionamento na Cultura do Fei- joeiro 45 dias após Emergência.....	26
FIGURA 5 - Croqui de um Bloco	29
FIGURA 6 - Curvas do Avanço da Água no Sulco para as Vazões de 1,0 l/s e 0,35 l/s.....	36
FIGURA 7- Curvas de Velocidade de Infiltração para as Vazões de 1,0, 0,5 e 0,35 l/s.....	38
FIGURA 8 - Curvas de Infiltrações Instantânea e Acumu- lada para a Vazão de 1,0 l/s.....	42
FIGURA 9 - Curvas de Infiltrações Instantânea e Acumu- lada para a Vazão de 0,50 l/s.....	43
FIGURA 10- Curvas de Infiltrações Instantânea e Acumu- lada para Vazão de 0,35 l/s.....	44

FIGURA 11 - Representação Gráfica dos Perfis Molhados para os Tratamentos I, II e III.....	47
FIGURA 12 - Sulcos e Lâminas de Água Provenientes da 1. ^a Irrigação, Efetuada Logo Após a Semeadura.....	49
FIGURA 13 - Precipitações Pluviométricas, Irrigações e Tensões da Água no Solo às Profundidades de 15, 30 e 45 cm durante o Ciclo Fenológico do Feijão Irrigado por Sulco. Início do Tratamento I.....	50
FIGURA 14 - Precipitações Pluviométricas, Irrigações e Tensões da Água no Solo às Profundidades de 15, 30 e 45 cm durante o Ciclo Fenológico do Feijão Irrigado por Sulco. Final do Tratamento I.....	51
FIGURA 15 - Precipitações Pluviométricas, Irrigações e Tensões da Água no Solo às Profundidades de 15, 30 e 45 cm durante o Ciclo Fenológico do Feijão Irrigado por Sulco. Início do Tratamento II.....	52
FIGURA 16 - Precipitações Pluviométricas, Irrigações e Tensões da Água no Solo às Profundidades de 15, 30 e 45 cm durante o Ciclo Fenológico do Feijão Irrigado por Sulco. Final do Tratamento II.....	53

FIGURA 17 - Precipitações Pluviométricas, Irrigações e Tensões da Água no Solo às Profundidades de 15, 30 e 45 cm durante o Ciclo Fenológico do Feijão Irrigado por Sulco. Início do Tratamento III.....	54
FIGURA 18 - Precipitações Pluviométricas, Irrigações e Tensões da Água no Solo às Profundidades de 15, 30 e 45 cm durante o Ciclo Fenológico do Feijão Irrigado por Sulco. Final do Tratamento III.....	55
FIGURA 19 - Precipitações Pluviométricas, Irrigações e Tensões da Água no Solo às Profundidades de 15, 30 e 45 cm durante o Ciclo Fenológico do Feijão Irrigado por Sulco. Início do Tratamento IV.....	56
FIGURA 20 - Precipitações Pluviométricas, Irrigações e Tensões da Água no Solo às Profundidades de 15, 30 e 45 cm durante o Ciclo Fenológico do Feijão Irrigado por Sulco. Final do Tratamento IV.....	57
FIGURA 21.- Peso da Matéria Seca da Parte Aérea ao Longo do Ciclo do Feijoeiro Cultivar Aroa na 80, sob 4 Tratamentos de Irrigação por Sulco, nas Posições Início, Meio e Final de Sulco.....	61

Página

FIGURA 22 - Índice de Área Foliar (IAF) ao Longo do Ciclo do Feijoeiro Cultivar Aroana 80, sob 4 Tratamentos de Irrigação por Sulco, nas Posições Início, Meio e Final de Sulco.....	62
--	----

DESENVOLVIMENTO DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.)

SUBMETIDO A DIFERENTES LÂMINAS MÉDIAS

DE ÁGUA ATRAVÉS DA IRRIGAÇÃO POR SULCO

Marcos Vinícius Folegatti

Orientador: Prof. Dr. Antonio Sanchez de Oliveira

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo analisar o desenvolvimento do feijoeiro, sob diferentes lâminas médias de água através da irrigação por sulco.

Para o desenvolvimento do experimento foi considerada a declividade de 0,6% no sulco e adotadas as vazões de 0,35 l/s e 1,0 l/s, sendo que esta última, após o avanço, foi reduzida para 0,5 l/s. As lâminas médias aplicadas foram de 53,80, 33,30 e 27,30 mm em cada uma das quatro irrigações e para três tratamentos correspondentes, respectivamente, a 100, 50 e 0% de lâmina útil no final do sulco. Um quarto tratamento empregado serviu de testemunha e não recebeu irrigação. O delineamento experimental foi o de 5 blocos casualizados e 4 tratamentos com sub-parcelas em classificação hierárquica.

A cultivar utilizada foi a Aroana 80, semeada em 15/06/84, tendo a emergência ocorrida em 26/06/84 e a colheita em 22/09/84. As irrigações foram efetuadas sempre que se esgotasse a lâmina útil aplicada de 21 mm, sendo a evapotranspiração controlada por intermédio de um tanque Classe A instalado na área experimental.

Através dos resultados obtidos nos ensaios de infiltração, estabeleceram-se as equações de infiltração $I = K \cdot T^n$ e de avanço $T = a (e^{bx} - 1)$, para cada tratamento irrigado.

Os parâmetros de crescimento que diferiram significativamente entre os tratamentos foram: produção de grãos, número de grãos por vagens, número de ramificações por planta, comprimento de caule e matéria seca da parte aérea por 10 plantas, número de vagens por planta.

Nos tratamentos de 50 e 0% de lâmina útil no final do sulco, apesar da análise estatística não ter revelado diferenças significativas entre os parâmetros de crescimento obtidos para os segmentos início, meio e final do sulco, nota-se, um decréscimo nos seus valores, do início para o final do sulco. Ao que tudo indica essas diferenças foram ocasionadas pelos períodos de seca ocorridos no crescimento vegetativo e no florescimento, uma vez que as lâminas d'água adicionadas pela irrigação foram insuficientes. Verificou-se também um retardamento de 8 dias na maturação fisiológica.

DEVELOPMENT OF BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) IRRIGATED
BY FURROWS WITH DIFFERENT AVERAGE WATER DEPTHS

Marcos Vinícius Folegatti

Adviser: Dr. Antonio Sanchez de Oliveira

SUMMARY

The scope of this experiment was to ascertain the development of bean crop under different average depths of water by furrow irrigation.

The slope of furrows was set to 0,6% and the flow adjusted to 0.35 and 1.0 l/sec. The last figure was reduced to 0.5 l/sec. at the end of water advance in the furrows.

Average depths of water in each irrigation were of 53.80, 33.30 and 27.30 millimeters, corresponding respectively to 100, 50 and 0% of available water at the end of furrows. The control was kept without irrigation. Statistical outline was in randomized blocks with four

treatments and sub-plots.

Sowening of Aroana 80 cultivar was on June 15, 1984, emerging by June 26, and the harvesting was made on september 22. Twenty one millimeters of effective water depth was applied in each irrigation and evapotranspiration controlled by class A pan evaporation.

For each treatment the infiltration and advance equations were established from infiltration tests.

Significant difference among treatments was detected for grain yield, number of grains per pod, number of branches per plant, stem length and dry matter from ten plants.

Ripening was delaied up to 8 days due to insufficient irrigation in some plots, including the control.

1. INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é produto de grande importância para o Brasil como fonte de proteína na dieta alimentar de sua população.

Na década de 70, apesar das áreas cultivadas com feijão terem se expandido significativamente em relação ao decênio anterior, a produção brasileira manteve-se praticamente inalterada, em virtude de queda pronunciada na produtividade. Este comportamento, aliado ao aumento populacional, provocou substancial redução na produção per capita, de mais de 26 kg/habitante por ano para aproximadamente 18 kg/habitante por ano, no período anos 70 e início de 80 (VIEIRA e GATTI, 1983). A baixa produtividade média registrada de 500 kg/ha, decorre, principalmente da irregularidade ou deficiência das precipitações pluviométricas.

Essa produtividade pode ser elevada com a utilização da irrigação por sulco, que constitui o processo mais conhecido e utilizado em todo o mundo, abrangendo cerca de 70% das áreas irrigadas, os elementos mais importantes a serem considerados são a infiltração e a velocidade de avanço da água no sulco. As inter-relações destes fatores são influenciadas pela vazão, tipo de solo, declividade do terreno, comprimento e espaçamento do sulco e duração da irrigação.

O conhecimento destes elementos constitui um embasamento importante na escolha e avaliação de critérios para o manejo correto da aplicação da água às culturas por este método.

O objetivo principal deste trabalho é o de estudar o desenvolvimento do feijoeiro, sob diferentes lâminas médias de água empregadas na irrigação por sulco.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Avaliação da Irrigação

A Equação de KOSTIAKOV (1932) é bastante utilizada para determinar a equação para irrigação por sulcos de infiltração e pode ser expressa por:

$$I = K \cdot T^n$$

onde:

I = intensidade de infiltração;

T = tempo de irrigação;

K e n = constantes.

CRIDDLE et alii (1956), observaram que o tempo de infiltração pode ser determinado a partir da integração da equação $I = K \cdot T^n$, chegando-se à seguinte expressão:

$$T = \left[\frac{60 \cdot h \cdot (n + 1)}{K} \right]^{\frac{1}{n+1}}$$

onde:

h = quantidade de água infiltrada;

T = tempo de infiltração;

K e n = coeficiente e expoente experimentais.

GRAY e BEER (1957), verificaram que a intensidade de infiltração da água no solo pode variar através do comprimento do sulco devido ao decréscimo progressivo da superfície molhada e às variações da estrutura do solo ao longo do sulco. Esses autores estabeleceram uma equação para o cálculo do avanço da água nos sulcos de irrigação:

$$T = K \cdot D^n$$

onde:

T = tempo de avanço (min)

D = distância do avanço (m)

K e n = constantes

THORTON (1961) trabalhando com irrigação por sulcos de infiltração de forma, declividade e rugosidade diversas e sob diferentes vazões, verificou que a forma apresentada

pelo sulco tem considerável influência sobre o avanço da água.

HANSEN et alii (1953) afirmam que a baixa eficiência de distribuição d'água ou sua inadequada aplicação é, na maioria das vezes, a causa da baixa produtividade em algumas áreas irrigadas. Nenhum aspecto da eficiência de irrigação pode ser abandonado, para que se possa ter o máximo rendimento na produção.

HANSEN (1960) distinguiu vários tipos de eficiências na irrigação por sulcos, entre elas a eficiência de aplicação, de armazenamento e de distribuição.

A eficiência de aplicação é a estimativa da porcentagem do total de água aplicada na irrigação que é considerada útil às culturas, sendo calculada pela seguinte expressão:

$$Ea = \frac{L}{Lm} \times 100$$

$$Lm = \frac{Ta \times qi + (Ti - Ta) \times qr}{C \times e} \times 60$$

onde:

Ea = eficiência de aplicação (%)

L = lâmina média aplicada, armazenada na zona radicular (mm)

Lm = lâmina média aplicada por sulco (mm)

qi = vazão inicial (l/s)

q_r = vazão reduzida (l/s)

T_a = tempo de avanço (min)

T_i = tempo de aplicação da água no início
do sulco (min)

C = comprimento do sulco (m)

e = largura da faixa umedecida no sulco (m).

A eficiência de armazenamento (E_{ar}) é definida como a porcentagem da lâmina média necessária na profundidade efetiva do sistema radicular (L_u) que ficou armazenada em disponibilidade à cultura. Em muitas irrigações há excesso de aplicação trazendo como consequência perdas de água, em outras ocorre o inverso, a aplicação é deficiente. Para avaliar este problema foi proposto o conceito (E_{ar}):

$$E_{ar} = \frac{L}{L_u} \times 100$$

onde:

E_{ar} = eficiência de armazenamento (%)

L_u = lâmina média necessária (mm)

A eficiência de distribuição (E_d) é uma estimativa da uniformidade de infiltração ao longo do sulco, sendo determinada da seguinte forma:

$$E_d = \frac{L_f}{(L_i + L_f)/2} \times 100$$

onde:

E_d = eficiência de distribuição (%)

L_i = lâmina infiltrada no início do sulco (mm)

L_f = lâmina infiltrada no final do sulco (mm)

Para determinações das perdas por percolação e por "Runoff", BERNARDO et alii (1977) propõem as seguintes equações:

$$P_p = \frac{L_p}{L_m} \times 100$$

$$L_p = \frac{L_i - L_f}{2}$$

onde:

P_p = porcentagem perdida por percolação

L_p = lâmina média percolada (mm)

$$P_r = \frac{L_r}{L_m} \times 100$$

$$L_r = L_m - (L_f + L_p)$$

onde:

P_r = porcentagem perdida por "Runoff"

L_r = lâmina média equivalente a "Runoff" (mm).

Segundo RADLEY e PANOYA (1970) na maioria das vezes, a irrigação com pequena ou nenhuma perda d'água no final dos sulcos resulta em grandes perdas por percolação, é, nesses casos, muitas vezes, a irrigação é projetada com algum "Runoff". Para minimizar a perda por "Runoff" em irrigação por sulcos, a vazão inicial deve ser maior possível desde que não cause erosão, devendo ser reduzida após determinado tempo.

BERNARDO et alii (1983) salientaram que uma pequena vazão poderá acarretar excesso de infiltração no início do sulco e deficiência de irrigação no outro extremo, causando baixa uniformidade de distribuição, o que provocará desuniformidade de produção ao longo dos sulcos. Por outro lado, grandes vazões podem provocar erosão nos sulcos e perdas excessivas por "Runoff". Os autores ainda relataram que trabalhando em solo de textura pesada, encontraram maiores valores na eficiência de aplicação para condições de vazão inicial reduzida.

2.2. Efeito da Irrigação na Cultura do Feijoeiro

NETTLES (1948), GODOY et alii (1966) estudando níveis de irrigação na cultura do feijoeiro, observaram que a irrigação complementar foi um fator decisivo no aumento da produtividade.

A cultura do feijoeiro é muito sensível ao déficit hídrico em determinadas fases de desenvolvimento. Diversos autores (KATTAN e FLEMING, 1956, ROBINS e DOMINGO, 1956,, DUBETZ e MAHALLE, 1969, MAURER et alii, 1969, HORNER e MOJTEREDI, 1970, RAGGI et alii, 1976, MIRANDA e BELMAR, 1977, MAGALHÃES e MILLAR, 1978, GARRIDO et alii, 1979 e STANSEL e SMITTLE, 1980), estudando o comportamento do feijoeiro submetido ao déficit hídrico, em diferentes fases do seu desenvolvimento, observaram que durante o florescimento e formação de vagens a falta de água acarreta diminuição na produção de grãos.

ROBINS e DOMINGO (1956) observaram que o déficit hídrico antes do florescimento também reduz o número de vagens e o número de grãos por vagem.

GABELMAN e WILLIAMS (1960) estudando a cultura do feijoeiro irrigado, observaram que a produtividade foi reduzida quando as irrigações foram abaixo das necessidades da cultura, no período da semeadura ao florescimento. Observaram também que, para obtenção de produção máxima, o solo deve ser mantido com umidade acima de 50% da "água disponível", no período do florescimento.

BURMAN e BOHMONT (1961) em um experimento onde parcelas da cultura do feijoeiro eram irrigadas quando os potenciais matricial da água no solo atingiam $-0,05$; $-0,10$; $-0,20$ e $-0,40$ MPa, observaram que no tratamento mais irrigado, houve resposta significativa em termos estatísticos sobre o peso de grãos por vagem, número de vagens por planta e número de grãos por vagem em relação aos outros tratamentos.

MAC MASTER et alii (1965) citados por SALTER e GOODE (1967), observaram que plantas de feijoeiros que receberam umidade adequada da semeadura até o florescimento, aumentaram suas produções de sementes, e que a maturidade das plantas foi alcançada mais cedo do que nos tratamentos com menor umidade.

MAURER et alii (1969) observaram que a produção de feijão é dependente de um adequado suprimento de água na fase de formação de vagens, porém para a máxima produção é necessária uma adequada umidade no solo na fase de pré-florescimento. No tratamento onde se aplicou água quando o solo apresentava 88% da "água disponível", foram obtidas plantas mais altas, mais pesadas e maior número de vagens, do que o tratamento à nível de 60%. As plantas produzidas em solo irrigado ao nível de 32% de "água disponível" foram pequenas e a produtividade menor do que as dos demais tratamentos.

BERNARDO et alii (1970) verificaram que existe efeito do nível de água no solo sobre a produção do feijoeiro, pois esta diminui com o aumento da tensão de umidade no solo.

EL NADI (1970) encontrou resultados que demonstram uma particular sensibilidade das plantas de feijão com relação à seca na fase que abrange desde a emergência até a formação das vagens da parte inferior da planta (40 dias), durante a qual é produzida uma considerável quantidade de flores.

RAGGI et alii (1972) verificaram acentuado efeito do teor de umidade no solo sobre a produção do feijoeiro. Concluíram ainda que existem fases mais críticas, sendo as da floração e frutificação mais sensíveis que a de crescimento.

BASCUR e FRITSH (1975) estudando métodos de irrigação por sulco correspondentes a todos sulcos irrigados simultaneamente, sulcos irrigados alternadamente, todos sulcos irrigados simultaneamente mas com semeadura no talude do sulco e sulcos irrigados para cada duas fileiras de plantas combinados com duas frequências de irrigação de 0,04 MPa e 0,075 MPa. Observaram que o número de vagens por planta e número de grãos por vagem não foram afetados pelos métodos, frequências e suas combinações, mas o peso de grãos aumentou de forma significativa com a frequência de 0,04 MPa.

MIRANDA e BELMAR (1977) observaram que o déficit hídrico da cultura do feijoeiro nos períodos de crescimento vegetativo, floração e formação de vagens não influenciou no número de vagens por planta, nem no número de grãos por vagem, afetando, entretanto, a produção em peso de grãos e o peso de 1000 sementes. Já as frequências de irrigação, que eram feitas quando o solo atingia 30 e 70% da "água disponível", afetaram, significativamente, a produção aumentando o número de vagens por planta e o peso de 1000 sementes na safra de 1974/75, e a produtividade nas safras de 1974/75 e 1975/76.

CAIXETA et alii (1978) estudando o comportamento do feijoeiro, conduzido sob quatro lâminas de água e três níveis de adubação, observaram efeito significativo no número de vagens por 10 plantas e na produção do feijoeiro, apenas para os níveis de água.

GARRIDO e TEIXEIRA (1978a, b) estudando o efeito da irrigação no "feijão das águas", observaram que, para o rendimento de grãos, houve aumento significativo em relação à testemunha, no tratamento em que a irrigação era feita quando a umidade do solo atingia 70% da "água disponível". Para o "feijão da seca" os autores observaram que os tratamentos irrigados aos níveis de 40, 60 e 80% da "água disponível", ocorreu aumento significativo no rendimento de grãos em relação ao tratamento não irrigado, e também foi observada aumento significativa

tivo para o número de vagens por planta entre a testemunha sem irrigação e o melhor tratamento.

MAGALHÃES e MILLAR (1978) estudando tolerância à seca do feijoeiro, em tratamentos que consistiam em diferentes números de dias de déficit de água, de 8 a 29 dias, usando a faixa fenológica em torno do período mais crítico, a partir da floração. Verificaram que após 14,17 e 20 dias sem irrigação, as reduções nos rendimentos foram de 20,38 e 52% respectivamente, permanecendo quase constante até o final de 29 dias de seca. Verificaram ainda, que é possível usar o período de maior resposta ao déficit de água para gerar a relação entre rendimento relativo e potencial matricial do solo, a qual é de importância para a definição do nível operacional de manejo de irrigação

MAGALHÃES *et alii* (1979) estudando o efeito do déficit hídrico em feijão, constataram que o período mais crítico de falta de água foi o do início da floração à plena floração, onde os níveis de potencial matricial do solo, da ordem de -0,5 MPa, causaram uma redução no rendimento de 36,85%.

GARRIDO *et alii* (1979a) observaram que, em relação as plantas sem déficit hídrico, a produção de feijão foi reduzida em 16, 42 e 48% quando houve falta de água no início

da floração, final da floração e período de formação de vagens, respectivamente.

MUIRHEAD e WHITE (1979), sustentam em seu trabalho com a cultura do feijão que o estresse de água em período anterior ao florescimento pode retardar a formação e a fixação das vagens, mas não tem influência na produção.

GUNTON e EVENSON (1980) trabalhando com estresse hídrico em feijão, encontraram que a produção foi reduzida em até 40% quando o déficit ocorreu durante o florescimento.

STANSEL e SMITTLE (1980) observaram que a produção de grãos foi proporcional a quantidade de água no solo e que o feijoeiro foi igualmente sensível a falta de água no solo nas fases de desenvolvimento vegetativo, florescimento e pré-florescimento.

MILLAR e CHOUDHURY (1980) através de vários estudos conduzidos no Centro de Pesquisa do Trópico Semi-Árido em Petrolina (PE), observaram que de 80 a 90% do potencial de produção da cultura do feijoeiro, são obtidos com um manejo de irrigação, no qual se fornece água ao solo quando o mesmo apresentar um potencial matricial de -0,17 a -0,075 MPa, respectivamente.

STANSEL e SMITTLE (1980) observaram que o manejo da água no solo para a profundidade de 0-30 cm foi adequado para altas produtividades de grãos, embora a planta tenha também extraído água da camada de 30-35 cm do perfil do solo.

MACK e BONANNO (1981) estudando o comportamento da cultura do feijoeiro sob três regimes de irrigação, onde foram aplicados 63,5; 116,8 e 241,3 mm, durante todo o ciclo, observaram que a produtividade da parcela mais irrigada foi de 6 a 7 vezes maior que a parcela de menor umidade e intermediária, respectivamente. O número de vagens por planta foi 4,6, 3,6 e 12,0 para os tratamentos que receberam 63,5; 116,8 e 241,3 mm, respectivamente.

Um mecanismo apresentado por várias leguminosas para escapar aos períodos de estresse hídrico é o paraheliotrópico, que serve para diminuir a temperatura da folha sob estresse e presumivelmente evitar novas perdas de água. O grau de manifestação deste mecanismo segundo LAWN (1982 a, b e c) é diferente segundo as espécies e variedades.

DUBETZ (1969) estudou o fenômeno de paraheliotropismo em folhas de feijoeiro condicionados ao estresse hídrico. Após trinta dias da emergência, o solo deixou de receber irrigação e alcançou a tensão da água de -0,8 MPa entre o 30º e o 40º dia, onde as temperaturas máximas variaram de 31°C a 36°C e as plantas apresentaram o fenômeno de paraheliotro-

pismo. Este processo foi reversível, sendo que as folhas voltaram à posição anterior no início do dia, e este comportamento somente foi observado nas plantas estressadas.

2.3. Distribuição do Sistema Radicular do Feijoeiro

INFORZATO e MYASAKA (1963) estudando a distribuição do sistema radicular do feijoeiro em dois tipos de solos do Estado de São Paulo, observaram que os dez primeiros centímetros do perfil continham 74,5% das raízes, e os primeiros 20 cm, 83,6%.

DASBERG e BAKKER (1970) constataram a influência da aeração e da umidade do solo no crescimento das raízes do feijoeiro, sendo que, quanto maior a umidade e menor a aeração menor o desenvolvimento radicular das plantas, sendo o inverso também verdadeiro.

REICHARDT *et alii* (1974) em experimento de campo com o feijoeiro mediram semanalmente a distribuição do sistema radicular, verificando que 90% das raízes estavam confinadas nos 30 cm superiores do perfil do solo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Local, Clima e Solo

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, em Piracicaba - SP, a uma latitude de $22^{\circ}42'30''$ sul, longitude de $47^{\circ}38'00''$ oeste e altitude de 576 m.

O clima da região é o Cwa, pela classificação climática de Köppen, ou seja, sub-tropical úmido com estiagem no inverno, com temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e a do mês mais quente superior a 22°C , também denominado de tropical de altitude (PAES DE CAMARGO et alii, 1974).

O solo do local foi descrito e classificado por RANZANI et alii (1966) como terra roxa estruturada, série Luiz de Queiroz, cujo material de origem são rochas básicas. Pela classificação americana (EUA, 1975) é um "oxic paleudalf".

3.2. Determinação dos Parâmetros do Solo

3.2.1. Granulometria e Densidade

A análise granulométrica e o peso específico aparente das amostras representativas das profundidades de 0-20, 20-40 cm foram determinados no laboratório de Física de Solos do Departamento de Engenharia Rural da E.S.A. "Luiz de Queiroz", (Tabela 1).

TABELA 1 - Granulometria, Classe Textural e Peso Específico Aparente.

Profundi- dade (cm)	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Classe Textural	Peso Específi- co Aparente/ g.cm^{-3}
0 - 20	55	17	28	Argila	1,40
20 - 40	53	17	29	Argila	1,42

3.2.2. Curva de Retenção e Água Disponível

O estudo da água do solo foi desenvolvido em amostras à profundidade de 15-30 cm. No laboratório de Física de Solos do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ, foi determinada a curva característica da água do solo, de acordo com a metodologia estabelecida por RICHARDS (1947) e com o auxílio de placas de pressão nos pontos de 0,01, 0,1, 0,3, 0,7 e 1,5 MPa (Figura 1). Os limites superior e inferior de água disponível foram 0,35 e 0,28 cm³ de água/cm³ de solo, referentes às tensões de 0,01 e 0,1 MPa, respectivamente.

3.2.3. Curvas e Equações de Avanço e de Infiltração.

Os dados para a construção das curvas de avanço e infiltração foram obtidos em cinco ensaios conduzidos antes da semeadura. O tempo de avanço foi medido em cada uma das estacas, distanciadas de 10 m, até atingir o final do sulco. Na execução dos ensaios de infiltração foram medidas as vazões de entrada e saída nos sulcos com o auxílio de calhas WSC, desenvolvidas em Washington State College, Washington - USA, de acordo com as dimensões estabelecidas por CHAMBERLAIN (1952), e apropriadas para vazões de 0,07 a 2,3 litros/segundo.

A equação utilizada para estabelecer a curva de avanço foi a mesma utilizada por WILLARDSON e BISHOP (1967) a

FIGURA 1 - Curva Característica da Água no Solo.

saber:

$$T = a (e^{bx} - 1)$$

onde:

T = tempo de avanço (min)

x = distância do avanço (m)

e = base do logaritmo

a e b = coeficientes experimentais

Esta expressão, além de determinar com precisão a intensidade de avanço, é de grande aplicabilidade, possibilitando a avaliação das alterações das características hidráulicas do sulco, pois o avanço da água no sulco, representado pela equação do avanço, está relacionado principalmente com as variáveis fundamentais da hidráulica de irrigação superficial, tais como a vazão de entrada, declividade do terreno e rugosidade do sulco.

Uma equação que representa a intensidade de infiltração da água no solo, em uma forma simples e precisa, foi proposta por KOSTIAKOV (1932) e posteriormente por LEWIS (1937). Nesse método a infiltração é expressa por uma equação exponencial, da seguinte forma:

$$i = K \cdot T^n$$

onde:

i = intensidade de infiltração (mm/h)

k = constante relativa a taxa de infiltração na unidade de tempo

T = tempo de infiltração (minutos)

n = expoente experimental

Desta forma, a intensidade de infiltração foi estudada através da equação proposta, com a transposição dos dados de tempo e infiltração instantânea, obtidos no campo, em papel di-logarítmico. Através de cálculos pelos métodos dos quadrados mínimos foram obtidas as constantes K e n, representativas da infiltração inicial no tempo unitário e do expoente do coeficiente angular da reta, respectivamente.

Integrando esta equação, obtem-se o tempo total em minutos necessário a aplicação de uma determinada lâmina de água:

$$T = \left[\frac{60 \ I \ (n+1)}{K} \right]^{\frac{1}{n+1}}$$

onde:

T = tempo necessário para a aplicação de uma determinada lâmina (min.)

I = infiltração acumulada (mm)

3.3. Instalação do Experimento

3.3.1. Sistematização do Terreno para Irrigação

Após o preparo inicial da área experimental com aração, gradagem e regularização com pranchão, foram traçados preliminarmente sulcos com declividades de 0,3, 0,6 e 1,0%, e

em cada um deles testadas as vazões de 0,3, 0,5 e 1,0 l/s. A melhor declividade encontrada foi de 0,6% para as vazões de 1,0 e 0,35 l/s, e de acordo com os tratamentos pretendidos (Fig. 2).

Os declives foram obtidos por meio de nivelamentos com demarcação de estacas a cada 10 metros.

Os sulcos, em número de 95, espaçados de 1,00 m e com as dimensões de 120 m de comprimento e 0,20 m de profundidade foram construídos com auxílio de um sulcador tracionado por trator.

3.3.2. Dados Meteorológicos

Os dados meteorológicos precipitação e evaporação, foram obtidos em um pluviômetro e um tanque Classe A, instalados em um Posto Meteorológico, situado aproximadamente a 15 m da área experimental, em terreno coberto por grama. As medições de precipitação da evaporação, representativas das 24 horas precedentes, foram realizadas às 7 horas.

3.3.3. Suprimento de Água

Para o suprimento de água nas irrigações foi utilizado um reservatório com cota superior a da área experimental, possibilitando a condução da água por gravidade, através de uma tubulação de 3" de diâmetro, até a área experimen-

FIGURA 2 - Terreno sistematizado para irrigação, com sulcos de 0,6% de declividade, espaçados de 1,00 m e interceptados pelo conjunto de calhas.

tal. Para a distribuição de água na área foram utilizadas, a guisa de canal condutor, calhas de chapa galvanizada dispostas escalonadamente sobre o terreno (Figura 3). A distribuição da água nos sulcos se fez através de sifões plásticos de 19,05 mm (3/4") de diâmetro (Figura 4), que despejavam a água em pequenos recipientes instalados no início do sulco e com a sua borda superior sempre a mesma distância do nível de água na calha, a fim de manter a vazão constante.

3.3.4. Manejo da Irrigação

Baseando-se nas características físicas do solo, determinou-se a lâmina útil a ser aplicada a partir da seguinte expressão:

$$h = \frac{AD}{10} \cdot \gamma_s \cdot H$$

onde:

h = altura de água a ser aplicada em mm;

AD = intervalo de água considerado a ser aplicado em %;

γ_s = peso específico aparente em g/cm³

H = profundidade do solo considerada em cm.

Esta expressão permitiu o cálculo da altura de água necessária para se fornecer ao solo, que foi de 21 mm, e com as equações determinadas nos ensaios, calculam-se os tempos teóricos de aplicação.

FIGURA 3 - Conjunto de Calhas de chapa de aço galvanizado distribuídas de maneira escalonada, à guisa de canal adutor.

FIGURA 4 - Tensiômetros, conjunto de calhas, sifões e sulcos em funcionamento na cultura do feijoeiro 45 dias após emergência.

De acordo com LINDERMAN e STEGMAN (1971), VAZIRI e WU (1972), o tempo total de irrigação pode ser obtido diretamente com os dados de campo, através da expressão:

$$T = T_{ap} + T_{av} - T_r$$

onde:

T_{ap} = tempo de aplicação em minutos;

T = tempo total de irrigação em minutos;

T_{av} = tempo de avanço em minutos;

T_r = tempo de recesso em minutos.

O tempo de recesso foi considerado instantâneo após o término do fornecimento de água nos sulcos dada a dificuldade em medi-lo.

As irrigações foram feitas todas as vezes que se esgotasse a lâmina de 21 mm adicionada ao solo, e controladas através da evaporação do tanque "Classe A"; sendo adotados os coeficientes de cultura (K_c) igual a 0,95 FAO (1979) e de tanque (K_p) igual a 0,80.

3.3.5. Tensiômetros

Foi instalada em um bloco escolhido ao acaso uma bateria de tensiômetros, para acompanhar o potencial matricial da água no solo nas diversas fases da cultura e nos diversos tratamentos. Os tensiômetros foram instalados junto a

linha de plantas, a 10 m do sulco e a 100 m de distância, e nas profundidades de 15, 30 e 45 cm. As leituras também foram realizadas diariamente às 7 horas.

3.4. Delineamento Experimental

No experimento foram considerados 95 sulcos com declividade média de 0,6%, dividido em 5 blocos casualizados sendo cada bloco com quatro tratamentos conforme Figura 5.

Os quatro tratamentos são descritos abaixo:

- a) Tratamento I - cem por cento (100%) da lâmina útil (21 mm) aplicada no final do sulco.
- b) Tratamento II - cinquenta por cento (50%) da lâmina útil (10,5 mm) aplicada no final do sulco.
- c) Tratamento III - zero por cento (0%) da lâmina útil aplicada no final do sulco.
- d) Tratamento IV - testemunha sem irrigação.

Os tratamentos I e II foram conduzidos com a vazão de 1,0 l/s e o tratamento III com a vazão de 0,35 l/s.

Para os tratamentos I e II utilizou-se do processo de redução de vazão de 1,0 para 0,5 l/s após o avanço da água ter chegado ao final do sulco.

FIGURA 5 - Croqui de um bloco.

Para cada parcela dos tratamentos foram destinados 3 sulcos consecutivos isolados por um sulco sem irrigação, sendo o sulco central utilizado para avaliação e os outros dois como bordaduras.

3.5. Cultura

Como suporte experimental foi instalada a cultura de feijão (Phaseolus vulgaris L.) cultivar Aroana 80, de hábito de crescimento indeterminado, tipo arbustivo com guia curta, internódios curtos e maturação praticamente uniforme, resultante de seleções individuais em F5 do segundo retrocruzamento de (Aroana x Cornell 49-22) x Aroana (São Paulo, 1982). Esta cultivar pode ser enquadrada no grupo "chumbinho", com início da floração entre 35 e 40 dias após a emergência e ciclo total (semeadura a colheita) entre 90 a 100 dias.

3.5.1. Semeadura e Tratos Culturais

A semeadura foi efetuada com plantadeira adubadeira manual, ao longo de sulcos com 120 m de comprimento e espaçados de 1,00 m, distribuída em fileiras duplas de plantas com espaçamento dentro das fileiras de 0,40 m, entre fileiras de 0,60 m e entre plantas na fileira de 0,10 m. Ficando dessa maneira um sulco entre cada duas fileiras duplas de plantas. Procurou-se obter em torno de 200.000 plantas por hectare, o que corresponde aproximadamente 10 plantas por metro linear. Figura 4.

A adubação fosfatada foi feita na base de 400 kg/ha de superfosfato simples, e a adubação nitrogenada sob a forma de sulfato de amônio foi aplicada 25 dias após a emergência na quantidade de 100 kg/ha.

Ao longo de todo o período experimental foram efetuadas, três capinas manuais, para controle de plantas daninhas, e uma aplicação de inseticida (18/07) para controle da mosca branca (Bemisia tabaci).

3.5.2. Fenologia

Durante o ciclo do feijoeiro foram feitas observações de fenologia a nível diário, caracterizando-a segundo o método descrito por FEHR e CAVINESS (1977) para a soja. A escolha deste método se deve à clareza com que se pode caracterizar as diversas fases de desenvolvimento da cultura.

3.5.3. Análise dos Parâmetros de Crescimento

Foram coletadas em média a cada 10 dias e em cada tratamento, amostras de plantas contidas em 1,00 m de fileira ou 0,50 m², para cada três sub-parcelas localizadas ao redor das estacas 20, 60 e 100 m; as amostras foram lavadas em água corrente e secadas em estufa a 60 - 70°C, a fim de se determinar:

- peso total da parte aérea, sub-dividida em peso de folhas secas, caules + pecíolos e vagens + grãos.
- índice da área foliar (IAF), foi utilizado um vazador de área conhecida igual a $1,58 \text{ cm}^2$. Correlacionou-se o peso referente a área de 50 discos com o peso seco de folhas determinando-se a área foliar, que a seguir foi correlacionada com $0,50 \text{ m}^2$ de solo.

Na última coleta foram medidos, além dos parâmetros acima citados, o número de nós por plantas, o número de ramificações por planta, o número de vagens por planta, o número de grãos por planta, o número de grãos por vagem e a matéria seca total da parte aérea.

Para maior precisão na avaliação da produtividade foram coletadas plantas numa área de 10 m^2 ao longo das posições dos tratamentos que a seguir foram trilhadas; amostras dessas parcelas foram secadas em estufa a $60 - 70^\circ\text{C}$ para a determinação do peso seco que a seguir foi corrigido para 14%.

3.6. Análise Estatística

Para os diferentes parâmetros de crescimento foi processada a análise estatística em blocos casualizados com sub-parcelas em classificação hierárquica:

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.
Blocos	4
Tratamentos	3
Resíduo (a)	12
(Parcelas)	(19)
Entre posições do tratamento I	2
Entre posições do tratamento II	2
Entre posições do tratamento III	2
Entre posições do tratamento IV	2
Resíduo (B)	32
T O T A L	59

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Curva de Avanço

Os tempos de avanço para a água percorrer os 120 m, para as vazões de 1,0 e 0,35 l/s, foram 33,0 e 155,5 minutos, respectivamente. Os dados médios dos tempos de avanço para cada estaca são apresentados na Tabela 2.

Na Figura 6 é possível verificar os desvios apresentados pelos dados obtidos em relação as curvas de avanço calculadas por meio das equações $T = 12,31 (e^{0,011x} - 1)$ e $T = 26,87 (e^{0,016x} - 1)$, para as vazões de 1,0 e 0,35 l/s, respectivamente.

Observou-se que da primeira para a quarta irrigação houve um aumento no tempo de avanço, mostrando uma variação das características hidráulicas dos sulcos causadas pelo

TABELA 2 - Valores Médios dos Tempos de Avanço da Água no Sulco de 120 m para as Vazões de 1,0 e 0,35 l/s.

E s t a c a (m)	T e m p o d e A v a n ç o (min.)			
	V a z ã o (1,0 l/s)		V a z ã o (0,35 l/s)	
	Obtido	Calculado	Obtido	Calculado
0	-	-	-	-
10	1,6	1,4	4,9	4,7
20	3,0	3,0	10,0	10,1
30	4,7	4,7	15,9	16,5
40	6,4	6,7	22,0	24,0
50	8,4	8,9	33,0	32,8
60	10,8	11,3	44,4	43,2
70	14,4	14,0	58,0	55,3
80	17,4	17,1	72,5	69,5
90	20,9	20,4	86,5	86,2
100	24,0	24,2	101,7	105,8
110	28,1	28,4	127,5	128,8
120	33,0	33,0	155,5	155,7

Equação do Avanço:

$$T = 12,31 (e^{0,011x} - 1)$$

$$T = 26,87 (e^{0,016x} - 1)$$

$$r^2 = 0,99876$$

$$r^2 = 0,99974$$

FIGURA 6 - Curvas do Avanço da Água no Sulco para as Vazões de 1,0 l/s e 0,35 l/s.

desenvolvimento da cultura, fato também verificado por VAZIRI et alii (1973), AZEVEDO et alii (1975) e SOUZA (1977).

4.2. Curva de Infiltração

As curvas de velocidade de infiltração da água no solo (Figura 7), para as vazões de 1,0, 0,5 e 0,35 l/s, respectivamente, foram construídas a partir dos dados das Tabelas 3, 4 e 5. Comparando-se as velocidades de infiltração, básica observa-se que estas diminuíram com a diminuição das vazões, conforme os valores 14,1, 7,56 e 6,84 mm/h.

Por integração da infiltração instantânea, determinaram-se as equações de infiltração acumulada $I = 0,56 T^{0,85}$, $I = 0,27 T^{0,87}$ e $I = 0,21 T^{0,89}$ para as vazões de 1,0, 0,50 e 0,35 l/s, respectivamente (Figuras 8, 9 e 10).

Verificou-se que, para a aplicação da lâmina útil de 21 mm, responsável pela elevação da umidade da camada de 30 cm de solo à capacidade de campo, os tempos de irrigação para os tratamentos I, II e III foram 182,07, 100,20 e 155,5 minutos, respectivamente, sendo que os tratamentos I e II após o avanço, sofreram redução de vazão para 0,50 l/s.

4.3. Avaliação da Irrigação

Conforme Tabela 6, com as equações de avanço e de infiltração determinou-se a lâmina de irrigação para cada

FIGURA 7 - Curvas de Velocidade de Infiltração para as Vazões de 1,0, 0,5 e 0,35 l/s.

TABELA (3) - Dados Médios da Velocidade de Infiltração da Água no Solo para Vazão de 1,0 l/s

Δt	Δt Acumulado	Leit. Calha Início l/s	Leit. Calha 100 m l/s	Infiltração	
				l/s/100 m	mm/h
1'	1	1,0	0,22	0,78	28,08
1'	2	1,0	0,28	0,72	25,92
2'	4	1,0	0,32	0,68	24,48
2'	6	1,0	0,40	0,60	21,60
5'	11	1,0	0,44	0,56	20,16
5'	16	1,0	0,48	0,52	18,72
10'	26	1,0	0,52	0,48	17,28
15'	41	1,0	0,54	0,46	16,56
15'	56	1,0	0,57	0,43	15,48
15'	71	1,0	0,58	0,42	15,17
30'	101	1,0	0,60	0,40	14,39
30'	131	1,0	0,61	0,39	14,10

$$i = 28,63 T^{-0,15} \text{ (mm/h)}$$

$$I = 0,56 T^{0,85} \text{ (mm)}$$

$$r^2 = 0,99311$$

TABELA (4) - Dados Médios da Velocidade de Infiltração da Água no Solo para Vazão de 0,50 l/s.

Δt	Δt Acumulado	Leit. Calha Início l/s	Leit. Calha 100 m l/s	Infiltração	
				l/s/100 m	mm/h
1'	1	0,50	0,12	0,38	13,68
1'	2	0,50	0,16	0,34	12,24
4'	6	0,50	0,19	0,31	11,16
4'	10	0,50	0,21	0,29	10,44
4'	14	0,50	0,23	0,27	9,72
10'	24	0,50	0,24	0,26	9,36
10'	34	0,50	0,25	0,25	9,00
15'	49	0,50	0,28	0,22	7,92
15'	64	0,50	0,29	0,21	7,56
30'	94	0,50	0,29	0,21	7,56

$$i = 13,85 T^{-0,13} \text{ (mm/h)}$$

$$I = 0,27 T^{0,87} \text{ (mm)}$$

$$r^2 = 0,97036$$

TABELA (5) - Dados Médios da Velocidade de Infiltração da Água no Solo para Vazão de 0,35 l/s.

Δt	Δt Acumulado	Leit. Calha Início (l/s)	Leit. Calha 100 m (l/s)	Infiltração	
				l/s/100 m	mm/h
1'	1	0,35	0,04	0,31	11,16
1'	2	0,35	0,06	0,29	10,44
2'	4	0,35	0,08	0,27	9,72
2'	6	0,35	0,09	0,26	9,36
5'	11	0,35	0,10	0,25	9,00
5'	16	0,35	0,12	0,23	8,28
10'	26	0,35	0,13	0,22	7,92
10'	36	0,35	0,14	0,21	7,56
15'	51	0,35	0,15	0,20	7,20
15'	66	0,35	0,16	0,19	6,84
30'	96	0,35	0,16	0,19	6,84

$$i = 11,38 T^{-0,11} \quad (\text{mm/h})$$

$$r^2 = 0,98676$$

$$I = 0,21 T^{0,89} \quad (\text{mm})$$

FIGURA 8 - Curvas de Infiltrações Instantânea e Acumulada para a Vazão de 1,0 l/s.

FIGURA 9 - Curvas de Infiltrações Instantânea e Acumulada para a Vazão de 0,50 l/s.

FIGURA 10 - Curvas de Infiltrações Instantânea e Acumulada para Vazão de 0,35 l/s.

TABELA (6) - Valores da Lâmina de Irrigação para cada Estaca ao Longo do Sulco para os Tratamentos I, II e III.

D i s t â n c i a	L â m i n a (mm)		
	Tratamento I	Tratamento II	Tratamento III
0	30,27	20,14	18,77
10	29,91	19,77	18,26
20	29,51	19,36	17,68
30	29,08	18,90	16,98
40	28,57	18,37	16,17
50	27,99	17,78	15,20
60	27,37	17,12	14,05
70	26,65	16,38	12,70
80	25,82	15,51	11,09
90	24,92	14,57	9,15
100	23,84	13,46	6,82
110	22,59	12,15	3,93
120	21,00	10,50	0,00

estaca ao longo do sulco, para os Tratamentos I, II e III. As representações gráficas dos perfis molhados para os respectivos tratamentos se encontram na Figura (11).

Para os diferentes tratamentos foram calculadas as eficiências de armazenamento (Ear), de aplicação (Ea), de distribuição (Ed) e as perdas por percolação (Pp) e por "runoff" (Pr), (Tabela 7).

TABELA 7 - Eficiências de Armazenamento (Ear), de Aplicação (Ea) e de Distribuição (Ed) e Perdas por Percolação (Pp) e por Runoff (Pr).

TRATAMENTO	Ear (%)	Ea (%)	Ed (%)	Pp (%)	Pr (%)
I	100,0	39,1	81,9	8,6	52,3
II	81,5	51,4	68,5	0,0	48,6
III	66,9	100,0	0,0	0,0	0,0

De acordo com BERNARDO (1982), sob condições ideais de manejo de irrigação, circunstância verificada no tratamento I, os valores aceitáveis de eficiências de distribuição e de aplicação são de 70% e 60%, respectivamente. A eficiência de aplicação de 39,10% obtida indica que a irrigação deveria ser conduzida com mais reduções de vazão, o que não foi feito pelo pouco aumento que traria na Ea.

FIGURA 11 - Representação Gráfica dos Perfis Molhados para os Tratamentos I, II e III.

Comparando-se os tratamentos I e II observa-se que, com a redução do tempo de irrigação de 182,07 para 100,20 minutos, há uma redução nas eficiências de armazenamento de 100 para 80,95% e de distribuição de 81,92 para 68,54%. Mas por outro lado há um aumento na eficiência de aplicação o que representa uma economia de 38% de água do tratamento II em relação ao I, fato evidenciado pelas perdas do total aplicado de 61% no tratamento I e de 48,60% no tratamento II.

No tratamento III verifica-se a pior condição para a cultura, uma vez que a baixa eficiência de armazenamento acarreta em todo o comprimento do sulco, lâmina de irrigação deficiente, embora a eficiência de aplicação seja de 100% e as perdas nulas.

4.4. Manejo da Irrigação

Como a semeadura ocorreu em período seco, nos dias 15 e 16/06, houve necessidade de se efetuar duas irrigações completas e iguais em todos os tratamentos, espaçadas de 5 dias, para proporcionar umidade suficiente à germinação, (Figura 12).

Após a emergência ocorrida no dia 25/06, foram efetuadas quatro irrigações, correspondentes aos dias 04/07, 12/07, 23/07 e 13/08.

Nas Figuras (13 a 20) é possível observar que há déficit hídrico nos tratamentos III e IV nos períodos de 26/06 a 27/07 (crescimento vegetativo) e de 12 a 19/08 (iní-

FIGURA 12 Sulcos e Lâminas de Água Provenientes da 1.^a Irrigação, Efetuada Logo Após a Semeadura.

FIGURA 13 - Precipitações Pluviométricas, Irrigações e Tensões da Água no Solo às Profundidades de 15, 30 e 45 cm durante o Ciclo Fenológico do Feijão Irrigado por Sulco. Início do Tratamento I.

FIGURA 14 - Precipitações Pluviométricas, Irrigações e Tensões da Água no Solo às Profundidades de 15, 30 e 45 cm durante o Ciclo Fenológico do Feijão Irrigado por Sulco. Final do Tratamento I.

Feijão Irrigado por Sulco. Início do Tratamento II.

Feijão Irrigado por Sulco. Final do Tratamento II.

FIGURA 18 - Precipitações Pluviométricas, Irrigações e Tensões de Água no Solo às Profundidades de 15, 30 e 45 cm durante o Ciclo Fenológico do Feijão Irrigado por Sulco. Final do Tratamento III.

FIGURA 19 - Precipitações Pluviométricas, Irrigações e Tensões da Água no Solo às Profundidades de 15, 30 e 45 cm durante o Ciclo Fenológico do Feijão Irrigado por Sulco. Início do Tratamento IV.

cio de florescimento e formação de vagens).

Foi observado nos tratamentos III e IV um atraso na maturação fisiológica de 8 dias e também houve atraso na formação de vagens com relação aos tratamentos I e II. Isto parece estar de acordo com Mac Master *et alii* (1965), citados por SALTER e GOODE (1967), que observaram maturidade das plantas mais cedo nos tratamentos que receberam unidade adequada do plantio ao florescimento, do que os tratamentos que receberam menor número de irrigações. Fato também observado por BERGAMASCHI (1984) no tratamento onde a deficiência de água ocorreu durante a formação dos botões florais e a floração. Observou-se ainda que, nos tratamentos III e IV, as vagens entraram em senescência e abscisão, ainda que rudimentares.

No final do 2º período seco e início das precipitações pluviométricas nos tratamentos III e IV verificou-se nova emissão de flores, provavelmente de gemas secundárias, e a maturação fisiológica não ficou bem caracterizada pelo fato de ter ocorrida intensa retenção foliar.

Segundo KEMP *et alii* (1974), citando vários autores, a abscisão de vagens, má formação de grãos e rendimentos reduzidos, estão associados com altas temperaturas e estresse hídrico durante a floração e o desenvolvimento de grãos, condição esta verificada para os tratamentos III e IV.

Já ROBINS e DÔMINGO (1956) constataram que, quando o estresse hídrico ocorre durante a floração, as plantas do feijoeiro se desenvolvem mais rapidamente. Por outro lado, DUBETZ e MAHALLE (1969), observaram que déficit hídrico na

pré-floração e floração retardou a colheita de feijão em uma semana, em relação as plantas com déficit hídrico em pós-floração.

Também KRETCHMER et alii (1980) observaram retardamento na maturação fisiológica do feijoeiro em condições de solo seco, com boa recuperação de rendimento de grãos uma vez suspenso o estresse.

Nas Figuras 13 a 20 estão representadas as precipitações, irrigações e tensões da água no solo, às profundidades de 15, 30 e 45 cm, durante o ciclo fenológico do feijoeiro irrigado por sulcos.

Nas Figuras 13, 14, 15 e 16, que correspondem ao início e final de sulco dos tratamentos I e II, respectivamente, observa-se que a cultura esteve a maior parte do seu ciclo sob tensões inferiores a 0,08 MPa, sob tensões maiores que esta isto se deu no máximo por 2 dias, quando então ocorreu uma chuva ou efetuou-se uma irrigação. Observa-se também uma variação das leituras tensiométricas somente no tensiômetro instalado a 15 cm de profundidade, ao passo que no localizado a 30 cm de profundidade observou-se variação somente quando a cultura estava no estágio de formação de grãos, excessão feita ao final do sulco no Tratamento II.

Nas Figuras 17, 18, 19 e 20, observa-se que a cultura nos tratamentos III e IV ficou submetida durante quase todo o ciclo a tensões superiores a 0,08 MPa, mesmo para o início do sulco no tratamento III, que recebeu através de irriga-

ções uma lâmina ao redor de 20 mm. Fato este explicado por se tratar de tratamento com vazão menor e consequentemente perímetro molhado menor, encontrando assim o sistema radicular das plantas dificuldade em atingir o bulbo úmido.

4.5. Análise de Crescimento

Nas Figuras 21 e 22 estão representadas as curvas de peso da matéria seca da parte aérea, índice de área foliar (IAF) ao longo do ciclo do feijoeiro, nos respectivos tratamentos e posições no sulco.

Ao analisar os resultados de acúmulo de matéria seca e de Índice de Área Foliar (IAF) correspondentes aos diferentes tratamentos, constata-se que ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos irrigados e não irrigado, o que está de acordo com o princípio de que a produção de matéria seca de uma comunidade de plantas é função da sua fotossíntese líquida que, por sua vez, depende da área foliar, como sugerem KUENEMANN et alii (1979).

Observa-se ainda na posição final dos sulcos dos diferentes tratamentos, gradientes decrescentes de IAF e de matéria seca acumulada, fato esperado, uma vez que os tratamentos nesta posição receberam lâminas decrescentes do I ao IV tratamento. Os efeitos sobre a formação de área foliar podem ser atribuídos a uma menor expansão dos folíolos, como também, pela abscisão das folhas inferiores (mais velhas) que foi ob-

FIGURA 21 - Peso da Matéria Seca da Parte Aérea ao Longo do Ciclo do Feijoeiro Cultivar Aroana 80, sob 4 Tratamentos de Irrigação por Sulco, nas Posições Início, Meio e Final de Sulco.

FIGURA 22 - Índice de Área Foliar (IAF) ao Longo do Ciclo do Feijoeiro Cultivar Aroana 80; sob 4 Tratamentos de Irrigação por Sulco, nas Posições Início, Meio e Final de Sulco.

servada no campo. RITCHIE (1981) ainda considera que além de afetar a expansão foliar, a deficiência hídrica do solo pode causar o enrolamento, morte parcial das folhas, diminuição de brotação, de polinização, de translocação e de enchimento de grãos.

Movimentos de paraheliotropismo foram bastante evidentes nas plantas sujeitas à deficiência hídrica. Este movimento, no sentido de orientar as folhas mais ou menos paralelamente à incidência de radiação solar, tem sido observado em feijoeiro (DUBETZ, 1969; LAWN, 1982 a, LAWN, 1982 b).

Outra observação foi a mudança da coloração dos folíolos, de verde claro para verde escuro, em resposta à deficiência de água no solo e à alta evapotranspiração. Este processo foi considerado por ROBINS e DOMINGO (1956) como sintoma de déficit hídrico nas folhas e indicativo da necessidade de irrigação.

Após as ocorrências das chuvas, em intensidade igual ou superior a das irrigações, as plantas dos tratamentos III e IV apresentaram sintomas de deficiências hídricas bem antes das plantas dos tratamentos I e II. Nesse aspecto, ROBINS e DOMINGO (1956) observaram nas folhas de plantas em início de floração, sintomas visuais de estresse quando o solo se apresentava com falta de água nos primeiros 33 cm, sendo que em plantas já florescidas, tal deficiência só foi observada para profundidades maiores; a isto os autores atribuíram diferenças na extensão do sistema radicular.

4.6. Parâmetros de Rendimento

Os dados dos parâmetros de rendimento: produtividade de grãos, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, número de nós por planta, número de ramificações por planta, comprimento de caule, matéria seca total da parte aérea por 10 plantas, foram submetidos a análise estatística em blocos casualizados com sub-parcelas em classificação hierárquica, sendo verificada uma diferença significativa entre os tratamentos, para todos os parâmetros, excessão feita a número de nós por planta.

A análise estatística dos parâmetros de rendimento relativo às posições início, meio e final de sulco, dentro dos tratamentos, não revelou diferença significativa, apesar de notar-se, um gradiente decrescente do início para o final do sulco e um ligeiro crescimento do início para o meio do sulco, com queda para a posição final, mesmo para os tratamentos I e IV. Isto leva a supor uma mancha de solo na área central com melhores condições físicas e químicas que as extremidades.

4.6.1. Produtividade de Graos

Comparando-se as médias das produtividades de grãos da Tabela 8, observa-se que em relação à testemunha não irrigada, os tratamentos I, II e III tiveram um aumento de pro-

dução de 70,1, 65,4 e 34,6%, respectivamente. As baixas produtividades de grãos dos tratamentos III e IV ficam bem caracterizadas pelo estresse hídrico sofrido pelas plantas nos períodos de pré-florescimento e florescimento; fato evidenciado por vários pesquisadores como KATTAN e FLEMING (1956), EL NADI (1970), RAGGI et alii (1972), MAGALHÃES e MILLAR (1978), GUNTON e EVENSON (1980), SILVEIRA et alii (1981) e SAWAZAKI et alii (1981).

TABELA 8 - Valores Referentes à Produtividade Média de Grãos em kg/ha, para os Diferentes Tratamentos no Início, Meio e Final de Sulco.

TRATAMENTO	INÍCIO	MEIO	FINAL	MÉDIA	
I	1548,9	1522,8	1307,8	1459,8	A
II	1384,8	1562,7	1312,3	1419,9	A
III	1144,2	1268,0	1054,1	1155,4	AB
IV	905,1	921,6	747,8	858,2	B

d.m.s. para tratamentos (Tukey 1%) = 356,6

d.m.s. para posições dentro dos tratamentos (Tukey 5%) = 480,3

Obs. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Pela análise estatística das produtividades de grãos apresentada na Tabela 9, pode-se verificar que o efeito dos tratamentos sobre a produtividade, foi altamente significativo ao nível de 1% de probabilidade. O efeito da interação tratamento x posição no sulco não foi significativo.

Comparando-se as médias de produtividade de grãos, observa-se que o maior rendimento ocorreu no tratamento I e o menor no tratamento IV. As médias referentes aos tratamentos I e II diferiram estatisticamente do tratamento IV.

Outro fato observado é que as plantas dos tratamentos ou posições que acusavam déficit hídrico no estágio de florescimento, mesmo recebendo água das chuvas ainda neste estágio, apresentaram baixos rendimentos, STOCKER (1974) verificou o mesmo para os estádios de pré-florescimento e florescimento.

4.6.2. Número de Vagens por Planta

Na Tabela 10 são mostrados os valores médios referentes ao número de vagens por planta obtidos nas posições início, meio e final do sulco, nos diferentes tratamentos.

TABELA 9 - Análise Estatística em Blocos Casualizados com Sub-Parcelas em Classificação Hierárquica para Produtividade de Grãos sob Diferentes Tratamentos de Irrigação por Sulco.

C. de Variação	G L	S Q	Q M	F
Blocos	4	2581288.7529	645322.1882	
Tratamentos (T)	3	3488085.9394	1162695.3134	10.750**
Resíduos	12	1297863.5634	108155.2969	

Parcela	19	7367238.2558		

Posições do Tratamento 1	2	175054.5783	87527.2891	0.910
Posições do Tratamento 2	2	166051.0626	83025.5313	0.863
Posições do Tratamento 3	2	115376.7656	57688.3828	0.600
Posições do Tratamento 4	2	91992.2813	45996.1406	0.478
Resíduos (B)	32	3075915.6269	96122.3633	

T O T A L	59	10991628.4453		

C.V. para Parcelas 26.882

C.V. para Sub-Parcelas 25.343

** Significativo a 1% de probabilidade

TABELA 10 - Número Médio de Vagens por Planta obtido no Início, Meio e Final do Sulco para Diferentes Tratamentos.

TRATAMENTO	INÍCIO	MEIO	FINAL	MÉDIA
I	11,5	12,5	12,6	12,2 A
II	14,5	13,6	10,1	12,7 A
III	9,6	12,5	7,7	9,5 AB
IV	7,7	10,3	7,4	8,5 B

d.m.s. para tratamentos (Tukey 5%) = 3,5

d.m.s. para posições dentro dos tratamentos (Tukey 5%) = 4,6

Obs. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Pela análise estatística do número de vagens por planta (Tabela 11), pode-se verificar que o efeito dos tratamentos foi significativo ao nível de 5% de probabilidade. O efeito da interação tratamento x posição no sulco foi significativo ao nível de 5% no tratamento III. Comparando-se as médias de cada tratamento, observa-se, maior número de vagens por planta no tratamento II e menor no tratamento IV.

As médias referentes aos tratamentos I e II diferiram estatisticamente do tratamento IV, houve também diferença estatística entre as médias das posições meio e final do sulco, no tratamento III.

TABELA 11 - Análise Estatística em Blocos Casualizados com Sub-Parcelas em Classificação Hierárquica para Número de Vagens por Planta sob Diferentes Tratamentos de Irrigação por Sulco.

C. de Variação	G L	S Q	Q M	F
Blocos	4	188.4341	47.1085	
Tratamentos (T)	3	178.7646	59.5882	5.785*
Resíduos	12	123.6045	10.3003	

Parcela	19	490.8032		

Posições do Tratamento 1	2	3.6840	1.8420	0.207
Posições do Tratamento 2	2	53.3320	26.6660	3.001
Posições do Tratamento 3	2	57.4120	28.7060	3.231
Posições do Tratamento 4	2	24.9173	12.4586	1.402
Resíduos (B)	32	284.2612	8.8831	

T O T A L	59	914.4099		

C.V. para Parcelas 29.575

C.V. para Sub-Parcelas 27.465

* Significativo a 5% de probabilidade

Diversos pesquisadores observaram esse efeito de estresse hídrico principalmente quando o déficit de água ocorreu durante a fase de florescimento, onde a exigência de água pela planta é maior. Assim, uma redução no balanço interno da água na planta, no período reprodutivo, tem influência direta na redução de vagens por planta, conforme observações de ROBINS e DOMINGO (1956), BERNARDO (1970), EL NADI (1970), MAGALHÃES (1978), BURMAN (1961), RESENDE (1979) e MIRANDA et alii (1977).

De acordo com DUBETZ e MAHALLE (1969), os efeitos diretos do estresse hídrico no estágio de crescimento integram para influenciar a quantidade de pegamento das flores e o desenvolvimento das vagens.

4.6.3. Número de Grãos por Vagens

Na Tabela 12 são mostrados os valores médios referentes ao número de grãos por vagem obtidos nas posições início, meio e final de sulco, nos diferentes tratamentos.

TABELA 12 - Número Médio de Grãos por Vagem obtidos no Início, Meio e Final do Sulco nos Diferentes Tratamentos.

TRATAMENTO	INÍCIO	MEIO	FINAL	MÉDIA
I	4,2	4,5	4,0	4,3 A
II	4,4	4,3	4,3	4,3 A
III	4,3	4,2	3,8	4,1 AB
IV	3,8	3,4	3,7	3,6 B

d.m.s. para tratamentos (Tukey 1%) = 0,50

d.m.s. para posições dentro dos tratamentos (Tukey 5%) = 0,6

Obs. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Pela análise estatística do número de grãos por vagem (Tabela 13), pode-se verificar que o efeito dos tratamentos foi altamente significativo ao nível de 1% de probabilidade. O efeito da interação tratamento x posição no sulco não foi significativo.

Comparando-se as médias, observa-se maior número de grãos por vagem nos tratamentos I e II e menor no tratamento IV. As médias referentes aos tratamentos I e II diferiram estatisticamente da do tratamento IV.

TABELA 13 - Análise Estatística em Blocos Casualizados com Sub-Parcelas em Classificação Hierárquica para Número de Grãos por Vagem sob Diferentes Tratamentos de Irrigação por Sulco.

C. de Variação	G L	S Q	Q M	F
Blocos	4	1.7473	0.4368	
Tratamentos (T)	3	3.8100	1.2700	6.087**
Resíduos	12	2.5033	0.2086	

Parcela	19	8.0606		

Posições do Tratamento 1	2	0.4013	0.2006	1.590
Posições do Tratamento 2	2	0.0853	0.0426	0.338
Posições do Tratamento 3	2	0.4973	0.2486	1.970
Posições do Tratamento 4	2	0.4120	0.2060	1.632
Resíduos (B)	32	4.0373	0.1261	

T O T A L	59	13.4940		

C.V. para Parcelas 11.167

C.C. para Sub-Parcelas 8.684

** Significativo a 1% de probabilidade

Esses resultados estão de acordo com o de outros pesquisadores, como STOCKER (1974) e MAGALHÃES (1978), que observaram uma redução no número de grãos por vagem em função da pouca disponibilidade de água no solo.

4.6.4. Número de Nós por Planta

Na Tabela 14 são mostrados os valores médios referentes ao número de nós por planta obtidos nas posições início, meio e final de sulco, nos diferentes tratamentos.

TABELA 14 - Número Médio de Nós por Planta obtido no Início, Meio e Final do Sulco, nos Diferentes Tratamentos.

TRATAMENTO	INÍCIO	MEIO	FINAL	MÉDIA
I	9,5	9,6	9,4	9,5 A
II	10,0	9,9	9,3	9,7 A
III	9,4	9,7	9,3	9,5 A
IV	8,8	9,2	9,0	9,0 A

d.m.s. para tratamentos (Tukey 5%) = 0,8

d.m.s. para posições dentro dos tratamentos (Tukey 5%) = 0,9

Obs. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Pela análise estatística do número de nós por planta (Tabela 15), pode-se verificar que não foram significativos o efeito dos tratamentos e a interação tratamento x posição.

Comparando-se as médias observa-se que o maior número de nós por planta foi observado no tratamento II e o menor no tratamento IV.

4.6.5. Número de Ramificações por Planta

Na Tabela 16 são mostrados os valores médios referentes ao número de ramificações por planta obtidos nas posições início, meio e final de sulco nos diferentes tratamentos.

Pela análise estatística do número de ramificações por planta Tabela 17, pode-se verificar que o efeito de tratamento foi significativo ao nível de 5% de probabilidade. O efeito de interação tratamento x posição no sulco não foi significativo.

Comparando-se as médias observa-se maior número de ramificações por plantas nos tratamentos I, II e III, que diferem estatisticamente do tratamento IV.

TABELA 15 - Análise Estatística em Blocos Casualizados com Sub-Parcelas em Classificação Hierárquica para Número de Nós por Planta sob Diferentes Tratamentos de Irrigação por Sulco.

C. de Variação	G L	S Q	Q M	F
Blocos	4	5.8493	1.4623	
Tratamentos (T)	3	4.5820	1.5273	2.583
Resíduos	12	7.0946	0.5912	

Parcela	19	17.5260		

Posições do Tratamento 1	2	0.0813	0.0406	0.134
Posições do Tratamento 2	2	1.5453	0.7726	2.560
Posições do Tratamento 3	2	0.5493	0.2746	0.910
Posições do Tratamento 4	2	0.5813	0.2906	0.963
Resíduos (B)	32	9.6559	0.3017	

T O T A L	59	29.9393		

C.V. para Parcelas	8.148			
C.V. para Sub-Parcelas	5.821			

TABELA 16 - Número Médio de Ramificações por Planta obtido no Início, Meio e Final do Sulco nos Diferentes Tratamentos.

TRATAMENTO	INÍCIO	MEIO	FINAL	MÉDIA
I	3,6	3,5	3,5	3,5 A
II	3,7	3,6	3,3	3,5 A
III	3,5	3,9	3,3	3,6 A
IV	2,8	3,0	2,5	2,8 B

d.m.s. para tratamento (Tukey 5%) = 0,7

d.m.s. para posições de tratamento (Tukey 5%) = 0,8

Obs. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

4.6.6. Comprimento do Caule (cm)

Na Tabela 18 são mostrados os valores médios referentes ao comprimento de caule obtidos nas posições início, meio e final de sulco, nos tratamentos.

Pela análise estatística do comprimento de caule (Tabela 19), pode-se verificar que o efeito de tratamentos foi significativo ao nível de 1% de probabilidade. A interação tratamento x posição no sulco não foi significativa.

TABELA 17 - Análise Estatística em Blocos Casualizados com Sub-Parcelas em Classificação Hierárquica para Número de Ramificações por Planta sob Diferentes Tratamentos de Irrigação por Sulco.

C. DE VARIAÇÃO	G L	S Q	Q M	F
Blocos	4	10.5643	2.6410	
Tratamentos (T)	3	7.0626	2.3542	5.216 *
Resíduos	12	5.4156	0.4513	

Parcela	19	23.0426		

Posições do Tratamento 1	2	0.0119	0.0059	0.020
Posições do Tratamento 2	2	0.5320	0.2660	0.921
Posições do Tratamento 3	2	0.9373	0.4686	1.623
Posições do Tratamento 4	2	0.6253	0.3126	1.082
Resíduos (B)	32	9.2399	0.2887	

T O T A L	59	34.3893		

C.V. para Parcelas 20.073

C.V. para Sub-Parcelas 16.056

* Significativo a 5% de probabilidade

TABELA 18 - Comprimento Médio de Caule (cm) obtido no Início, Meio e Final do Sulco nos Diferentes Tratamentos.

TRATAMENTO	INÍCIO	MEIO	FINAL	MÉDIA
I	27,9	26,8	26,6	27,1 A
II	26,1	28,4	23,6	26,0 A
III	24,8	25,9	22,5	24,4 A
IV	17,0	17,1	17,8	17,3 B

d.m.s. para tratamentos (Tukey 1%) = 6,2

d.m.s. para posições dentro dos tratamentos (Tukey 5%) = 6,3

Obs. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Comparando-se as médias observa-se maior comprimento de caule no tratamento I e menor no tratamento IV. As médias referentes aos tratamentos I, II e III diferiram estatisticamente do tratamento IV.

Esses resultados estão de acordo com MAURER et alii (1969) que observaram plantas mais altas nos tratamentos onde houve irrigação no período de pré-florescimento.

Ressaltam ainda HSIAO et alii (1979) que a primeira indicação de deficiência hídrica é a redução no tamanho da planta em comparação com aquelas cultivadas com ampla disponibilidade hídrica.

TABELA 19 - Análise Estatística em Blocos Casualizados com Sub-Parcelas em Classificação Hierárquica para Comprimento de Caule sob Diferentes Tratamentos de Irrigação por Sulco.

C. de Variação	G L	S Q	Q M	F
Blocos	4	245.4060	61.3515	
Tratamentos (T)	3	873.0385	291.0128	8.856**
Resíduos	12	394.2887	32.8573	

Parcela	19	1512.7333		

Posições do Tratamento 1	2	4.5626	2.2812	0.139
Posições do Tratamento 2	2	56.7546	28.3773	1.729
Posições do Tratamento 3	2	29.3448	14.6724	0.894
Posições do Tratamento 4	2	1.7605	0.8802	0.053
Resíduos (B)	32	524.9006	16.4031	

T O T A L	59	2130.0566		

C.V. para Parcelas 24.261

C.V. para Sub-Parcelas 17.142

** Significativo a 1% de probabilidade

4.6.7. Matéria Seca Total da Parte Aérea em Gramas por 10 Plantas

Na Tabela 20 são mostrados os valores médios, referentes a matéria seca da parte aérea em gramas por 10 plantas, obtidos nas posições início, meio e final de sulco, nos diferentes tratamentos.

TABELA 20 - Matéria Seca Total da Parte Aérea em Gramas por 10 Plantas obtida no Início, Meio e Final de Sulco nos Diferentes Tratamentos.

TRATAMENTO	INÍCIO	MEIO	FINAL	MÉDIA
I	130,3	150,0	132,5	137,6 A
II	158,1	156,7	112,0	142,3 A
III	105,7	137,4	77,6	106,9 AB
IV	78,7	95,5	70,9	81,7 B

d.m.s. para tratamentos (Tukey 1%) = 47,0

d.m.s. para posições dentro dos tratamentos (Tukey 5%) = 67,1

Obs. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Pela análise Estatística da matéria seca total em gramas por 10 plantas (Tabela 21), pode-se verificar que o efeito de tratamentos foi significativo ao nível de 1% de probabilidade. A interação tratamento x posição no sulco não foi significativa.

Comparando-se as médias observa-se que o peso de matéria seca total da parte aérea em gramas por 10 plantas nos tratamentos I e II diferiram estatisticamente do peso do tratamento IV.

O efeito do estresse hídrico acarreta uma redução na matéria seca total, traduzida por um decréscimo no índice de crescimento, cujos valores encontrados no presente trabalho, estão em concordância com os de diversos autores como KRAMER (1959; 1963), SLAYTER (1969), MILLAR (1972), HSIAO (1974) e BEGG e TURNER (1976).

A medida que decresce o teor de água no solo há uma redução no potencial de água na folha. Em decorrência há um decréscimo na abertura estomatal e uma eventual redução do índice de transpiração, sendo que, este efeito do fechamento dos estômatos acarreta maior redução no índice de crescimento do que no índice de transpiração MILLAR (1972).

O alongamento celular é um dos processos que contribuem basicamente para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A susceptibilidade das plantas a esse mecanismo foi claramente demonstrada por pesquisadores como BOYER (1970), HSIAO et alii (1970) e ACEVEDO et alii (1971), citado por

TABELA 21 - Análise Estatística em Blocos Casualizados com Sub-Parcelas em Classificação Hierárquica para Matéria Seca Total da Parte Aérea por 10 Plantas sob Diferentes Tratamentos de Irrigação por Sulco.

C. de Variação	G L	S Q	Q M	F
Blocos	4	35206.8101	8801.7025	
Tratamentos (T)	3	36185.4531	12061.8177	6.421**
Resíduos	12	22540.6562	1878.3880	

Parcela	19	93932.9194		

Posições do Tratamento 1	2	1156.7124	578.3562	0.308
Posições do Tratamento 2	2	6890.7175	3445.3587	1.838
Posições do Tratamento 3	2	8956.2201	4478.1100	2.390
Posições do Tratamento 4	2	1573.3296	786.6648	0.419
Resíduos (B)	32	59956.9429	1873.6544	

T O T A L	59	172466.8400		

C.V. para Parcelas 36.995

C.V. para Sub-Parcelas 36.948

** Significativo a 1% de probabilidade

BEGG e TURNER (1976).

4.7. Acréscimo de Produção Devido a Irrigação - Análise Econômica

Comparando as produções de grãos de 1459,8, 1419,9 e 1155,4 kg/ha com as lâminas de água utilizadas nas quatro irrigações de 215,08, 133,2 e 109,0 mm, observa-se que, para um acréscimo na produção de 601,6, 561,7 e 297,2 kg/ha foram gastos 0,36, 0,24 e 0,37 mm de água por quilograma de feijão, respectivamente, quando comparados com a testemunha.

Embora o tratamento II tenha produzido um pouco menos que o tratamento I, 1419,9 e 1459,8 kg/ha, respectivamente, gastou na condução da irrigação 38% menos de água.

Em decorrência deste fato, foi efetuada uma avaliação econômica superficial que, forneceu os resultados apresentados nas Tabelas 22 e 23.

Da análise das Tabelas verifica-se que embora o tratamento II tenha consumido 38% menos de água em relação ao tratamento I, a receita líquida desses tratamentos, praticamente se equivalem, o que vem demonstrar que o preço da água tem peso pequeno em relação aos demais insumos, para as condições do experimento.

O tratamento II teria importância relevante se a cultura fosse conduzida em regiões semi-áridas, onde além do custo elevado há escassez de água,

TABELA 22 - Custo da Produção do Feijão sem Considerar a da Irrigação.

I T E M	UNIDADE	QUANTIDADE POR HA	PREÇO UNITÁRIO	VALOR TOTAL
Insumos				
Semente	kg	55	2.130	117.150
Sulfato de Amônia	kg	100	650	65.000
Superfosfato Simples	kg	400	430	172.800
Defensivos	L	1	100.000	100.000
Sacos	Unid.	24	600	14.400
Preparo do Solo e Semeadura				
Aração	h/TR	3.5	14.000	49.000
Gradagem	h/TR	2.5	14.000	35.000
Semeadura e Adubação	d/h	5.0	10.000	50.000
Tratos Culturais				
Cultivo Manual	d/h	5.0	10.000	50.000
Aplicação de Defensivos	d/h	1.5	10.000	15.000
Adubação de Cobertura	d/h	0.5	10.000	5.000
Colheita e Beneficiamento				
Colheita Manual	d/h	7	10.000	70.000
Secagem	d/h	1	10.000	10.000
Bateção	h/Trilh.	4	28.000	112.000

TOTAL GERAL

Cr\$ 865.250

TABELA 23 - Análise da Relação Benefício/Custo.

TRATAMENTO	RECEITA BRUTA Cr\$	CUSTO DE PRODUÇÃO Cr\$	CUSTO DA IRRIGAÇÃO Cr\$	CUSTO TOTAL Cr\$	RECEITA LÍQUIDA Cr\$	B/C
I	1.702.170	865.350	137.080	1.002.430	699.740	1,697
II	1.655.500	865.350	100.126	965.476	690.024	1,715
III	1.351.000	865.350	89.260	954.556	396.444	1,414
IV	1.001.000	865.350	-	865.350	135.650	1,157

B/C = Benefício/Custo

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos suportam as seguintes conclusões:

1) Em dois períodos secos na cultura do feijoeiro, de 26/06 a 27/07 (crescimento vegetativo) e de 12 a 19/08 (florescimento), relativos aos tratamentos menos irrigado e não irrigado, ocorreram reduções nos valores dos componentes de rendimento como a produtividade, número de grãos por vagem, número de vagens por planta, número de ramificações por planta, comprimento de caule e matéria seca total da parte aérea por 10 plantas, o que não foi verificado para número de nós por planta.

2) Os tratamentos de 0% da lâmina no final do sulco e não irrigado tiveram seu ciclo de desenvolvimento retardado em 8 dias, em relação aos tratamentos que receberam 50 e 100% da lâmina no final do sulco, em virtude de chuvas posteriores aos períodos de déficit hídrico, ocorridas nos estádios de crescimento vegetativo e florescimento.

3) Nos tratamentos de 50 e 0% de lâmina útil no final do sulco, apesar da análise estatística não ter revelado diferenças significativas entre os parâmetros de crescimento obtidos para os segmentos início, meio e final de sulco, nota-se um decréscimo dos seus valores, do início para o final do sulco.

4) Devido a irrigação complementar, efetuada nos períodos de crescimento vegetativo e florescimento, houve um aumento de produtividade, em relação à testemunha, de 601,6, 561,7 e 297,2 kg/ha, nos tratamentos com 100, 50 e 0% da lâmina útil aplicada no final do sulco, com gastos de 0,36, 0,24 e 0,37 milímetros de lâmina de água por quilograma de feijão, respectivamente, para as condições do experimento.

6. LITERATURA CITADA

AZEVEDO, H.M.; H.O. CARVALHO e A.A. MILLAR, 1975. Caracterização da Infiltração em Sulcos Abertos e Fechados. In: III Seminário Nacional de Irrigação e Drenagem, Fortaleza, (Resumo). 10p.

BASCUR, B.G. e F.N. FRITSCH, 1975. Efeitos de Métodos y Frecuência de Riego sobre Componentes de Rendimiento en Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Agricultura Técnica. Chile, 35 (3): 147-152.

BEGG, J.E. e N.C. TURNER, 1976. Crop Water Deficits. Advances in Agronomy. New York, 28: 161-217.

BERGAMASCHI, H., 1984. Perda de água e desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob efeito de diferentes condições de disponibilidade hídrica no solo e demanda evaporativa da atmosfera. Piracicaba, ESALQ/USP, 204p. (Tese de Doutorado).

BERNARDO, S.; J.D. GALVÃO; H. GUERINI e J.B. de CARVALHO, 1970.

Efeito de Níveis de Água no Solo sobre a Produção do Feijoeiro (Phaseolus vulgaris, L.). Seiva. Viçosa, 30: 7-13.

BERNARDO, S.; M. RESENDE e J.A. ARAÚJO. 1977. Eficiência de

Irrigação em Sulco com Redução da Vazão Inicial. Revista Ceres. Viçosa, 24(133): 261-277.

BERNARDO, S., 1978. Determinação da Perda D'água por Percolação e por "Runoff" em Irrigação por Sulco. Revista Ceres.

Viçosa, 25(138): 169-178.

BERNARDO, S. 1982. Manual de Irrigação. 2ª ed. Viçosa, Imprensa Universitária. 463p.

BURMAN, R.D. e D.W. BOHMONT, 1961. Evaluating the growth rate

of great northern beans as influenced by soil moisture level under greenhouse conditions. Agronomy Journal.

Madison, 53: 354-355.

CAIXETA, T.J.; R. MARINATO e M.S. FRANÇA-DANTES, 1978. Efeito

da Aplicação de Quatro Lâminas Totais de Água e Três Níveis de Fertilizantes no Rendimento do Feijoeiro Comum (Phaseo-

lus vulgaris, L.) I. EPAMIG, Projeto Feijão. Relatório 73/75, Belo Horizonte.

- CHAMBERLAIN, A.R., 1952. Measuring Water in Small Channels With W.S.C. Flume. Circular Washington, Agriculture Experimental Station., Washington n° 200, 9p.
- CRIDDLE, W.D.; S. DAVIS; C.H. PAIR e D.G. SHOCKELEY, 1956. Methods for Evaluating Irrigation Systems. In: USDA Agriculture Handbook. 82: 03-10.
- DASBERG, S. e J.W. BAKKER, 1970. Characterizing Soil Aeration Under Changing Soil Moisture Conditions for Bean Growth. Agronomy Journal. Madison, 62(6): 689-692.
- DUBETZ, S. e P.S. MAHALLE, 1969. Effect of Soil Water Stress on Bush Beans. Phaseolus vulgaris, L. at Three Stages of Growth. Journal of American Society for Horticultural Science. Geneva, 49: 479-657.
- DUBETZ, S., 1969. An Unusual Photonastism Induced by Drought in *Phaseolus vulgaris*. Canadian Journal Botany. Ottawa, 47: 1640-1641.
- EL NADI, A.H., 1970. Water Relations of Beans. II. Effects of Differential Irrigation on Yield and Seed Size of Broad Beans. Experimental Agriculture. London, 6: 107-111.

- FEHR, W.R. e C.E. CAVINESS, 1977. Stages of Soybeans Development. Ames, Iowa State University of Science and Technology. 11p. (Special Report, 80).
- GABELMAN, W.H. e D.D. F. WILLIAMS, 1960. Developmental Studies with Irrigated Snap Beans. Wisconsin, 57p. (Research Bulletin nº 221).
- GARRIDO, M.A.T. e H.A. TEIXEIRA, 1978a. Efeito de Diferentes Níveis de Umidade do Solo sobre o Rendimento do Feijoeiro Comum na Região Sul de Minas Gerais. EPAMIG, Projeto Feijão, Relatório 75/76, Belo Horizonte.
- GARRIDO, M.A.T. e H.A. TEIXEIRA, 1978b. Efeito de Diferentes Níveis de Umidade do Solo sobre o Rendimento do Feijoeiro Comum na Região Sul de Minas Gerais. EPAMIG, Projeto Feijão, Relatório 76/77, Belo Horizonte.
- GARRIDO, M.A.T.; J.R.C. PURCINO e C.A.S. LIMA, 1979a. Efeito do Déficit de Água em Alguns Períodos de Ciclos de Crescimento sobre o Rendimento do Feijoeiro Comum. EPAMIG, Projeto Feijão, Relatório 77/78, Belo Horizonte.
- GODOY, O.P.; J.T.M. ABRAHÃO; C. GODOY Jr.; R. GODOY e A. PETTA, 1966. A Irrigação do Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista de Agricultura. Piracicaba, 41(4): 145-153.
- GRAY, M.D. e C.E. BEER, 1957. Factors Affeting Section of Proper "length-of run" as Applied to Furrow Irrigation Design. Iowa Agric. Exp. Sta., 8p.

- GUNTON, J.L. e J.P. EVENSON, 1980. Moisture Stress in Navy Beans. Effect of Withholding Irrigation at Different Phenological Stages on Growth and Yield. Irrigation Science. Berlin, 2 (1): 49-58. Apud: Soils and Fertilizers, 45 (3): 293, 1982.
- HANSEN, V.E., 1953. Water Storage Efficiency. Journal Agricultural Engineering. 34 (2): 825-833.
- HANSEN, V.E., 1960. New Concepts in Irrigation Efficiency. Transactions of the ASAE. St. Joseph, 3(1): 55-64.
- HORNER, G.M. e M. MOJTEREDI, 1970. Yield of grain legumes as affected by Irrigation and Fertilizer Regimes. Agronomy Journal. Madison, 62: 449-450.
- INFORZATO, R. e S. MIYASAKA, 1963. Sistema Radicular do Feijoeiro em Dois Tipos de Solo do Estado de São Paulo. Bragantia. Campinas, 22: 477-481.
- KATTAN, A.A. e J.W. FLEMING, 1956. Effect of Irrigation at Specific Stages of Development on Yield, Quality, Growth and Composition of Snap Beans. Proceeding of the American Society for Horticultural Science. Geneva, 68: 329-392.

KEMP, G.A.; K.K. KROGMAN e E.H. HOBBS, 1974. Effect of Sprinkler Irrigation and Cooling on Yield and Quality to Snap Bean. Canadian Journal of Plant Science. Ottawa, 54: 521-528.

KOSTIAKOV, A.N., 1972. On the Dynamics of the Coefficient of Water Percolation in Soils and on the Necessity for Studying it from a Dynamic Point of View for Purposes of Ameleoration. Trans. Com. Intern. Society Soil Science Russian. 6 th, Part A, p. 17-21.

KRAMER, P.J., 1959. The Role of Water in the Physiology of Plants. Advances in Agronomy, New York, 11:51-70.

KRAMER, P.J., 1963. Water Stress and Plant Growth. Agronomy Journal, Madison, 55 (1): 31-35.

KRETCHMER, P.J.; D.R. LAING e S. ZULVAGA, 1980. Uso del Termómetro Infrarrojo para la Selección por Tolerancia a Sequia en Phaseolus vulgaris L. Cali (Colômbia), CIAT. 10p.

KUENEMANN, E.A.; D.A. WALLACE e P.M. LUDFORD, 1979. Photosynthetic Measurements of Field Growth Dry Beans and Their Relations to Selection for Yield. Journal of American Society for Horticultural Science. Geneve, 104(4): 480-482.

LAWN, R.J., 1982a. Response of Four Grain Legumes to Water Stress in South-eastern Queensland. I. Physiological Response Mechanisms. Australian Journal of Agricultural Research. Melbourne, Australia, 33: 481-496.

LAWN, R.J., 1982b. Response of Four Grain Legumes to Water Stress in South-eastern Queensland. II. Plant Growth and Soil Water Extraction Patterns. Australian Journal of Agricultural Research. Melbourne, Australia, 33: 497-509.

LAWN, R.J., 1982c. Response of Four Grain Legumes to Water Stress in South-eastern Queensland III. Dry Matter Production, Yield and Water Use Efficiency. Australian Journal of Agricultural Research. Melbourne, Australia, 33: 511-521.

LINDERMAN, C.L.; E.C. STEGMAN, 1971, Seasonal Variation of Hydraulic Parameters and Their Influence Upon Surface Irrigation Application Efficiency. Transaction of ASAE. St. Joseph, 14(5): 914-918.

MACK, H.J. e A.R. BONANNO, 1981. Water Stress Reduces Bush Beans and Sweet Corn Yields. Oregon Vegetable Digest. 30(4): 1-2.

MAGALHÃES, A.A. e A.A. MILLAR, 1978. Efeito do Déficit de Água no Período Reprodutivo sobre a Produção do Feijão. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, 13 (2): 55-60.

MAGALHÃES, A.A.; A.A. MILLAR e E.N. CHOUDHURY, 1979. Efeito do Déficit Fenológico de Água sobre a Produção do Feijão. Turrialba, Turrialba, 29 (4): 269-273.

MAURER, A.R.; D.P. ORMROD e N.J. SCOTT, 1969. Effect of Five Soil Water Regimes on Growth and Composition of Snap Beans. Canadian Journal of Plant Science. Ottawa, 49(3): 271-278.

MILLAR, A.A. e W.R. GARDNER, 1972. Effect of the Soil Water Potentital on the Dry Matter Production of Snap Beans. Agromony Journal. Madison, 64 (5) : 559-562, set.-out.

MILLAR, A.A. e E.N. CHOUDHURY; 1980. A Model to Define Operation Irrigation Frequency for Maximum Yield of Crop. Turrialba. Turrialba, 30(4): 391-398.

MIRANDA, O.e C. BELMAR, 1977. Déficit Hídrico y Freqüência de Riego en Frijol (Phaseolus vulgaris, L.) Agricultura Técnica. Chile, 37: 111-117.

- MUIRHEAD, D.A. e R.J.G. WHITE, 1981. The Influence of Soil Water Potential on the Flowering Pattern, Pod Set and Yield of Snap Beans (Phaseolus vulgaris L.). Irrigation Science, New York, 3: 45-56.
- NETTLES, F.V., 1948. Two Years Results of the Effect of Several Irrigation Treatments on the Yield of Cabbage and Snap Beans. Proceedings of the American Society Horticultural Science, Geneva, 51: 463-467.
- PAES CAMARGO, A.; H.S. PINTO; M.J. PEDRO Jr.; R.R. ALFONSI e A.A. ORTOLANI, 1974. Clima do Estado de São Paulo. In: SAEESP. Inst. Agrônômico. Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo. São Paulo, vol. 1.
- RADLEY, L. e A. PANOYA, 1970. Furrow Irrigation with Decreasing Inflow Rate. Journal Irrigation and Drainage Division. ASCE. Ann Arbor, 96(4): 451-460.
- RAGGI, L.A.; S. BERNARDO e J.D. GALVÃO, 1972. Efeito do Turno de Rega em Três Fases do Ciclo do Feijoeiro. Seiva. Viçosa, 32(76): 35-42.
- REICHARDT, K.; P.L. LIBARDI e J.M. SANTOS, 1974. An Analysis of Soil Water Movement in the Field. II. Water Balance in a Snap Bean Crop. Piracicaba, CENA/ESALQ. 19p. (Boletim Científico, BC-022).

- RESENDE, M., 1979. Effects of High and Normal Frequency Deficit Irrigation on Crop Development and Yield of Kidney Bean (*Phaseolus vulgaris*, L.). Davis University of California. Apud: Dissertation Abstracts International. Ann Arbor, 40 (10): 4595B, 1980.
- RICHARDS, L.A., 1947. Pressure Membrane Apparatus, Construction and Use. Agricultural Engineering. St. Joseph, 28: 451-454.
- RITCHIE, J.T., 1981. Water Dynamics in the Soil - Plant - Atmosphere System. Plant and Soil. The Hague, 58: 81-96.
- ROBINS, J.S. e C.E. DOMINGOS, 1956. Moisture Déficits in Relation to the Growth and Development of Dry Beans. Agronomy Journal. Madison, 48: 67-70.
- SALTER, P.J. e J.C. GOODE, 1967. Crop Responses to Water at Different Stage of Growth. Bucks, Commonwealth Agricultural Bureaux. p. 52-57 (Rewew, 2).
- SAWAZAKI, H.E. e J.P.F. TEIXEIRA, 1981. Estresse de Água no Crescimento, Produtividade e Acúmulo de Prolina em Feijão. Bragantia. Campinas, 40: 157-166.

SILVEIRA, P.M. da; J.R. FONSECA e C.M. GUIMARÃES, 1981. Consumo de Água pelo Feijão de 3ª Época Irrigado por Aspersão. Goiânia, Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, 15p. (Comunicado Técnico 9).

SLATYER, R.O. 1969. Physiological Significance of Internal Water Relations to Crop Yields. In: EASTIN, J.D. ed. et alii. Physiological Aspects of Crop Yield. Madison, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America. 396p.

SOUZA, S.A., 1977. Manejo del Agua de Riego Bajo Diferentes Métodos de Labranza em Maiz (Zea mays L.). Chapingo, Escuela Nacional de Agricultura, 232p. (Tese de Mestrado).

STANSEL, J.R. e D.A. SMITTLE, 1980. Effects of Irrigation Regimes on Yield and Water Use of Snap Bean (Phaseolus vulgaris, L.). Journal American Society for Horticultural Science. Geneva, 105: 869-873.

STOCKER, R. 1974. Effect on Dwarf Beans of Water Stress at Different Phases of Growth. New Zealand Journal of Experimental Agriculture. Wellington, 2 (1): 13-15. apud: Field Crops Abstracts, 1974, Aberystwyth, 27 (10): 526.

VAZIRI, C.M.; H.G. COLLINS e W.N. REYNOLDS, 1973. Furrow Irrigation Criteria for Hawaiian Sugarcane. Journal Irrigation and Drainage Division, ASCE. Ann Arbor, 99 (1): 1-14.

VAZIRI, C.M. e I.P. WU., 1972. Volume Balance Analysis to Determine Water Infiltration and Efficiency in Hawaiian Sugarcane Furrows. Hawaiian Planters Record. Honolulu 58 (20): 283-292.

VIEIRA, J.L.T.M. e E.V. GATTI, 1983. Evolução da Produção do Feijão. Informações Econômicas, São Paulo, 13 (5): 19-28, Maio.

WILLARDSON, L.S. e A.A. BISHOP., 1967. Analysis of Surface Irrigation Application Efficiency. Journal Irrigation and Drainage Division. ASCE, Ann Arbor, 93 (2): 21-36.