**O DÉFICIT DE IRRIGAÇÃO COMO ESTRATÉGIA DE MANEJO
DA ÁGUA EM FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.)**

ANTONIO MELHEM SAAD
Geólogo

Orientador: Prof. Dr. PAULO LEONEL LIBARDI

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", da
Universidade de São Paulo, para obtenção
do título de Doutor em Agronomia, Área
de Concentração: Irrigação e Drenagem

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Abril - 1996

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Saad, Antonio Melhem

O déficit de irrigação como estratégia de manejo da água em feijoeiro
(*Phaseolus vulgaris* L.) / Antonio Melhem Saad. - - Piracicaba, 1996.
147p. : il.

Tese (doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1996.
Bibliografia.

1. Água de irrigação - Manejo 2, Feijão irrigado - Manejo 3. Irrigação - Manejo
I. Título

CDD 631.7
635.652

O DÉFICIT DE IRRIGAÇÃO COMO ESTRATÉGIA DE MANEJO DA ÁGUA EM FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.)

ANTONIO MELHEM SAAD

Aprovada em: 05/06/96

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Paulo Leonel Libardi	Esalq/Usp
Prof. Dr. José Antonio Frizzone	Esalq/Usp
Prof. Dr. Marcos Vinicius Folegatti	Esalq/Usp
Prof. Dr. João Carlos Cury Saad	FCA/Unesp
Dr. Ariovaldo Lucchiari Júnior	CNPMA/Embrapa

Prof. Dr. Paulo Leonel Libardi

Orientador

*Aos meus pais e aos meus sogros
dedico.*

*À minha esposa e
às minhas filhas
ofereço.*

AGRADECIMENTOS

- À comissão de pós-graduação em Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Rural (Der) da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", pela oportunidade da realização do curso de Doutorado;
- Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas-IPT, na pessoa do Geól. Álvaro Rodrigues dos Santos, por acreditar e confiar na nossa equipe;
- Ao prof. Dr. Paulo Leonel Libardi, por sua dedicação, compreensão e grande incentivo durante a realização desse trabalho;
- Aos colegas do Laboratório de Física de Solos da Divisão de Geologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, Marcio Lucio Gonzaga, Samuel Sussumu Agena, José Aparecido Silvério dos Santos, Sebastião Fernandes da Silva Jr., Mario Lucio Conti e Reginaldo Passos da Cruz pelo apoio e dedicação nos trabalhos de campo e laboratório;
- À Eng. Agrônoma Andrea Campmany Vieira pelo auxílio nos trabalhos de campo e no tratamento estatístico dos resultados;
- Aos Profs. Drs. José Antonio Frizzzone (Der-Esalq/Usp) e Sergio Oliveira Moraes (DFM-Esalq/Usp), pelas sugestões e discussões durante a elaboração desse trabalho;
- Ao CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudos concedida;
- Ao Departamento de Ciência e Tecnologia (Dcet) da Secretaria de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico do Governo do Estado de São Paulo, através do processo nº 01173/92 e a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), através de contrato de pesquisa nº 6405/R1/RB pelo apoio financeiro recebido;
- Aos Srs. Antônio de Oliveira Lima e Gustavo Peixoto Lima, proprietários da Fazenda Recanto da Barcelona, pela cessão das áreas experimentais e dos insumos básicos;
- Aos técnicos agrícolas Francisco Otávio Alves Ferreira (IAC/Cepar- Guaíra), Marcio Luís Manfrin (Cepar-Guaíra) pelo apoio nos trabalhos de campo e de Luiz Fernando Novello, Francisco Bernardo Dias, do DFM/Esalq/Usp, pelo auxílio na digitação dos resultados e textos;
- Às bibliotecárias Eliana M. Garcia Sabino e Kátia M. de Andrade Ferraz, da Didb/Esalq/Usp, pela revisão das referências bibliográficas;
- Ao Eng. Agrônomo, Oscar Vieira e ao acadêmico (Esalq/Usp) Marcio F. Maranhão pelo auxílio no tratamento dos dados computacionais;
- Aos funcionários dos Departamentos de Física e Meteorologia - (DFM) e de Engenharia Rural - (Der) da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Esalq/Usp, pela gentileza no atendimento aos trabalhos de escritório.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE SÍMBOLOS	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS.....	xii
RESUMO.....	xv
SUMMARY	xviii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.1. Caracterização da área experimental.....	13
3.1.1. Propriedades físico-hídricas dos solos	14
3.2. Planejamento experimental.....	18
3.3. Fenologia.....	23
3.4. Tratos agronômicos	23
3.5. Balanço hídrico	25
3.5.1. Instrumentação do solo	33
3.6. O Sistema de Irrigação.....	35
3.7. Critérios de quando e quanto irrigar	36
3.7.1. A aplicação dos déficits de irrigação.....	38
3.8. Qualidade das irrigações	39
3.8.1. Uniformidade de distribuição e eficiências de aplicação e armazenagem.....	40
3.8.2. Eficiência do uso da água pela cultura.....	43
3.9. Produção e componentes da produção do feijoeiro.....	44
3.10. Função de produção.....	44
3.11. Fator de rendimento do feijoeiro (ky)	46
3.12. Avaliação econômica do déficit de irrigação	48
3.12.1. Custo de produção	49
3.12.2. O preço do produto.....	51

3.12.3. Receitas bruta, líquida e custo do déficit de irrigação	52
3.12.4. O custo do déficit de irrigação em função do aumento do custo da água.	55
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.1. Duração dos estádios fenológicos.....	57
4.2. Precipitação pluvial, irrigação e déficit de irrigação	58
4.3. A qualidade das irrigações.....	59
4.3.1. As eficiências das lâminas de água sem déficit	61
4.3.2. As eficiências das lâminas de água com déficit.....	63
4.4. O déficit de água no solo.....	64
4.5. Balanço hídrico do feijoeiro	75
4.5.1. A evapotranspiração	78
4.5.2. A drenagem interna.....	82
4.6. Rendimento de grãos	86
4.6.1. Déficit de irrigação e rendimento de grãos.....	90
4.6.2. Déficit de evapotranspiração e rendimento de grãos	97
4.6.3. Eficiência do uso da água.....	101
4.7. Análise econômica do déficit de irrigação	102
4.7.1. Os custos de produção	103
4.7.2. Receita bruta.....	105
4.7.3. Receita líquida	107
4.7.4. O custo do déficit de irrigação	111
4.7.5. O custo do déficit em função dos aumentos de custo da água de irrigação.....	113
5. CONCLUSÕES	118
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	120
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123
APÊNDICE.....	129

LISTA DE SÍMBOLOS

	unidade
$\bar{q}$: densidade de fluxo.....	cm.s^{-1}
$\bar{\nabla}\phi_h$: vetor gradiente de potencial hidráulico.....	cm.cm^{-1}
θ : umidade volumétrica	m^3/m^3
θ_{atual} : teor médio de água no perfil de solo no momento das leituras antes das irrigações.....	m^3/m^3
θ_{cc} : teor de água do solo a capacidade de campo.....	m^3/m^3
θ_r : umidade residual.....	m^3/m^3
θ_s : umidade de saturação	m^3/m^3
α, m, n : parâmetros empíricos de ajuste da curva de retenção de água no solo.	
ΔA_R : variação de armazenagem	mm
Δh : diferença de potencial total entre o topo e a base da camada de solo considerada no balanço hídrico	MPa
ϕ_m : potencial mátrico de água no solo	MPa
ϕ_n : potencial de água no solo	MPa
Δz : espessura da camada de solo.....	m
ϕ_z : potencial gravitacional.....	MPa
AC : ascensão capilar.....	mm
A_R : armazenagem da água no solo	mm
CAD : capacidade de água disponível no solo para as plantas.....	mm
CD : custo do déficit de irrigação	$\text{R\$/ha}$
C_i : custo unitário da água	$\text{R\$/1000 m}^3$
$C_{i\text{ max}}$: custos máximos da água	$\text{R\$/ha}$
$C_{i\text{ med}}$: custos médios da água	$\text{R\$/ha}$
$C_{i\text{ min}}$: custos mínimos da água	$\text{R\$/ha}$

C_{id} : custos totais da água nos tratamentos com déficit.....	R\$/ha
C_{isd} : custo total da água no tratamento sem déficit	R\$/ha
C_o : custos não associados a irrigação	R\$/ha
$C_{o\ max}$: custos máximos não associados a irrigação.....	R\$/ha
$C_{o\ med}$: custos médios não associados a irrigação	R\$/ha
$C_{o\ min}$: custos mínimos não associados a irrigação	R\$/ha
CR : contagem relativa das leituras da sonda de nêutrons.	
C_w : custo total de produção	R\$/ha
D : drenagem interna	mm
E : evaporação direta da água do solo	mm/dia
e_c : eficiência do uso da água pela cultura	kg/m ³
e_f : eficiência do uso da água no campo.....	kg/m ³
ET : evapotranspiração	mm/dia
ET_a : evapotranspiração atual	mm/dia
ET_m : evapotranspiração máxima	mm/dia
I : irrigação.....	mm
K : condutividade hidráulica	mm/dia
k_y : fator de rendimento da cultura.	
p : fração da CAD	%
P : precipitação	mm
P_p : preço do produto	R\$/saca 60 kg
R : escoamento superficial	mm
RL : receita líquida	R\$/ha
T : transpiração da cultura	mm/dia
W : lâmina total de água (irrigação + precipitação pluvial)	mm ou m ³ /ha
$W_{m\ IIII}$: lâminas média de água aplicada na parcela, via irrigação no Tratamento IIII	mm ou m ³ /ha
$W_{m\ OIII}$: lâminas média de água aplicada na parcela, via irrigação no Tratamento OIII	mm ou m ³ /ha

W_{mIOII} : lâminas média de água aplicada na parcela, via irrigação no	
Tratamento IOII.....	mm ou m ³ /ha
W_{mIIOI} : lâminas média de água aplicada na parcela, via irrigação no	
Tratamento IIOI.....	mm ou m ³ /ha
W_{mIIIO} : lâminas média de água aplicada na parcela, via irrigação no	
Tratamento IIIO.....	mm ou m ³ /ha
W_{mOOOO} : lâminas média de água aplicada na parcela, via irrigação no	
Tratamento OOOO.....	mm ou m ³ /ha
Y_a : rendimento atual da cultura, equivalente aos rendimentos dos tratamentos	
com déficit de irrigação	kg/ha
Y_m : rendimento máximo da cultura equivalente ao rendimento do tratamento	
sem déficit de irrigação.....	kg/ha
Y_w : rendimento da cultura	kg/ha
Y_{wd} : rendimento da cultura para os tratamentos com déficit	kg/ha
Y_{wsd} : rendimento da cultura para o tratamento sem déficit.....	kg/ha
V : quantidade de água utilizada para o crescimento da cultura	mm
z : profundidade da camada de solo	m

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva de retenção de água nas profundidades 0,10; 0,20; 0,30 m.....	15
Figura 2 - Curva de retenção de água nas profundidades 0,45 e 0,60 m.....	16
Figura 3 - Arranjo experimental	21
Figura 4 - Vista geral do experimento	22
Figura 5 - Esquema da parcela experimental.....	22
Figura 6 - Disposição dos coletores de água para a realização do ensaio de uniformidade de distribuição	27
Figura 7 - Irrigação com monitoramento de água aplicada.....	28
Figura 8 - Detalhe do manômetro de mercúrio dos tensiômetros	34
Figura 9 - Sonda de nêutrons	35
Figura 10 - Sistema de irrigação e tubulação de adução.....	36
Figura 11 - Escoamento superficial na parcela sem déficit de irrigação	39
Figura 12 - Variação do preço do feijão no Estado de São Paulo entre os meses de janeiro 1985 e fevereiro de 1995.	52
Figura 13 - Aumento do custo médio da água (R\$/mm/ha).....	55
Figura 14 - Aumento do custo máximo da água (R\$/mm/ha).....	56
Figura 15 - Aumento do custo mínimo da água (R\$/mm/ha).....	56
Figura 16 - Variação temporal dos valores de água disponível no solo na camada 0,00 a 0,30 m no tratamento I I I I	65
Figura 17 - Variação temporal dos valores de água disponível no solo na camada 0,00 a 0,30 m no tratamento 0 I I I	66

Figura 18 - Variação temporal dos valores de água disponível no solo na camada 0,00 a 0,30 m no tratamento IOII.	66
Figura 19 - Variação temporal dos valores de água disponível no solo na camada 0,00 a 0,30 m no tratamento IIOI.	67
Figura 20 - Variação temporal dos valores de água disponível no solo na camada 0,00 a 0,30 m no tratamento IIIIO.	67
Figura 21 - Variação temporal dos valores de água disponível no solo na camada 0,00 a 0,30 m no tratamento OOOO.	68
Figura 22 - Valores de potencial mátrico da água no solo antes das irrigações, na profundidade de 0,10 m, durante o primeiro estágio fenológico (desenvolvimento vegetativo).	72
Figura 23 - Valores de potencial mátrico da água no solo antes das irrigações, na profundidade de 0,20 m, durante o segundo estágio fenológico (floração).	72
Figura 24 - Valores de potencial mátrico da água no solo antes das irrigações, na profundidade de 0,20 m, durante o terceiro estágio fenológico (enchimento de grãos).	73
Figura 25 - Valores de potencial mátrico da água no solo antes das irrigações, na profundidade de 0,20 m, durante o último estágio fenológico (maturação).	73
Figura 26 - Valores de potencial mátrico da água no solo antes das 16 irrigações, na profundidade de 0,10 m nos tratamentos IIIII e OOOO.	74
Figura 27 - Valores de evapotranspiração por fase de desenvolvimento da cultura na camada 0,00 m a 0,25 m.	79
Figura 28 - Valores de evapotranspiração por fase de desenvolvimento da cultura estimada na camada 0,00 a 0,45 m.	80

Figura 29 - Valores de evapotranspiração da cultura do feijoeiro.....	81
Figura 30 - Drenagem interna no tratamento sem aplicação de déficit de irrigação.....	83
Figura 31 - Drenagem interna no tratamento com déficit no estágio de desenvolvimento vegetativo.....	84
Figura 32 - Drenagem interna no tratamento com déficit no estágio de floração.....	84
Figura 33 - Drenagem interna no tratamento com déficit no estágio de enchimento de grãos.....	85
Figura 34 - Drenagem interna no tratamento com déficit no estágio de maturação.....	85
Figura 35 - Drenagem interna no tratamento com déficit em todos os estádios fenológicos.....	86
Figura 36 - Déficit de rendimento relativo em função das lâminas totais de água para os tratamentos I IIII, O IIII, IO III, I IOI, I IIO e O OOO.....	92
Figura 37 - Rendimento de grãos em função do déficit relativo de lâminas totais de água.....	94
Figura 38 - Déficits relativos de lâminas totais aplicadas e de água disponível no solo.....	96
Figura 39 - Curva de rendimento médio de grãos em função das lâminas de água totais aplicadas nos tratamentos sem déficit e com déficit em apenas um estágio fenológico.....	97
Figura 40 - Porcentagem de déficits relativos de evapotranspiração, lâmina de água e rendimento.....	98
Figura 41 - Relação entre o decréscimo de rendimento relativo ($1 - Y_a / Y_m$) e o déficit de evapotranspiração relativa ($1 - ET_a / ET_m$).....	101
Figura 42 - Receita bruta para o preço máximo do produto em função das lâminas totais de água aplicadas nos tratamentos I IIII, O IIII, IO III, I IOI, I IIO e O OOO.....	106

Figura 43 - Receita bruta para o preço médio do produto em função das lâminas totais de água aplicadas nos tratamentos I III I, O I I I, I O I I, I I O I, I I I O e O O O O.....	106
Figura 44 - Receita bruta para o preço mínimo do produto em função das lâminas totais de água aplicadas nos tratamentos I III I, O I I I, I O I I, I I O I, I I I O e O O O O.....	107
Figura 45 - Receita líquida determinada para preço mínimo do produto e com valor máximo do custo não associado a irrigação.....	109
Figura 46 - Receita líquida determinada para preço médio do produto e com valor máximo do custo não associado a irrigação.....	110
Figura 47 - Receita líquida determinada para preço máximo do produto e com valor máximo do custo não associado a irrigação.....	110
Figura 48 - Custo do déficit de irrigação para preço mínimo do feijão e aumentos no custo máximo da água.....	114
Figura 49 - Custo do déficit de irrigação para preço mínimo do feijão e aumentos no custo médio da água.	115
Figura 50 - Custo do déficit de irrigação para preço mínimo do feijão e aumentos no custo mínimo da água.	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teor de água no solo (m^3/m^3) para diferentes valores de potencial mátrico (Mpa).	17
Tabela 2 - Valores dos parâmetros de ajuste das curvas de retenção de água no solo, segundo a equação de Van Genuchten (1980).	17
Tabela 3 - Períodos de cálculo dos componentes do balanço hídrico.	31
Tabela 4 - Critérios de decisão do momento e da quantidade de água a ser aplicada nas irrigações.	37
Tabela 5 - Fenologia da cultura para o tratamento sem déficit de irrigação (IIII).	57
Tabela 6 - Valores de precipitação pluvial e irrigação.	58
Tabela 7 - Valores de déficit de irrigação nos tratamentos.	59
Tabela 8 - Avaliação da uniformidade de distribuição de água das irrigações.	60
Tabela 9 - Valores estatísticos das irrigações sem déficit hídrico segundo modelo normal (Walker, 1979).	62
Tabela 10 - Valores de eficiência das irrigações sem déficit.	62
Tabela 11 - Valores estatísticos das irrigações com déficit pelo modelo normal (Walker, 1979).	64
Tabela 12 - Valores médios de potencial mátrico, de umidade volumétrica e da água disponível durante os estádios fenológicos do feijoeiro antes das irrigações.	69
Tabela 13 - Valores de potencial mátrico antes das irrigações (MPa).	71
Tabela 14 - Valores do componentes do balanço hídrico para a camada 0,00 a 0,25 m.	75

Tabela 15 - Valores dos componentes do balanço hídrico para a camada 0,00 a 0,45 m.	77
Tabela 16 - Valores de evapotranspiração por estágio fenológico da cultura do feijoeiro na camada de solo de 0,00 a 0,25 m de profundidade.....	79
Tabela 17 - Valores de evapotranspiração na camada de solo de 0,00 a 0,45 m de profundidade.....	80
Tabela 18 - Componentes da produção do feijoeiro.	87
Tabela 19 - Peso de 100 sementes de feijão (13% umidade em massa).	88
Tabela 20 - Rendimentos de grãos ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).	89
Tabela 21 - Resultados do teste de significância de Tukey para as médias dos rendimentos dos tratamentos.	89
Tabela 22 - Déficits relativos de grãos de feijão ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) e das lâminas totais de água aplicadas.	91
Tabela 23 - Relação entre os déficits de rendimento e lâminas de água.	92
Tabela 24 - Valores médios de água disponível no solo (%).	95
Tabela 25 - Valores de lâminas de água, evapotranspiração e déficits relativo de evapotranspiração da cultura do feijoeiro..	99
Tabela 26 - Valores de k_y (fator de efeito do déficit de evapotranspiração sobre o rendimento das culturas).	100
Tabela 27 - Valores médios da eficiência de uso da água (kg/m^3) pela cultura e a campo, evapotranspiração e totais de água (precipitação pluvial e irrigação).	102
Tabela 28 - Valores do custo da água C_i em ($\text{R\$} \cdot \text{ha}^{-1}$).	103
Tabela 29 - Custos de produção (C_w) determinados com valores máximos dos custos não associados a irrigação ($C_{o \text{ máx.}}$).	104

Tabela 30 - Custos totais de produção (C_w) determinados com valores médios dos custos não associados a irrigação ($C_{o\text{ máx.}}$).....	104
Tabela 31 - Custos totais de produção (C_w) determinados com valores mínimos dos custos não associados a irrigação ($C_{o\text{ máx.}}$).....	105
Tabela 32 - Receitas brutas ($\text{R}\$.ha^{-1}$) em função do preço do produto e das lâminas totais de água aplicadas nos tratamentos.	105
Tabela 33 - Receita líquida ($\text{R}\$.ha^{-1}$) para valor máximo do preço do feijão pago ao produtor.	108
Tabela 34 - Receita líquida ($\text{R}\$.ha^{-1}$) para o valor médio do preço do feijão pago ao produtor.	108
Tabela 35 - Receita líquida ($\text{R}\$.ha^{-1}$) para valor mínimo do preço do feijão pago ao produtor.	108
Tabela 36 - Custos de déficits de irrigação para preço máximo do produto.	112
Tabela 37 - Custos dos déficits de irrigação para preço médio do produto.	112
Tabela 38 - Custos dos déficits de irrigação para preço mínimo do produto.	112
Tabela 39 - Valores do custo do déficit de irrigação para preço máximo do custo da água e preço mínimo do feijão.....	114
Tabela 40 - Valores do custo do déficit de irrigação para preço médio custo da água e preço mínimo do feijão.....	116
Tabela 41 - Valores do custo do déficit de irrigação para preço mínimo do custo da água e preço mínimo do feijão.....	117

O DÉFICIT DE IRRIGAÇÃO COMO ESTRATÉGIA DE MANEJO DA ÁGUA EM FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.)

Autor: ANTONIO MELHEM SAAD

Orientador: Prof. Dr. PAULO LEONEL LIBARDI

RESUMO

Esse trabalho foi desenvolvido em Guaira, região norte do Estado de São Paulo, onde atualmente encontram-se em operação cerca de 200 pivôs centrais que consomem durante $240000 \text{ hora.ano}^{-1}$ uma potência equivalente a $19,36 \cdot 10^6 \text{ kW}$ e utilizam um volume de $4,48 \cdot 10^7 \text{ m}^3$ de água superficial na irrigação, principalmente, nas culturas de milho, feijão e soja. Diante desse cenário, foi possível a formulação de uma estratégia para o manejo da água de irrigação, que proporcionasse a diminuição do consumo de água e energia. Nesse sentido, os objetivos desse trabalho foram: a) determinação da alternativa econômica de manejo da água em feijoeiro irrigado por aspersão, b) o conhecimento das necessidades de água do feijoeiro (ET_m e ET_a) para os tratamentos sem e com déficit de água de 50%, c) o conhecimento dos níveis de esgotamento de água no latossolo roxo, nos diferentes estádios fenológicos, bem como sua relação com o rendimento do feijoeiro e d) determinação, para os diferentes estádios fenológicos da cultura, das perdas de água para baixo das profundidades 0,25 m e

0,45 m. O esquema do arranjo experimental utilizado para cumprir os objetivos propostos, foi blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições, resultando num total de vinte e quatro parcelas. A área de cada parcela foi $10,8 \text{ m}^2$ e a área útil de $5,4 \text{ m}^2$. Os seguintes tratamentos foram estudados: I I I I : sem déficit de água em todos os estádios fenológicos; O O O O : com déficit de irrigação em todos os estádios fenológicos; O I I I; I O I I; I I O I; I I I O : com déficit de irrigação no estágio de desenvolvimento vegetativo (V_0 a R_5), floração (R_6 a R_7), formação da produção (R_8) e maturação (R_9), respectivamente. Os resultados obtidos permitiram concluir que: o déficit de irrigação, somente é recomendado para a fase de maturação (R_9), desde que o preço do kilo do feijão pago ao produtor seja igual ou inferior a R\$ 0,46 (quarenta e seis centavos de real) e o custo unitário da água de irrigação seja igual ou superior a R\$ $75,00 / 1000 \text{ m}^3$. Os valores da evapotranspiração máxima para cada um dos 4 estádios fenológicos no tratamento sem déficit, foram: 1,9 mm, 6,0 mm, 4,0 mm e 5,7 mm. Os valores da evapotranspiração no tratamento com déficit foram: 1,7 mm; 2,6 mm; 2,6 mm e 3,0 mm. Os valores médios de água disponível no solo, nos tratamentos com déficit de irrigação em cada estágio fenológico, foram respectivamente, 35%, 41%, 39% e 44%, para as fases de desenvolvimento vegetativo, floração, enchimento de grãos e maturação. No tratamento sem déficit em nenhuma das fases, o valor médio para o ciclo total da cultura foi de 52% e para o tratamento com déficit em todas as fases o valor foi de 36%. Em todos os tratamentos, a partir do estágio fenológico da floração, a drenagem interna não foi significativa abaixo da profundidade de 0,45 m, o que sugere a

inexistência de perda econômica da água utilizada nas irrigações. Além disso, foi possível a constatação de que o decréscimo de rendimento em função dos déficits aplicados em cada um dos quatro estádios fenológicos, variou de um valor máximo de 13,2 % (R_8) a 1,1 % (R_9). Um déficit relativo de irrigação no valor de 15,2 % aplicado na formação da produção (R_8), induziu a um déficit de 27 % no valor da evapotranspiração e 13,2 % no rendimento do feijoeiro.

THE IRRIGATION DEFICIT AS STRATEGY OF WATER MANAGEMENT IN BEAN (*Phaseolus vulgaris*, L.) CROP

Author: ANTONIO MELHEM SAAD

Adviser: Prof. Dr. PAULO LEONEL LIBARDI

SUMMARY

This work was carried out in Guaira, North State of São Paulo, Brazil (20°27'37" S, 48°19'30" W, 495 m). At this moment there are about 200 center pivots functioning in the region that consume, during 240000 hours per year, an equivalent power of $19.36.10^6$ kW and an amount of $4.48.10^7$ m³ of water mainly in the crops of maize, bean and soybean. In order to devise an irrigation water management strategy that provided a decrease in the water and energy consumption, the following objectives were planned: a) determination of an economical alternative of water management in bean irrigated by sprinklers, b) knowledge of bean water needs (Et_m and Et_a) for treatments without and with 50% water deficit, c) knowledge of soil water depletion levels in different crop development stages and their relationships with the bean yield, and d) determination of water losses below the depths of 0,25 m and 0,45 m, in different crop development stages. The bean crop was established in 2.0 m by 5.4 m plots in a

randomized complete blocks design containing 6 treatments (OOOO, OIII, IOII, IIOI, IIIO and IIII) with four replications. For plants of treatment IIII there is no water deficit in any of the four selected development stages. The plants of treatment OOOO were irrigated with deficit in the four stages. In the treatments OIII, IOII, IIOI and IIIO only during one development stage water stress was allowed. The four development stages that were selected are: stage 1 : vegetative period (V_0 to R_5), stage 2 : flowering period (R_6 to R_7), stage 3 : yield formation (R_8) and stage 4 : ripening (R_9). According to the obtained results, it could be concluded that the irrigation deficit is recommended only during the ripening period, provided that one kilogram of bean grain be paid to the farm in a price equal or lesser R\$ 0,46 (forty six cents of real) and the irrigation water cost be equal or greater R\$ 75,00/1000 m³. The maximum evapotranspiration values for each of the four development stages without deficit were: 1.9 mm, 6.0 mm, 4.0 mm and 5.7 mm; in treatment with deficit in all stages they were: 1.7 mm, 2.6 mm, 2.6 mm and 3.0 mm. The mean values of available soil-water in treatments with irrigation deficit in stages 1, 2, 3 and 4 were 35%, 41%, 39% and 44%, respectively. In the treatment with no deficit in any of the stages, the available soil water mean value for the entire cycle of the crop was 52%; in the treatment with deficit in all stages this value was 36%. In all treatments, from the flowering stage, the internal drainage was not significant below the depth of 0.45 m, that suggests no economical loss of irrigation water. Besides, it was possible to prove that the decrease of yield as a function of applied deficits in each of the four development stages changes from 1.1%

(R₉) to 13.2% (R₈). A relative irrigation deficit value of 15.2% applied during the yield formation period (R₈) induced a decrease of 27% in the evapotranspiration and a decrease of 13.2% in the grain yield.

1. INTRODUÇÃO

O município de Guaira, no Estado de São Paulo, é um excelente exemplo que mostra como evoluíram as áreas irrigadas nas regiões sudeste e centro-oeste do Brasil, através do incentivo governamental de compra de equipamentos de irrigação, por meio de programas como o Profir (Programa de financiamento de equipamentos de irrigação) e o Pró-Feijão.

Tais programas foram lançados no início da década de 80 e já no final desse período (1988), Guaira cultivava 9000 ha de feijão de inverno irrigado. No ano de 1990, entretanto, a área cultivada já havia se reduzido para 6300 ha, caindo para 3300 ha no ano de 1992. Essa regressão da área cultivada no inverno se deve também a problemas econômicos, aos efeitos degradantes produzidos por um sistema de produção agrícola concebido sem uma base tecnológica apropriada e que levaram a um desequilíbrio físico, químico e biológico do complexo sistema solo-água-planta. A inadequada rotação de culturas, o uso intensivo de maquinaria agrícola e de agroquímicos via pivô central, a falta de controle de irrigação, o preparo inadequado do solo para áreas irrigadas com

sistemas de alta frequência de irrigação, são exemplos de práticas causadoras deste desequilíbrio.

A manutenção dessa situação poderá, num futuro não muito distante, inviabilizar o cultivo de cereais na região, devido a considerável diminuição de receita líquida do agricultor irrigante. Nesse sentido, a busca de um sistema de manejo da água, com o objetivo de racionalizar o recurso hídrico, diminuindo o uso via irrigação, através da aplicação de déficits hídricos em diferentes estádios de desenvolvimento das culturas, é de importância indiscutível. Prova disso vem da própria Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura-FAO, que muito tem se preocupado atualmente em melhorar as práticas tradicionalmente utilizadas para o manejo da irrigação com o intuito de aumentar a eficiência do uso da água e reduzir ao mínimo a degradação dos sistemas agrícolas.

A exposição de culturas de campo a um déficit de água em estádios específicos de seu crescimento não causa decréscimos significativos na produção, fazendo com que a irrigação nesses períodos específicos possa sofrer uma grande redução. Espera-se que a definição do quanto irrigar, com base na aplicação de déficits na evapotranspiração pré-estabelecidos, ajustados com os diferentes estádios de crescimento da cultura, amplie o intervalo de irrigação ao mesmo tempo em que a quantidade de água aplicada seja reduzida.

O déficit de irrigação, quando utilizado como estratégia de manejo de água, apresenta além das vantagens econômicas pelo aumento da eficiência do uso da água,

vantagens fitotécnicas sobre o controle de doenças fúngicas na cultura , principalmente no caso do feijoeiro. A redução da lâmina de água nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura pode diminuir tanto as perdas para a atmosfera como por drenagem.

No entanto, algumas indagações merecem reflexões antes de se propor á adoção do déficit de irrigação como estratégia para a prática de manejo de água numa cultura agrícola: Qual o custo do déficit de irrigação para os diferentes estádios fenológicos da cultura? Para que preço pago ao agricultor irrigante pelo produto agrícola e para que custo da água o déficit de irrigação se viabiliza como estratégia de manejo? Qual o decréscimo de rendimento em função dos déficits de água aplicados nos principais estádios fenológicos? Qual a relação entre o déficit de irrigação e a disponibilidade de água no solo para as plantas? Qual a relação, para os diferentes estádios fenológicos, entre os déficits relativos de irrigação, evapotranspiração, de água no solo e rendimentos? Visando responder a todas essas indagações esse trabalho foi desenvolvido para o feijoeiro num Latossolo Roxo do município de Guaira (SP), com base na seguinte hipótese:

O déficit de irrigação como estratégia de manejo de água em cultura de feijão, aumenta a receita líquida do produtor desde que não seja aplicado nos estádios fenológicos da floração e enchimento de grãos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Na década de 50, pesquisadores preocupados com o manejo racional da agricultura irrigada nos Estados Unidos da América recomendavam critérios de manejo que priorizassem a máxima produção por unidade de água aplicada. Em 1957 a preocupação com a problemática da dinâmica da água no solo para realização de controle da irrigação, era mencionada por Criddle & Haise*, citados por Taylor (1972). Os autores comentavam, que para se obter uma boa safra com irrigação, o agricultor necessitaria ter algumas noções sobre as relações água/solo/planta, tais como: as necessidades de água para o desenvolvimento das culturas; a quantidade de água que pode ser armazenada no solo; quanto da água armazenada no solo pode ser consumida antes de outra reposição; a quantidade de água consumida pela cultura no tempo em que se irriga; e quanto tempo a água aplicada ao solo deve levar para repor a quantidade de água consumida pela cultura.

*CRIDDLE, W.D.; HAISE, H.R. Irrigation in arid regions; In: Soil, USDA 1957, Yearbook of Agriculture, Washington, D.C; U.S. government printing office. p. 359-367.

Em 1965, com o trabalho sobre *Manejo da Água de Irrigação na Fazenda*, Sterling A. Taylor publicou tabela com uma coletânea de valores de potenciais mátricos nos quais a água deveria ser reposta ao solo para se obter a máxima produção para várias culturas em desenvolvimento em solos bem drenados e fertilizados adequadamente. Até os dias atuais esses valores são citados e recomendados para manejo da irrigação.

No final da década de 60, aparecem os primeiros métodos computacionais para auxiliar o manejo da irrigação através do cálculo do Balanço Hídrico, conforme, por exemplo, os trabalhos de Jensen (1969) e Jensen et al. (1970). Extensas áreas irrigadas tinham aconselhamento de irrigação através dos dados agrometeorológicos especialmente coletados para estimar a evapotranspiração. Esse serviço era executado por muitas firmas privadas que recomendavam a irrigação para se obter a ótima produção.

No início da década de 80, os pesquisadores americanos utilizavam-se de conceitos econômicos que envolviam a aplicação do déficit de irrigação como estratégia deliberada para recomendar o manejo da irrigação. Na convenção sobre *Manejo da Irrigação para Conservação de Água e Energia para a Década de 80*, organizada pela ASAE-American Society of Agricultural Engineers no ano de 1981, English et al (1981) recomendavam dois caminhos para a prática do déficit de irrigação. O primeiro era a aplicação frequente de água, mas em quantidades insuficientes para repor a água armazenada no perfil do solo, isto é, altas frequências com déficit de irrigação. A outra forma de aplicação do déficit hídrico seria através do aumento do intervalo entre as irrigações, de tal forma que o valor da evapotranspiração atual- ET_a , fosse muito menor

do que a evapotranspiração máxima- ET_m , repondo porém, a quantidade adequada de água em todo perfil de solo, isto é, baixas frequências de irrigação com déficit hídrico na planta, porém sem déficit de irrigação. Esta situação está de certa forma relacionada com o conceito de deficit hídrico, de acordo com Hiller & Howell (1983). Para esses autores, significa o efeito indesejável da queda de rendimento da lavoura causado pela excessiva deficiência hídrica no solo.

Altas frequências de irrigação, para solos de mesma textura, não aumentam a produção do feijoeiro, quando comparadas às frequências consideradas normais, segundo Resende et al. (1981). Neste trabalho, os valores da evaporação da superfície do solo para a atmosfera foram da ordem de 7 a 21% da taxa de evapotranspiração da cultura.

Kramer (1983), citando um exemplo clássico da literatura, que é o trabalho de Miler & Aarstad (1976)* sobre o manejo de água com déficit na irrigação da cultura da beterraba, mostra que a aplicação de lâminas de água diárias, correspondentes a 100% e a 50% do valor da evaporação do tanque, não afetaram o teor de açúcar entre um e outro tratamento, porém a quantidade de beterrabas foi reduzida devido ao grande déficit hídrico aplicado.

Stegman (1983) propõe quatro procedimentos de manejo, entre eles o de maximizar a produção por unidade de água aplicada e por unidade de área.

*MILLER, D.E.; AARSTAD, J.G. Yields and sugar content of sugarbeets as affected by high frequency irrigation. 1971. Agron. J. 63, 779-784.

Trabalhos mais recentes como o de English et al. (1990), incentivam o uso da aplicação do déficit de irrigação como estratégia de racionalização do uso do recurso, sinalizando para o desenvolvimento de trabalhos que procurem quantificar economicamente a viabilidade dessa proposta de controle de água. Neste mesmo trabalho, estes autores definem déficit de irrigação como uma estratégia de manejo de água na qual as culturas irrigadas são mantidas deliberadamente com determinado grau de deficiência hídrica no perfil do solo. Afirmam ainda que esse procedimento, apesar de poder causar uma redução na produção, vem sendo muito utilizado na Bacia do rio Columbia nos Estados Unidos da América, na Índia, em alguns países da África e outras pequenas regiões do mundo.

A análise do conceito de déficit de irrigação sugere que a estratégia fundamental para a prática da irrigação está no aumento da eficiência do uso da água, que pode se dar, tanto pela redução da adequacidade da irrigação, como pela eliminação das irrigações em determinados estádios fenológicos da cultura que pouco afetam o seu rendimento.

Saad & Libardi (1994), em experimento com a cultura do feijoeiro irrigado por pivô central obtiveram valores de eficiência do uso da água pela cultura que variaram entre $0,65 \text{ kg/m}^3$ a $0,8 \text{ kg/m}^3$ para os locais onde ocorreram o excesso de água e a lâmina média aplicada, respectivamente. Concluíram, que as áreas com déficit utilizam a água mais eficientemente do que as áreas onde ocorreram os excessos.

Os fisiologistas alegam que o feijoeiro é uma classe de planta muito sensível ao déficit hídrico, principalmente durante os períodos de florescimento e enchimento de grãos, observando-se significativa redução nos componentes da produção. Os trabalhos de Robins & Domingo (1956), Miranda & Belmar (1977), Stansell & Smittle (1980), entre outros, confirmam a redução da produção da cultura do feijão em função de déficit hídrico aplicado em diferentes estádios fenológicos e em diferentes situações de ambiente.

O rendimento do feijoeiro à aplicação de água através da irrigação, depende: do método de irrigação, da capacidade de retenção de água do solo, da quantidade de água a ser fornecida ao solo, da fenologia da planta, das condições climáticas, da fertilidade do solo, do controle de pragas e doenças, etc... Sabe-se também que o consumo de água por uma cultura não é constante durante o seu ciclo, sendo menor no início do desenvolvimento (germinação e emergência) e no final (maturação), em relação as fases intermediárias, constituídas dos períodos de pré-florescimento, floração e enchimento de grãos. Segundo Bulisani (1987), as plantas de feijão respondem com perda irreversível na produção a estresses hídricos durante suas fases críticas. Afirma também, que a excessiva desagregação do solo e a formação de camadas sub-superficiais adensadas, leva a necessidade de irrigação com menores lâminas de água e muito frequentes. Esse fato, consequência da redução da macroporosidade do solo, modifica suas condições anaeróbicas com consequência no rendimento da lavoura.

A influência do déficit hídrico pela suspensão da irrigação durante 8 dias, nas fases de pré-floração e enchimento de vagens sobre a qualidade fisiológica e composição

química de sementes de feijão, foi estudada por Pasin et al. (1991). Os autores concluíram que o déficit hídrico imposto não afetou a qualidade fisiológica das sementes, mas no período de enchimento de vagens reduziu o vigor expresso em índice de velocidade de emergência, população inicial e atividade da fosfatase ácida.

Os efeitos, tanto de maneira interativa como de forma isolada, do total de água aplicado na cultura do feijoeiro, foram estudados na região semi-árida do nordeste brasileiro, no final da década de 70, por Magalhães & Millar (1978) e Magalhães et al. (1979) com o objetivo de melhorar o manejo da água nas áreas irrigadas dos projetos públicos de irrigação. Em meados da década de 80, Azevedo (1984) e Frizzzone (1986) estudaram o efeito conjunto da água e de doses de adubação nitrogenada para Piracicaba e Ilha Solteira, Estado de São Paulo. A região de Guaira no Estado de São Paulo apesar de ser a maior produtora de feijão irrigado do Estado, não tem nenhum estudo específico com essas informações, que são de grande valia como estratégia de manejo da água. Face a isso, o procedimento ideal a ser adotado para o manejo da irrigação por pivô central na região de Guaira, SP, deverá priorizar grandes intervalos entre irrigações, desde que a capacidade de aplicação de água do sistema de irrigação permita a sua reposição com um valor de déficit adequado. Desta forma, evita-se altas perdas por evaporação da superfície de solo nu, quando a cobertura vegetal é inferior a 70 %, bem como, as perdas por lixiviação de ions, e minimiza-se o aparecimento das doenças fúngicas, como o “mofo branco” causado por *Sclerotinia sclerotiorum* que, segundo Cardoso (1990), aparecem devido a condições favoráveis tais como a elevada umidade, alta temperatura e baixo

nível de aeração. Com o intuito de minizar as doenças de solo no feijoeiro os técnicos do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) recomendam a rotação de culturas como prática rotineira sob irrigação (Agrianual 96).

O fundamental, para quem toma a decisão de quando e quanto irrigar, está na questão do valor da depleção de água que o perfil de solo na zona efetiva do sistema radicular pode alcançar, sem haver grandes perdas de rendimento. Em algumas fases de desenvolvimento da cultura esse valor pode representar até 80% da Capacidade de Água Disponível - CAD, se a demanda evapotranspirativa não for elevada, segundo Doorenbos & Kassam (1979). Nesse sentido, o conhecimento da dinâmica da água nessa camada de solo, passa a ser fundamental para o entendimento do processo.

Como pode ser notado, a viabilização de um manejo adequado em termos ambientais e financeiros para a região de Guaira (SP), passa pelo conhecimento dos níveis de depleção da água no solo que permitam uma produção ótima econômica.

No meio técnico nacional, os trabalhos de Pereira et al. (1974), Reichardt et al. (1974); Silveira & Stone (1979); Brunini et al. (1981); Costa (1986), Sakai (1990) e Saad (1991) apresentam os valores de evapotranspiração e drenagem determinados de acordo com o balanço hídrico do solo no campo.

A maioria destes trabalhos tem apontado como desvantagem do método a determinação da evapotranspiração em períodos chuvosos, pois torna-se difícil medir

mudanças na umidade do solo com precisão maior do que 2 mm de água, impedindo seu uso para medidas diárias da evapotranspiração (Costa, 1986).

Resultados de drenagem, para a cultura do feijoeiro, foram obtidos por Reichardt et al. (1974) em perfil de Terra Roxa Estruturada. O valor estimado pelos autores foi de 138,8 mm em 48 dias à profundidade de 60 cm. Recentemente Libardi & Saad (1994) em área de Latossolo Roxo irrigado por pivô central obtiveram valores praticamente nulos em 80 dias, sob controle de irrigação por tensiômetro com manômetro de mercúrio.

Finalmente, focalizemos a atenção sobre a economia do feijoeiro irrigado no norte do Estado de São Paulo.

Tomando como base 6 áreas irrigadas no município de Guaira e duas áreas no município de Casa Branca, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) contabilizou os custos de produção do feijoeiro irrigado na safra de inverno de 1993, relatório nº 30.254. O Quadro 1, apresenta uma síntese desses resultados.

Os custos relativos a aplicação de 1000 m³ de água (serviço da irrigação), através do pivô central variaram de um mínimo de R\$ 31,69 até um máximo de R\$ 74,45 sendo o valor médio R\$ 57,15. As lâminas de água (precipitação pluvial e irrigação), variaram de um mínimo de 190,3 mm a um máximo de 313,5 mm, para rendimentos mínimos e máximos de 1618,2 kg.ha⁻¹ e 2480,4 kg.ha⁻¹, respectivamente. Os custos da irrigação (fixos e variáveis), equivalem 19,6%, em média, do custo de produção; por outro lado o custo dos insumos agrícolas como fertilizantes, agroquímicos etc.,

corresponderam a 51%. Nesse sentido, a redução do custo da irrigação não é a principal parcela do custo de produção a ser minimizada, porém, a economia com os gastos dos insumos, pela diminuição de doenças em virtude do manejo de água racional e ambientalmente correto, poderá significar aumento das receitas líquidas para o agricultor.

Segundo o Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira - Agrianual - 96 o custo de produção total do feijão irrigado para uma produção de 2100 kg.ha^{-1} é de US\$ 674, ou seja, US\$ 19,26 por saca, proporcionando uma receita líquida de US\$ 593. ha^{-1} para um preço médio pago ao produtor de US\$ 36,19/saco de 60 kg.

QUADRO 01 - Custos de oito culturas de feijão irrigadas por pivô central (6 no município de Guaira e 2 no município de Casa Branca, SP).

Variável	Valor médio	Valor mínimo	Valor máximo	Desvio Padrão	Coefficiente de variação
Lâmina total aplicada (mm)	197,6	79,1	279,4	74,1	37,5
Rendimento (kg/ha)	2140,76	1618,18	2480,41	241,19	11,27
Custo por saca de 60 kg de feijão (R\$)	15,64	12,95	19,92	2,52	16,12
Participação do custo de irrigação no custo total da produção (%)	19,63	8,75	39,06	9,39	47,83
Custo unitário de irrigação (R\$ 1000 m^3)	57,15	31,69	74,45	12,58	22,02
Participação do custo da energia elétrica no custo da irrigação (%)	71,26	57,38	97,44	14,58	20,46
Participação do custo da mão de obra no custo total da produção (%)	6,73	5,61	8,60	0,85	12,64
Participação do custo de máquinas e equipamentos no custo total da produção (%)	21,31	10,61	28,54	5,77	27,08
Participação do custo de insumos agrícolas no custo total da produção (%)	51,29	33,43	73,47	11,21	21,86
Participação do custo da energia elétrica no custo total da produção (%)	13,29	5,51	24,10	5,08	38,27

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área experimental

A área onde o experimento foi realizado está localizada geograficamente a 20° 27' 30'' de latitude sul e a 48° 19' 30'' de longitude oeste, com altitude de 495 metros acima do nível do mar, situada na Fazenda Recanto da Barcelona, de propriedade de Antônio de Oliveira Lima, no município de Guaira, Estado de São Paulo. O clima da região apresenta as seguintes médias anuais: precipitação pluvial: 1330 mm; temperatura do ar: 24°C; umidade relativa: 64%; velocidade do vento: 2,6 m/s.

A propriedade agrícola situa-se na vertente da margem esquerda do córrego Santa Cruz; possui relevo plano a suave ondulado e declividade menor do que 0,03 m.m⁻¹. No sistema de capacidade de uso das terras a área foi classificada como pertencente a classe II s (terras cultiváveis com problemas simples de conservação - culturas temporárias) segundo IPT, (1995). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Roxo epieutrófico, A moderado, textura muito argilosa (*Rhodic Haplustox*) por Oliveira e Prado (1991).

3.1.1. Propriedades físico-hídricas dos solos

É na camada de 0,00 a 0,30 m, assumida como sendo a camada de irrigação que acontecem os principais processos de umedecimento e secagem, responsáveis pela transmissão da água do solo para a planta e atmosfera. Nessa camada o monitoramento do teor de água foi diário, através das leituras dos tensiômetros instalados a 0,10 m, 0,20 m e 0,30 m. Na camada inferior, 0,30 a 0,60 m, onde o interesse está direcionado para o conhecimento do fluxo de água abaixo do sistema radicular, o teor de água no solo foi monitorado através das leituras da sonda de nêutrons, antes e depois de cada irrigação. As leituras eram realizadas a 0,30 m, 0,45 m e 0,60 m de profundidade.

Esse procedimento metodológico induziu à coleta de amostras de solo com estrutura não deformada por meio do extrator de Uhland, com o objetivo de elaboração das curvas de retenção de água. O volume dos cilindros de alumínio utilizados era de 300 cm³ (70 mm de altura e 74 mm de diâmetro interno). Na faixa de potencial mátrico (ϕ_m) entre 0,00 MPa a -0,008 MPa, utilizaram-se funis de placa porosa (Haines) e para valores mais negativos ($\phi_m = -0,03$ MPa a -1,50 MPa) foram utilizadas câmaras de pressão de Richards. O processo de determinação foi realizado conforme descrito em Klute (1986).

O esquema de amostragem para as profundidades de 0,10 m, 0,20 m e 0,30 m foi realizado através de abertura de 4 trincheiras pouco profundas (0,00 a 0,40 m) localizadas no centro geométrico de cada um dos 4 blocos que compõe a área experimental (ver figura 3, pág. 21).

As profundidades restantes (0,45 m, 0,60 m, 0,75 m, 0,90 m, 1,05 m e 1,20 m) foram investigadas através de uma única trincheira profunda (0,0 a 2,0 m) representativa de todo o campo experimental, aberta no centro geométrico da área.

Os parâmetros de interesse para a estimativa dos componentes do balanço hídrico, por exemplo, a armazenagem da água no perfil de solo, foram calculados tomando-se os valores de umidade volumétrica das curvas de retenção.

O gráfico da Figura 1 apresenta as curvas de retenção com valores médios dos parâmetros para as profundidades de 0,10; 0,20 e 0,30 m.

Figura 1 - Curva de retenção de água nas profundidades 0,10; 0,20 e 0,30 m.

As curvas de retenção das profundidades 0,10, 0,20 e 0,30 m foram utilizadas para a transformação dos valores de potencial mátrico diário em umidade volumétrica (m^3/m^3), que por sua vez, determinaram os valores de armazenagem diária de água no solo pela multiplicação do valor da umidade média da camada pela sua espessura (0,30 m).

A Figura 2 apresenta as curvas de retenção para as profundidades de 0,45 e 0,60 m. As curvas de retenção dessas profundidades foram utilizadas para a transformação dos valores de umidade volumétrica (m^3/m^3) em valores de potencial mátrico (MPa). Desta forma com os valores de potenciais mátricos nas profundidade de 0,30 m e 0,60 m foi possível calcular o gradiente de potencial total da água no solo utilizando a equação de Darcy.

Figura 2 - Curva de retenção de água nas profundidades 0,45 e 0,60 m.

A Tabela 01 apresenta os valores médios determinados em laboratório do teor de água no solo em função dos diferentes valores de potencial mátrico.

TABELA 01 - Teor de água no solo (m^3/m^3) para diferentes valores de potencial mátrico (MPa).

Potencial mátrico (MPa)	Teor de água no solo (m^3/m^3)				
Profundidade	0,10 m	0,20 m	0,30 m	0,45 m	0,60 m
0,0001	0,5997	0,5316	0,5703	0,5755	0,5887
0,0005	0,5441	0,4928	0,4944	0,503	0,5635
0,001	0,527	0,4681	0,473	0,4867	0,5366
0,002	0,5023	0,4473	0,4489	0,4626	0,5104
0,005	0,4371	0,4129	0,4058	0,4142	0,4254
0,008	0,4104	0,3953	0,3829	0,3865	0,3862
0,06	0,2985	0,3245	0,3075	0,3145	0,2776
0,3	0,2653	0,3017	0,2771	0,2881	0,2635
1,5	0,2792	0,2973	0,2815	0,2925	0,2761

A Tabela 02 apresenta os valores dos parâmetros da curva de retenção de água ajustada para as profundidades 0,10; 0,20; 0,30; 0,45 e 0,60 m.

TABELA 02 - Valores dos parâmetros de ajuste das curvas de retenção de água no solo, segundo a equação de Van Genuchten (1980).

Prof. (m)	α (1/m)	m	n	θ_R	θ_s
0,10	4,9700	0,3842	1,6258	0,2000	0,5860
0,20	5,7270	0,4067	1,6857	0,2810	0,5810
0,30	8,4150	0,3912	1,6435	0,2485	0,5990
0,45	8,5900	0,3689	1,5846	0,2444	0,5960
0,60	4,4400	0,4610	1,8554	0,2330	0,6100

No que se refere à condução de água pelo solo, a equação (1), válida para todo o perfil do solo estudado, foi obtida pelo método do perfil instantâneo (IPT, 1987):

$$K(\phi_m) = e^{0,04 \phi_m + 5,287} \quad (1)$$

Nesta equação K é a condutividade hidráulica, expressa em mm/dia, e ϕ_m o potencial mátrico, expresso em cm de água.

3.2. Planejamento experimental

Apesar de existir uma grande quantidade de combinações de tratamentos para o estudo do déficit de água nos diferentes estádios de crescimento do feijoeiro, utilizou-se 6 tratamentos e 4 repetições em experimento do tipo blocos ao acaso.

Os 4 estádios fenológicos estabelecidos para o experimento foram adaptados de Gepts & Fernandez (1982)* citados por Fancelli (1990).

Pelo fato da cultura do feijão possuir duas fases distintas e sucessivas de desenvolvimento, ou seja, vegetativa e reprodutiva, foi possível dividir os estádios fenológicos da cultura para avaliação do efeito do déficit de irrigação da seguinte forma:

- a) **fase vegetativa (1)** - compreendida entre a emergência da cultura até o aparecimento dos primeiros botões florais - (Estádios: V_0 a R_5);

*GEPTS, P.; FERNANDEZ, F. Etapas de desarrollo de la planta de frijol comum (*Phaseolus vulgaris* L.). Cali, Colombia, CIAT, 1982. 10p. (mimeografado).

- b) *fase de florescimento (2)* - início do período reprodutivo onde aparecem os primeiros botões florais em 50% das plantas, finalizando com o aparecimento das primeiras vagens após a murcha da corola - (Estádios: R_6 - R_7);
- c) *fase de formação da produção (3)* - faz parte do período reprodutivo e inicia-se com o aparecimento das primeiras vagens cheias em 50% das plantas finalizando com a modificação da cor das vagens em 50% das plantas (verde ao amarelo pigmentado). (Estádio: R_8);
- d) *fase de maturação (4)* - final do período reprodutivo até a colheita. (Estádio: R_9)

O fornecimento da água foi realizado para possibilitar a irrigação sem déficit de água, isto é, quando a evapotranspiração atual é igual a evapotranspiração máxima ($Et_a = Et_m$), e com déficit, para que $Et_m > Et_a$. Essas condições de regime hídrico do solo foram conseguidas nos diferentes estádios fenológicos através dos seguintes tratamentos:

IIIII: tratamento sem déficit de água em todos os estádios fenológicos. Assume-se que esse tratamento não apresente déficit hídrico na cultura, portanto, a evapotranspiração a ser calculada pelo método do balanço hídrico no campo, será assumida como sendo a evapotranspiração máxima (Et_m),

OOOO: tratamento com déficit de irrigação em todos os estádios fenológicos.

OIII; IOII; IIOI; IIIO: tratamentos com déficit de irrigação no primeiro, segundo, terceiro e quarto estágio fenológico, respectivamente.

O esquema do arranjo experimental utilizado com os seis tratamentos e os quatro blocos está apresentado na Figura 3. Uma visão geral do experimento em andamento é mostrada na Figura 4. As parcelas foram devidamente instrumentadas com tensiômetros e tubo de acesso para sonda de nêutrons. O sistema de irrigação das parcelas experimentais foi aspersão.

Figura 3 - Arranjo experimental. (O número que aparece no canto superior direito de cada parcela representa a identificação da parcela no respectivo bloco).

Figura 4 - Vista geral do experimento

A Figura 5 apresenta o esquema das parcelas experimentais, cuja dimensão foi de 5,4 m perpendicular às linhas de planta e 2,0 m ao longo das linhas, com área total de 10,8 m².

Figura 5 - Esquema da parcela experimental

3.3. Fenologia

As fases de desenvolvimento da cultura do feijão não apresentam nítida separação, principalmente quando são de hábito de crescimento indeterminado, constatando-se sobreposições representadas pela possibilidade de emissões simultâneas de folhas, flores e vagens. O cultivar utilizado foi o IAC - Carioca.

A determinação dos estádios fenológicos foi realizada na área útil das parcelas (5,4 m²) destinadas ao tratamento sem déficit de água, ou seja o tratamento I.I.I.I. As parcelas monitoradas foram as de nº 1, 9, 18 e 19, representando respectivamente os Blocos 2, 1, 3 e 4 (ver Figura 3). Foram determinados o nº de plantas existentes nessa área e a porcentagem de plantas que possuíam as características morfológicas e fisiológicas da fase de desenvolvimento. Quando 50% ou mais das plantas apresentavam características do novo estágio fenológico, era realizada a mudança na quantidade de água aplicada por irrigação de acordo com o estabelecido.

3.4. Tratos agronômicos

O solo da área do experimento foi preparado com duas escarificações (ortogonais) e gradagem durante os dias 2 a 5 de maio de 1993.

As sementes de feijão foram fornecidas pela Secretaria da Agricultura através da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral-CATI, cultivar IAC - Carioca (semente básica) do Lote nº JA-119 com germinação em Agosto de 91 (98%) e revalidado para

germinação em Agosto de 1993 (70%). Foram tratados 2,7 kg de sementes com 3,2 g de Benlate e 4,7 g de Rhodiuran e 21 ml de Nutrimins.

O plantio foi realizado no dia 7/05/93, com 15 sementes aplicadas ao solo por metro linear, com espaçamento de 0,54 m entre linhas de plantas. Essa quantidade de sementes nesse espaçamento possibilitaria uma densidade de 275000 plantas/ha, caso todas as sementes germinassem. A parcela experimental com 10 linhas de plantas com 2 metros de comprimento, deveria possuir para essa condição uma população de 300 plantas por parcela. A adubação de plantio foi realizada com 22,3 g/metro linear equivalente a 413,2 kg/ha de NPK na formulação 4-14-8, farelado, com os seguintes micronutrientes e dosagens: 12% Ca, 6% S, 0,27% Zn, 0,6% O, 0,08% B, 0,06% Mn e 0,03% Mo. A colocação no sulco de plantio foi realizada com copo plástico de 0,6 g de massa. Para aferição da quantidade de adubo a ser aplicado em 2 metros de sulco foram realizadas 10 medidas com os seguintes resultados: valor médio = 44,27 g; desvio padrão = 1,20 g e coeficiente de variação de 2,7%. A adubação de cobertura foi realizada 20 dias após o plantio no dia 27/05/93 com Nitrocálcio (22% de N) e K₂O (60% de K) nas dosagens de 8 g e 2,5 g por metro linear correspondendo a 148,4 kg/ha e 46,3 kg/ha respectivamente. A segunda adubação de cobertura foi realizada 33 dias após o plantio no dia 9/06/93 com a aplicação de 148,1 kg/ha de Nitrocálcio.

3.5. Balanço hídrico

O estudo do balanço hídrico no campo na camada de irrigação (camada de solo que interage com a atmosfera através do fenômeno da evapotranspiração; é considerada zona de maior densidade de raízes, face a isso, sua umidade volumétrica e espessura determinam o volume de água de cada irrigação), foi realizado com o objetivo de se estimar as perdas de água por drenagem bem como estimar o consumo de água pela cultura através do cálculo da evapotranspiração para os diferentes regimes de aplicação de água.

Realizou-se o estudo dos fluxos de água em duas profundidades pré-determinadas e com duas metodologias de cálculo distintas. A primeira, na camada de 0,00 m a 0,30 m, na profundidade de 0,25 m, utilizando-se dos valores de potencial mátrico quantificados através da leitura de tensiômetros instalados nas profundidades de 0,10 m; 0,20 m e 0,30 m e curvas de retenção de água determinadas em laboratório (vide Tabela 01). A segunda, na camada de 0,0 m a 0,60 m na profundidade de 0,45 m, utilizando-se dos valores de umidades volumétricas obtidas através da curva de calibração desse solo com a sonda de nêutrons.

A comparação dos valores de evapotranspiração e drenagem interna em duas espessuras de solo, confirmará o conceito assumido sobre “camada de irrigação” (zona de maior extração de água pelas raízes). Os valores de evapotranspiração deverão ser semelhantes, o que não deverá ocorrer para os valores de drenagem, uma vez que, na primeira camada (0,00 m a 0,30 m) há bruscas e maiores variações de umidade, isto é, o

processo de secagem e umedecimento é mais intenso o que poderá induzir alterações nos valores dos componentes do balanço hídrico. Em uma camada de maior espessura (0,00 m a 0,60 m), as alterações nos valores de umidade são menores, garantido valores inferiores de drenagem interna.

O balanço hídrico foi estimado pela equação de conservação das massas, ou seja:

$$\pm \Delta A_R = P + I + AC - D \pm R - ET \quad (2)$$

onde:

ΔA_R : variação da armazenagem de água no solo (mm) em um período de tempo

ΔT (dias)

P : Precipitação pluvial (mm)

I : Irrigação (mm)

AC : Ascensão capilar (mm)

D : Drenagem interna (mm)

R : Escoamento superficial

ET : Evapotranspiração (mm)

A precipitação pluvial (P) foi determinada pelo pluviômetro do tipo “Ville de Paris” localizado no meio dos 4 blocos da área experimental. As irrigações (I) com

lâminas totais e com déficit de água (0) foram contabilizadas através da instalação de 15 coletores (recipientes de plástico cilíndricos) com capacidade de 500 cm^3 , distribuídos retangularmente em 3 linhas paralelas ao longo dos 5,4 m da parcela, por 5 colunas de coletores na direção das linhas de plantio (2,0 m de comprimento), conforme mostrado nas fotos das Figuras 6 e 7. Foram escolhidas duas parcelas para o controle da quantidade de água aplicada em cada irrigação, uma parcela destinada ao tratamento I I I I e outra ao tratamento 0 0 0 0.

Figura 6 - Disposição dos coletores de água para realização do ensaio de uniformidade de distribuição.

Figura 7 - Irrigação com monitoramento de água aplicada.

O escoamento superficial (R), foi considerado nulo para os dois balanços, uma vez que o terreno na área é plano. A drenagem (D) e a ascensão capilar (AC) foram estimadas pela densidade de fluxo (q) calculada pela equação de Darcy, que em três dimensões e para um meio isotrópico, é escrita como:

$$\vec{q} = -K(\theta) \cdot \vec{\nabla} \phi_h \quad (3)$$

onde:

$\vec{q}$: vetor densidade de fluxo de água (m.s^{-1}), que representa o volume de água que atravessa, por unidade de tempo, a unidade de área de secção transversal de solo normal à direção de $\vec{q}$.

$K(\theta)$: condutividade hidráulica (m.s^{-1}), função da umidade volumétrica do solo θ ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) que expressa a facilidade com que a água é transportada através do solo.

$\vec{\nabla} \phi_h$: vetor gradiente de potencial hidráulico (m.m^{-1}), força responsável pelo movimento da água no solo. O sinal negativo aparece porque o vetor $\vec{q}$ é igual mas de sentido oposto ao vetor $K(\theta).\vec{\nabla} \phi_h$. Como, no caso presente, o que importa é apenas a densidade de fluxo na direção vertical, tem-se que:

$$\vec{q} = -K(\theta) \cdot \frac{\partial \phi_h}{\partial z} \cdot \hat{k} \quad (4)$$

onde $\hat{k}$ é o vetor unitário na direção vertical.

Além disso, como $\phi_h : \phi_m + \phi_z$, onde ϕ_m : potencial mátrico e ϕ_z : potencial gravitacional, e sendo $\phi_m : -12,6 h + hc + z$ e $\phi_z : -z$ quando expressos em termos de uma altura de água, então:

$$\frac{\partial \phi_h}{\partial z} = - \frac{12,6 \Delta h}{\Delta z} \quad (5)$$

onde Δh , para o primeiro balanço hídrico, é a diferença entre a leitura (cm Hg), num dado instante, do tensiômetro a 0,20 m de profundidade e a leitura (cm Hg) do tensiômetro a 0,30 m de profundidade. Devido a inexistência de tensiômetros nas profundidades superiores a 0,30 m, no segundo balanço hídrico, o valor de Δh foi determinado a partir dos valores de umidade volumétrica estimados através da curva média de calibração da sonda de nêutrons. De posse dos valores de umidade volumétrica, os potenciais mátricos nas profundidades 0,30 m e 0,60 m foram obtidos através do ajuste matemático para a curva de retenção de água (vide Tabela 02). O valor de Δz representa o comprimento da camada de solo através da qual será calculado o gradiente de potencial total médio das 4 repetições. No primeiro balanço esse valor é de 0,10 m e no segundo de 0,30 m.

De posse da função $K(\phi_m)$, equação (1), e da média das leituras diárias dos tensiômetros a 0,20 e 0,30 m de profundidade obtiveram-se os valores de drenagem de água pela equação de Darcy na profundidade de 0,25 m. No balanço hídrico calculado na profundidade de 0,45 m, utilizaram-se os dados de contagem relativa da sonda de nêutrons que transformados em umidade volumétrica através da equação (6), forneceram os valores de potencial mátrico através da curva de retenção de água ajustada conforme os parâmetros descritos na Tabela 02.

$$\theta = -19,40 + 31,51 CR \quad (6)$$

onde: θ : teor de água ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$)

CR : Contagem relativa.

Os valores de evapotranspiração atual (mm/dia) ET foram estimados para cada tratamento e para cada estágio fenológico da cultura, uma vez que é a incógnita da equação (2) do balanço hídrico. Os valores de evapotranspiração obtidos para o tratamento IIIII, foram assumidos como sendo os valores de evapotranspiração máxima (Et_m), e a evapotranspiração atual (Et_a) para os tratamentos restantes. A diferença entre os valores fornece o déficit de evapotranspiração da cultura. Os períodos escolhidos estão apresentados na Tabela 03.

TABELA 03 - *Períodos de cálculo dos componentes do Balanço hídrico*

Datas	Tempo após semeadura	Estádio fenológico	Período
	(dias)		(dias)
19/5 a 26/5	12a19	des. veg.(1)	8
27/5 a 10/6	20a34	des. veg.(1)	15
11/6 a 16/6	35a40	des. veg.(1)	6
17/6 a 24/6	41a48	des. veg.(1)	8
25/6 a 27/6	49a51	des. veg.(I)	3
28/6 a 04/7	52a58	floração(2)	7
05/7 a 09/7	59a63	floração(2)	5
10/7 a 13/7	64a67	floração(2)	4
14/7 a 19/7	68a73	ench. grãos(3)	6
20/7 a 23/7	74a77	ench. grãos(3)	4
24/7 a 28/7	78a82	ench. grãos(3)	5
29/7 a 01/8	83a86	ench. grãos(3)	4
02/8 a 07/8	87a92	ench. grãos(3)	6
08/8 a 10/8	93a95	maturação (4)	3
11/8 a 17/8	96a102	maturação (4)	7
TOTAL :			91

Para o cálculo da variação de armazenagem na camada de 0,00 a 0,25 m de profundidade, correspondente ao primeiro balanço hídrico, foram utilizados os valores médios de umidade do solo obtidos indiretamente pelas leituras dos tensiômetros. No balanço hídrico da camada de 0,00 a 0,45 m de profundidade, foram utilizados os valores médios de umidade obtidos através da equação de calibração da sonda de nêutrons (equação 6). A variação de armazenagem foi determinada pela diferença de armazenagem no perfil de solo considerado entre os tempos inicial e final dos períodos estudados e apresentados na Tabela 03. A equação que quantifica essa variação de armazenagem na camada considerada é a seguinte:

$$\Delta A_R = A_R(t_f) - A_R(t_i) \quad (7)$$

onde:

ΔA_R : Variação de armazenagem na camada considerada (Δz_1 : 0,25 m e Δz_2 : 0,45 m);

$A_R(t_f)$: Armazenagem (mm) no último dia dos períodos considerados para o cálculo do balanço hídrico.

$A_R(t_i)$: Armazenagem (mm) no primeiro dia dos períodos considerados para o cálculo do balanço hídrico.

3.5.1. Instrumentação do solo

Para a decisão do momento da irrigação e para a quantificação do movimento da água no perfil de solo ao longo do período do experimento utilizaram-se medidas do potencial mátrico através de baterias de tensiômetros localizados a 0,10 m, 0,20 m e 0,30 m de profundidade, conforme citado anteriormente. Essa indicação é apoiada por Erbach (1987) que afirma serem os tensiômetros bem aceitos e adaptados para o uso em experimentos onde os diferentes tratamentos são comparados em parcelas com solos similares e adjacentes.

O tipo de tensiômetro utilizado para o controle do potencial mátrico foi o que utiliza o mercúrio como líquido manométrico. Os tensiômetros foram construídos no Laboratório de Física do Solo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas-IPT, com tubos de PVC, rígido, com diâmetro externo de 0,021 m e interno 0,015 m e comprimento de 0,225 m, 0,325 m e 0,425 m para as profundidades de 0,10 m, 0,20 m e 0,30 m respectivamente; tubo de nylon flexível; rolha de borracha e cuba de vidro com 10 ml. As cápsulas de cerâmica possuíam as seguintes características (valores médios): comprimento de 0,05 m, diâmetro externo de 0,015 m equivalente ao do tubo de PVC, pressão de entrada de ar superiores a 0,17 MPa, porosidade total de 34% e condutância hidráulica de $3,46 \times 10^{-7} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$.

Figura 8 - Detalhe do manômetro de mercúrio dos tensiômetros

A sonda de nêutrons foi o equipamento escolhido para medida do teor de água no solo nas profundidades de 0,15 m, 0,30 m, 0,45 m e 0,60 m. As leituras com a sonda de nêutrons tiveram por objetivo a determinação da armazenagem de água antes e depois de 24 h da irrigação.

A sonda de nêutrons utilizada foi a HYDROPROBE-503 da Campbell Pacific National (CPN) Corporation. A Figura 9 mostra o equipamento em funcionamento.

Face a homogeneidade estrutural do Latossolo Roxo foi possível assumir a representatividade do perfil do solo através de uma única curva média de calibração da

sonda de nêutrons (0,15 m a 0,60 m de profundidade) conforme apresentada na equação 6.

Figura 9 - Sonda de nêutrons

3.6. O Sistema de Irrigação

O método de irrigação adotado foi aspersão. O sistema de irrigação foi montado para aplicar água na parcela de maneira uniformemente distribuída e foi constituído de uma captação do tipo cisterna, um sistema de adução composto por 8 tubos de PVC com engate rápido (50 mm de diâmetro e 48 metros de comprimento) e encaixados a uma tubulação flexível de polietileno (25 mm de diâmetro e 20 metros de comprimento). A distribuição de água na parcela era realizada através de tubo de PVC

com 25 mm de diâmetro e 2,3 metros de comprimento. Esse tubo foi perfurado na extensão de 2,0 m (largura da parcela) e conectado ao sistema de adução através de reduções e um registro de gaveta. O nível dinâmico de água do poço era 6 metros. O bombeamento era realizado por um conjunto moto-bomba de 1,5 cv. A Figura 8 apresenta a fotografia do sistema em operação.

Figura 10 - Sistema de irrigação e tubulação de adução.

3.7. Critérios de quando e quanto irrigar

No primeiro estágio fenológico da cultura a irrigação foi efetuada quando o valor médio das leituras dos quatro tensiômetros instalados a profundidade de 0,10 m era igual ou inferior a -0,03 MPa. Nas fases posteriores o momento da irrigação foi definido

quando a média aritmética das leituras das 4 baterias de tensiômetros instaladas a 0,20 m de profundidade fosse igual ou inferior a -0,05 MPa no tratamento I I I I.

A armazenagem de água no perfil do solo na capacidade de campo e no ponto de murchamento permanente, para a camada de irrigação (0,00 - 0,30 m) foi de 111,81 mm e 78,75 mm respectivamente. O valor da capacidade de água disponível-CAD para a profundidade da camada de irrigação (0,00 a 0,30 m) foi de 33,06 mm. Os valores de potencial mátrico da água no solo que determinaram o momento da irrigação, corresponderam a 57% e 69% do valor da CAD, nas fases 1 e posteriores respectivamente. Para essas condições, Doorenbos & Kassan (1979) estimam que a perda de rendimento só deverá ocorrer quando a evapotranspiração da cultura superar um valor entre 4 mm/dia (57% da CAD na fase 1) a 3 mm/dia (69% da CAD nas fases 2, 3 e 4), para a cultura do feijão, classificada, conforme os autores, como sendo do grupo 3 em relação à tolerância ao esgotamento da água no solo (fração p). Na Tabela 4, são apresentados os critérios adotados para a definição do momento e da quantidade de água a ser aplicada em cada tratamento.

TABELA 4 - Critérios de decisão do momento e da quantidade de água a ser aplicada nas irrigações.

	Valores de potencial mátrico antes da irrigação (MPa)		Umidade média (m^3/m^3) da camada com o tensiômetro de decisão na profundidade de:		Lâminas líquidas de água a serem repostas (mm)		Fração da CAD (%)	
	0,10 (m)	0,20 (m)	0,10 (m)	0,20 (m)	sem déficit	com déficit	sem déficit	com déficit
Estádio fenológico								
Desenvolvimento Vegetativo	-0,03		0,3102		18,7	10,3	57	31
Floração		-0,05		0,2968	22,8	12,5	69	38
Enchimento de Grãos		-0,05		0,2968	22,8	12,5	69	38
Maturação		-0,05		0,2968	22,8	12,5	69	38

Nota-se que os valores das lâminas com déficit de água representam 55% do valor das lâminas de água sem déficit. Desta forma, teóricamente, os tratamentos com déficit de água deixariam de repor 26% da CAD na fase de Desenvolvimento Vegetativo e 31% para as demais fases.

3.7.1. A aplicação dos déficits de irrigação

A lâmina de água pré-estabelecida para ser aplicada nos tratamentos sem déficit hídrico no estágio de desenvolvimento vegetativo foi 19 mm. O tempo de aplicação dessa lâmina por parcela era de 240 segundos. O tratamento que recebia a lâmina com déficit de água nesse mesmo estágio fenológico tinha um tempo de aplicação pré estabelecido de 150 segundos por parcela, nesse tempo a lâmina média prevista era de 11 mm.

Nos estádios fenológicos restantes a previsão de aplicação da lâmina de água sem déficit era de 24,5 mm. Esse volume de água era aspergido manualmente em 300 segundos por parcela. A previsão de aplicação da lâmina com déficit de água era de 13,5 mm e o tempo de aplicação, 180 segundos.

Como pode ser observado a intensidade de aplicação do sistema de irrigação foi muito elevada, porém, face a elevada taxa de absorção de água nesse valor de potencial mátrico (350 mm/h), IPT (1987), e por ser o terreno muito plano (declividade < 1%), o escoamento superficial era praticamente nulo, favorecendo altas eficiências de aplicação de água (ver Figura 11).

Figura 11 - Escoamento superficial na parcela sem déficit de irrigação.

O tempo de irrigação das 24 parcelas era de aproximadamente 4 horas incluindo a mudança da tubulação principal e da mangueira.

3.8. Qualidade das irrigações

A qualidade da irrigação pode ser avaliada pelo conhecimento da sua efetividade e da eficiência do uso da água pelas plantas. O termo efetividade da irrigação, segundo Frizzzone (1992), descreve qualitativamente a eficiência de aplicação, uniformidade de distribuição e a eficiência de armazenagem de água no solo.

Como além do déficit de irrigação, a uniformidade de distribuição da água nas parcelas tem relação direta com o rendimento da lavoura, é necessário que se conheça a qualidade das irrigações em termos de sua efetividade. Nesse sentido, foi realizado em 11 das 16 irrigações monitoradas o controle da qualidade, através de ensaios de distribuição de água em uma parcela com tratamento I I I I e em outra com tratamento O O O O. Quinze coletores foram instalados na parcela formando uma malha de 5 linhas espaçadas de 1,0 m, com 3 coletores cada, espaçados também de 1,0 m. A altura dos coletores variou de 0,20 a 0,50 m da superfície do terreno em função da altura da planta. O volume de cada coletor era de 500 cm^3 , para uma relação de $5,01 \text{ cm}^3/\text{mm}$.

3.8.1. Uniformidade de distribuição e eficiências de aplicação e armazenagem

O conhecimento da fração do volume total de água aplicada que é armazenada na profundidade efetiva do sistema radicular determina fisicamente as eficiências de aplicação de cada irrigação. Por sua vez, a eficiência de armazenagem fornece o valor da fração das lâminas requeridas que ficaram armazenadas também na profundidade efetiva do sistema radicular. Em ambos os cálculos assumiu-se que a camada de irrigação localizada entre 0,00 a 0,30 m fosse a própria profundidade efetiva do sistema radicular.

O coeficiente de uniformidade e a uniformidade de distribuição de água das irrigações foram avaliadas com base no modelo normal proposto por Hart (1961) e descrito por Solomon (1984).

Os valores de eficiência de aplicação e armazenagem de água para as lâminas de água sem déficit de irrigação, também foram calculadas segundo modelo normal, adaptado por Walker (1979), e utilizado por Matura (1987), Saad (1991) e Paz (1995). As lâminas com déficit de água não puderam ser avaliadas por esse modelo em função do elevado valor da lâmina requerida adimensional (relação entre a lâmina de água requerida na irrigação e o valor da lâmina média aplicada).

Embora esses índices quantitativos de eficiência sejam sempre utilizados sem significado físico, as medidas dos valores da uniformidade de distribuição das lâminas coletadas, podem auxiliar na previsão do rendimento das culturas. Solomon (1984) em trabalho sobre estimativa de produção a partir da análise da qualidade da irrigação, sugere que para um caso hipotético particular de uma função de produção, os valores de uniformidade e de eficiência sejam numericamente iguais para a determinação da expectativa da produção relativa. Diversos autores, citados por Paz (1995), estudaram a otimização econômica de sistemas de irrigação, relacionando a uniformidade de distribuição e a lâmina aplicada.

Uma estimativa da eficiência das irrigações foi realizada utilizando-se o conceito dessas eficiências através das seguintes equações:

$$EF_a = \frac{\Delta\theta_m \cdot z + ET_{mf}}{W_m} \quad (8)$$

onde, EF_a é a eficiência de aplicação; $\Delta\theta_{m.z}$ é o valor da variação da armazenagem por um período considerado de 24 horas (mm/dia), ou seja, antes e depois da irrigação, determinado indiretamente pelos valores das leituras dos potenciais mátricos dos tensiômetros instalados a 0,10 m, 0,20 m e 0,30 m nos tratamentos sem e com déficit hídrico (IIIII, OIIII, IOIII, IIOII, e IIIIO) em uma das fases da cultura. O valor de ET_{mf} é referente à evapotranspiração média da fase (mm/dia), estimada através do balanço hídrico no campo. Por fim, W_m é considerada a lâmina média coletada nas parcelas durante as irrigações e contabilizada em mm.

A eficiência de armazenagem também pode ser estimada a partir da relação entre a variação de armazenagem por um período considerado de 24 horas, ou seja, antes e depois da irrigação, determinado indiretamente pelos valores das leituras dos potenciais mátricos dos tensiômetros instalados a 0,10 m, 0,20 m e 0,30 m nos tratamentos sem e com déficit hídrico somado ao valor de ET_{mf} conforme descrito na equação anterior e a lâmina requerida para aquela irrigação, ou seja:

$$EF_{arm} = \frac{\Delta\theta_{m.z} + ET_{mf}}{(\theta_{cc} - \theta_{atual}).z} \quad (9)$$

onde, θ_{cc} é a capacidade de campo (m^3/m^3) correspondente a um valor de potencial mátrico no perfil de solo (0,0 a 0,30 m) de -0,008 MPa. O valor de θ_{atual} refere-se a umidade volumétrica média do perfil de solo antes da irrigação (m^3/m^3) e z a camada de irrigação (0,0 a 0,30 m) estudada.

3.8.2. Eficiência do uso da água pela cultura

Segundo Hillel (1972), o conceito de eficiência do uso da água deve ser utilizado especificamente para definir:

- a) **Eficiência do uso da água pela cultura (e_c):** razão entre o rendimento da cultura (Y_w) e a quantidade de água utilizada para o seu crescimento (V) e sua transpiração (T). Nesse trabalho assume-se o seguinte valor:

$$e_c = \frac{Y_w}{ET_a} \quad (10)$$

onde:

e_c é a eficiência do uso de água pela cultura em (kg/m^3), Y_w é o rendimento da cultura ($\text{kg}.\text{ha}^{-1}$) e ET_a a evapotranspiração do feijoeiro calculada pelo método do balanço hídrico na camada (0,00 - 0,45 m) em ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$).

- b) **Eficiência do uso da água no campo (e_f):** razão entre o rendimento da cultura e o total de água utilizado para o crescimento (V), transpiração (T), evaporação direta do solo (E) e perdas por drenagem (D).

$$e_f = \frac{Y_w}{W} \quad (11)$$

onde, e_f é a eficiência do uso da água no campo em kg/m^3 , Y_w é o rendimento da cultura ($\text{kg}.\text{ha}^{-1}$) e W a lâmina média total de água aplicada por irrigação mais a precipitação pluvial ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$).

3.9. Produção e componentes da produção do feijoeiro

O rendimento de grãos foi determinado em cada uma das 24 parcelas de $5,4 \text{ m}^2$. As plantas de cada parcela foram arrancadas manualmente e expostas ao sol para secagem por dois dias consecutivos. As plantas secas foram embaladas em sacos de 60 kg e batidas manualmente, para evitar perdas. Os grãos foram coletados e acondicionados em sacos de papel e pesados em balança eletrônica. Foram determinadas as umidades a base de massa e corrigido o peso final dos grãos para 13% de umidade. Para cada tratamento foi quantificado o número de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e peso de 100 grãos.

3.10. Função de produção

O rendimento de lavouras irrigadas em resposta à quantidade de água aplicada, em um dado período de seu desenvolvimento, torna-se dependente do método de aplicação e da dinâmica da água em relação ao solo e à atmosfera.

A relação entre o rendimento e a quantidade de água aplicada (função de produção) é fundamental para uma análise econômica, pois, com uma expressão

matemática, pode-se estimar os resultados econômicos da não irrigação em determinados períodos de desenvolvimento da cultura.

As equações matemáticas mais comumente utilizadas nas análises econômicas são a linear e a polinomial quadrática. Essa última, na maioria das vezes, é a que melhor representa a estimativa do rendimento em função das lâminas de água aplicadas.

A função matemática que fornece a quantidade produzida, a partir do conjunto de insumos, é representada da seguinte forma:

$$Y = Y(W_1, W_2, W_3, \dots, W_n) \quad (12)$$

onde, Y representa a quantidade produzida e W_i ($i : 1, 2, 3, \dots, n$) os insumos que participam do processo de produção.

No presente experimento, todos os insumos, com exceção da quantidade de água aplicada, foram idênticos para os 6 tratamentos, portanto, a função de resposta da cultura à quantidade de água aplicada através da irrigação, representada por um polinômio do segundo grau, é a seguinte:

$$Y_{(W)} = A + BW + C.W^2 \quad (13)$$

onde:

$Y_{(W)}$: estimativa de rendimento (kg.ha^{-1}) da cultura em função dos tratamentos (IIII, OIII, IOII, IIOI, IIIO, OOOO);

W : lâminas de água totais aplicadas (mm) nos tratamentos (IIII, OIII, IOII, IIOI, IIIO, OOOO);

A , B , e C : parâmetros de ajuste da equação.

A função de produção apresentada na equação 13 tem um ponto de máximo pode ser determinado quando se iguala a zero a sua derivada em relação a W , ou seja:

$$\frac{dY}{dW} = B + 2CW = 0 \quad (14)$$

$$W_{MAX} = -\frac{B}{2.C} \quad (15)$$

onde, W_{MAX} é a lâmina total aplicada necessária para se obter o máximo rendimento (kg.ha^{-1}).

3.11. Fator de rendimento do feijoeiro (ky)

Vários autores que estudaram as relações hidroedáficas das culturas na década de 70 e início de 80 entre eles Begg & Turner, 1976 e Kramer, 1974 sugeriram

que o déficit de água no solo e o consequente déficit de água na planta tem efeito direto na evapotranspiração da cultura e por correspondência no rendimento.

Segundo Hargreaves & Samani (1984) vários modelos têm sido desenvolvidos para representar o rendimento da cultura como função da evapotranspiração. Os autores citam os modelos de Stewart, Hanks e Hall-Buckner.

Com o objetivo de otimizar o planejamento, projeto e operação de perímetros irrigados, através do conhecimento do efeito do déficit de evapotranspiração no rendimento das culturas, o modelo de Stewart foi utilizado por Doorenbos & Kassam (1979) e adotado pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação-(FAO). Esse modelo apresenta o conceito de déficit de evapotranspiração relativa associado ao déficit de rendimento relativo através de uma equação linear da seguinte forma:

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = k_y \cdot \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right) \quad (16)$$

onde, Y_a é o valor do rendimento atual da cultura; Y_m o rendimento máximo; k_y é o fator de resposta do rendimento e quantifica o declínio no rendimento (Y_a) por unidade de decréscimo em ET_a ; ET_a é a evapotranspiração atual; ET_m é a evapotranspiração máxima. Essa equação é válida para déficits de água de até 50% aproximadamente, indicando que o déficit relativo da evapotranspiração seja igual a 0,5.

Os valores de k_y adotados pela FAO e compilados por Doorenbos & Kassam (1979) para a cultura do feijão, foram determinados através de experimentos de campo para uma grande amplitude de locais com cultivares de alta produção, bem adaptados as mais diversas condições edafoclimáticas e com elevado nível tecnológico na condução da lavoura.

Nesse trabalho assumiu-se que a depleção de água no solo existente na camada de irrigação (0,00 - 0,30 m) entre ϕ_m : -0,03 e -0,05 MPa (momento da irrigação) e ϕ_m : -0,008 MPa (capacidade de campo), no tratamento II III não causa perdas no rendimento do feijoeiro por deficiência hídrica. Neste caso pode-se afirmar que a evapotranspiração atual é igual a evapotranspiração máxima da cultura, $ET_a : Et_m$. Face a isso, o rendimento da cultura sem déficit de irrigação pode ser considerado como o rendimento máximo (Y_m) e da mesma forma que para a evapotranspiração, os rendimentos máximos e atuais se igualam no tratamento II III ($Y_a = Y_m$).

3.12. Avaliação econômica do déficit de irrigação

Com o objetivo de caracterizar o custo do déficit de água nos diferentes estádios fenológicos da cultura do feijoeiro, desenvolveu-se uma análise econômica utilizando-se custos de produção do feijoeiro irrigado por pivô central em 6 áreas monitoradas nos municípios de Guaira-SP, e duas no município de Casa Branca-SP, conforme citados no Quadro 01.

3.12.1. Custo de produção

O custo de produção de uma cultura irrigada pode ser representado por uma função linear da seguinte forma:

$$C_w = C_o + C_i.W \quad (17)$$

onde:

C_w : custo de produção (fixos e variáveis) da cultura irrigada, por unidade de área, para um determinado valor de lâmina aplicada;

C_o : custos de produção da cultura por unidade de área excluindo os relacionados com a aplicação de água através da irrigação;

C_i : custo unitário da água aplicada por ha.

W : volume da água aplicado por ha.

O levantamento do custo de produção foi realizado através de uso de planilhas de custos, nas quais eram registrados o volume de mão de obra comum ou especializada movimentada na cultura, o número de horas trabalhadas de cada máquina ou implemento agrícola, o tipo e quantidade de insumo aplicado e finalmente elaborado um inventário detalhado das máquinas, implementos, equipamentos de irrigação e benfeitorias da propriedade. As planilhas eram preenchidas quinzenalmente por um

técnico e digitadas em computador, formando-se um banco de dados de coeficientes técnicos da cultura.

Uma síntese da análise dos custos envolvidos na produção da cultura do feijão irrigado por pivô central em áreas de Latossolo Roxo dos municípios de Guaira (seis) e Casa Branca (duas) foi apresentada no Quadro 01, (ver cap. 2, pág. 12). Os valores em dólares (US\$) americanos utilizados como referência de valor no trabalho foram transformado em reais (R\$), na relação de 1 US\$ por 1 R\$.

Para o cálculo da receita líquida dos diferentes tratamentos foram utilizados, portanto, os seguintes valores (máximo, mínimo e médio), para os custos associados a irrigação (C_i), ou seja, os custos unitários da água:

$$C_{imax}: \text{R\$ } 75,00/1000 \text{ m}^3$$

$$C_{imed}: \text{R\$ } 57,00/1000 \text{ m}^3$$

$$C_{imin}: \text{R\$ } 32,00/1000 \text{ m}^3$$

Os custos não associados a irrigação (C_o) foram calculados da seguinte maneira:

$$C_o = \frac{C_w}{60} \cdot (Y_w) - C_i \cdot W \quad (18)$$

onde:

C_o é o custo não associado a irrigação em R\$ ha⁻¹, C_w o custo total de produção da cultura (R\$/ sacas 60 kg), Y_w o rendimento da cultura (kg. ha⁻¹), C_i custo unitário da

água (R\$/1000 m³) e W a lâmina de água de irrigação aplicada na cultura durante todo o ciclo (m³/ha). Os valores máximos, médios e mínimos obtidos foram:

$$C_{max} : \text{R\$ } 613,12 \cdot \text{ha}^{-1}.$$

$$C_{med} : \text{R\$ } 447,54 \cdot \text{ha}^{-1}.$$

$$C_{min} : \text{R\$ } 325,30 \cdot \text{ha}^{-1}.$$

3.12.2. O preço do produto

O preço do feijão (sacas de 60 kg), foi obtido a partir de levantamento mensal dos preços médios recebidos pelos agricultores no Estado de São Paulo realizado pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo e publicado no periódico *Informações Econômicas*. O período estudado foi de fevereiro de 1985 a 1995. Os preços foram atualizados pelo Índice Geral de Preços-IGP, para o mês de fevereiro de 1995.

O gráfico da figura 12 apresenta os valores mensais dos preços do produto para o período considerado.

Figura 12 - Preço Real do feijão no Estado de São Paulo entre os meses de janeiro de 1985 e fevereiro de 1995

Os preços máximo, médio e mínimo no período considerado foram: R\$ 2,51/kg; R\$ 0,95/kg e R\$ 0,46/kg, a preços de fevereiro de 1995. Segundo o Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira 96 o preço líquido médio (últimos 5 anos) foi de R\$ 36,19 por saca de 60 kg, ou R\$ 0,60/kg.

3.12.3. Receitas bruta, líquida e custo do déficit de irrigação

A receita bruta é o produto do rendimento das culturas pelo preço obtido na sua comercialização. Desta forma, para cada tratamento a receita bruta foi estimada da

seguinte forma: os preços máximo, médio e mínimo do produto multiplicados pelo rendimento de cada tratamento.

A receita líquida é dada pela diferença entre a receita bruta e os custos de produção envolvidos (fixos e variáveis). A receita líquida para cada tratamento foi obtida da seguinte forma:

$$RL = P_p \cdot Y_w - \frac{C_w}{60} \cdot Y_w \quad (18)$$

onde:

RL : receita líquida em R\$.ha⁻¹, P_p o preço do produto recebido pelo agricultor (R\$.kg⁻¹), Y_w o rendimento da lavoura (kg.ha⁻¹), C_w o custo total de produção (R\$.kg⁻¹) e Y_w o rendimento kg/ha

Desta forma pode-se afirmar que a diferença de receita líquida entre o tratamento sem déficit de água (IIIII) e os 5 tratamentos onde foram aplicados déficits de irrigação, em pelo menos um dos estádios fenológicos da cultura (OIII, IOII, IIOI, IIIIO e OOOO), determina o custo do déficit por unidade de área.

$$CD = P_p \cdot (Y_{wsd} - Y_{wd}) - (C_{isd} - C_{id}) \quad (19)$$

onde CD é o custo do déficit de água por unidade de área (R\$/ha⁻¹), P_p o preço do produto recebido pelo agricultor (valores máximo, médio e mínimo) (R\$.kg⁻¹), Y_{wsd} e Y_{wd}

os rendimentos ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) dos tratamentos sem déficit de água (IIII) e com déficit (OIII, IOII, IIOI, IIIO e OOOO) respectivamente, e por fim, C_{isd} e C_{id} os custos totais da água ($\text{R\$}/\text{m}^3/\text{ha}$) no tratamento sem déficit (IIII) e nos tratamentos com déficit hídrico (OIII, IOII, IIOI, IIIO e OOOO).

Os custos totais da água foram obtidos através das seguintes equações:

$$C_{isd} = W_{III} \cdot C_i \quad (20)$$

onde W_{III} é o volume de água aplicado ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}$) no tratamento IIII e C_i o custo unitário da irrigação ($\text{R\$}/1000 \text{ m}^3$) obtido do levantamento do IPT, ou seja: C_{imax} : $\text{R\$ } 75,00/1000 \text{ m}^3$; C_{imed} : $\text{R\$ } 57,00/1000 \text{ m}^3$ e C_{imin} : $\text{R\$ } 32,00/1000 \text{ m}^3$.

$$C_{id} = W_{(OIII, IOII, IIOI, IIIO, OOOO)} \cdot C_i \quad (21)$$

onde:

$W_{OIII, IOII, IIOI, IIIO, OOOO}$ são os volumes de água aplicados (m^3/ha) nos tratamentos OIII, IOII, IIOI, IIIO, OOOO e C_i o custo da irrigação (máximo, médio e máximo) $\text{R\$}/1000 \text{ m}^3$.

3.12.4. O custo do déficit de irrigação em função do aumento do custo da água.

Com o intuito de avaliar o comportamento do custo do déficit de irrigação em função do aumento do custo da água, realizou-se uma estimativa de aumento desse através da multiplicação de um fator de correção (**fc**), sobre o valor desses custos. Esses fatores foram de: 20%, 40%, 60%, 80%, 100%, 200% e 300%.

Os gráficos das Figuras 13 a 15 apresentam os aumentos dos custos médio, máximo e mínimo da água.

Figura 13 - Aumento do custo médio da água em função da lâmina aplicada.

Figura 14 - Aumento do custo máximo da água em função da lâmina aplicada.

Figura 15 - Aumento do custo mínimo da água em função da lâmina aplicada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Duração dos estádios fenológicos

O ciclo da cultura do feijoeiro foi determinado tomando-se como base o tratamento sem déficit hídrico (IIII). A Tabela 05 apresenta o tempo de duração dos estádios fenológicos da cultura. Em função das condições ambientais reinantes e dos tratos culturais aplicados, o ciclo da cultura teve a duração de 102 dias após a semeadura.

TABELA 5 - Fenologia da cultura para o tratamento sem déficit de irrigação (IIII).

Período	Estádios fenológicos	Duração da fase (dias)	Tempo após a semeadura (dias)	Duração (%)
07/05 a 18/05/93	Estabelecimento-0	11	11	10,8
19/05 a 27/06/93	Desenvolvimento vegetativo-1	40	51	39,2
28/06 a 13/07/93	Início da floração ao início do enchimento dos grãos - 2	16	67	15,7
14/07 a 07/08/93	Início do enchimento de grãos ao início da maturação -3	25	92	24,5
08/08 a 17/08/93	Início ao final da maturação - 4	10	102	9,8

4.2. Precipitação pluvial, irrigação e déficit de irrigação

No dia do plantio (7/05/93) e no 12º dia após o plantio (19/05/93), todas as parcelas do experimento foram irrigadas por sistema de aspersão convencional com o objetivo de uniformizar a umidade do solo elevando o teor de água na camada 0,00 - 0,30 m até a capacidade de campo.

Os valores quantificados de irrigação e precipitação pluvial estão apresentados na Tabela 6.

TABELA 6 - Valores de precipitação pluvial e irrigação.

Datas	Tas	Chuva	Lâminas de água aplicadas (mm)					
	dias	(mm)	IIII	OIII	IOII	IIOI	IIIO	OOOO
7/05/93	Plantio ⁽¹⁾		24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5
19/05/93	12		18	18	18	18	18	18
28/05/93	21		15,9	9,3	15,9	15,9	15,9	9,3
31/05/93	24	9,4						
1/06/93		8						
5/06/93	29	15						
9/06/93	33		19	12,5	19	19	19	12,5
15/06/93	39		19	12,5	19	19	19	12,5
18/06/93	42	7						
23/06/93	47		23,7	12,7	23,7	23,7	23,7	12,7
28/06/93	52		23,7	23,7	12,7	23,7	23,7	12,7
3/07/93	57		23,7	23,7	12,7	23,7	23,7	12,7
8/07/93	62		24,5	24,5	13,8	24,5	24,5	13,8
12/07/93	66		25	25	13,5	25	25	13,5
18/07/93	72		23,3	23,3	23,3	13,2	23,3	13,2
22/07/93	76		23,1	23,1	23,1	11,8	23,1	11,8
27/07/93	81		23,1	23,1	23,1	11,8	23,1	11,8
31/07/93	85		22,3	22,3	22,3	11,7	22,3	11,7
5/08/93	90		22,5	22,5	22,5	12,1	22,5	12,1
9/08/93	94		24	24	24	24	24	12,4
14/08/93	99		22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	12,5
16/08/93	101	7						
	TOTAIS	46,4	353,4	322,8	309,2	299,7	331,7	203,2

Tas : Tempo após semeadura

⁽¹⁾ Lâmina de água não contabilizada nos totais.

Como pode ser observado na Tabela 6, 81,2% do total da precipitação pluvial ocorreu na fase de desenvolvimento vegetativo e o restante apenas 7 mm, foi precipitado no estágio de maturação. Pode-se dizer, portanto, que a precipitação pluvial não chegou, praticamente a interferir no controle da água dos diversos tratamentos.

A Tabela 7 apresenta os valores de déficit de irrigação nos tratamentos OIII, IOII, IIOI, IIOI,IIIO e OOOO em comparação com o tratamento IIII para o qual o déficit foi zero.

TABELA 7 - Valores do déficit de irrigação nos tratamentos.

Tratamentos	Lâminas (mm)	Déficit (m ³ .ha)	Déficit (%)
IIII	353,4	0	0
OIII	322,8	306	8,7
IOII	309,2	442	12,5
IIOI	299,7	537	15,2
IIIO	331,7	217	6,1
OOOO	203,20	1502	42,5

4.3. A qualidade das irrigações.

Keller & Bliesner (1990), recomendam um valor médio de 80% para o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), para a maioria das culturas. Culturas de maior valor econômico são diretamente afetadas pela baixa uniformidade, porém os valores de uniformidade baixos podem ser compensados com manejo adequado e eficiente da água, principalmente em condições limites de sua disponibilidade.

A avaliação da distribuição de água das irrigações está apresentada na

Tabela 8.

TABELA 8 - Avaliação da uniformidade de distribuição de água das irrigações.

Datas das irrigações	LÂMINAS DE ÁGUA SEM DÉFICIT					LÂMINAS DE ÁGUA COM DÉFICIT				
	Lâmina média (mm)	Desvio padrão (mm)	Coef. de variação (%)	CUC _H (Dec.)	UD _H (Dec.)	Lâmina média (mm)	Desvio padrão (mm)	Coef. de variação (%)	CUC _H (Dec.)	UD _H (Dec.)
28/05/93	15,9	2,9	18,4	0,54	0,77	9,3	2,1	21,5	0,46	0,73
9/06/93	19	3,3	17,3	0,56	0,78	12,5	1,9	15,2	0,62	0,81
23/06/93	23,7	2,2	9,2	0,77	0,88	12,7	1,6	12,6	0,69	0,84
8/07/93	24,5	1,72	7	0,82	0,91	13,8	1,31	9,5	0,76	0,88
12/07/93	25	1,7	6,8	0,83	0,91	13,5	1,4	10,4	0,74	0,87
18/07/93	23,3	1,8	7,8	0,81	0,90	13,2	1,5	11,4	0,72	0,86
22/07/93	23,1	2,2	9,6	0,76	0,88	11,8	1,32	11,2	0,72	0,86
31/07/93	22,3	1,3	5,7	0,77	0,88	11,7	0,9	7,7	0,79	0,89
5/08/93	22,5	2,1	9,4	0,85	0,93	12,1	1	8,3	0,81	0,90
9/08/93	24	2,1	8,8	0,76	0,89	12,4	1,1	9	0,78	0,89
14/08/93	22,6	1,6	7,3	0,82	0,91	12,5	1,2	9,5	0,76	0,88

Obs.: As irrigações dos dias 19/05, 15/06, 28/06, 03/07 e 27/07 não foram avaliadas.

Das 11 irrigações monitoradas com a lâmina sem déficit de água, duas (18,2%) estão com o Coeficiente de Uniformidade de Hart (CUC_H) muito baixos ou seja inferiores a 75%; 4 irrigações (36,4%) estão com valores entre 76% e 80% e o restante 45,4% estão com valores superiores a 80%, conforme recomendado para esse sistema de aplicação de água. Porém, quanto a Uniformidade de Distribuição de Hart (UD_H) que representa a relação entre a lâmina média de $\frac{1}{4}$ das menores lâminas e a lâmina média total, o valor médio das 11 irrigações é de 88%. Esse pãmetro também era denominado de padrão de eficiência, pelo "Soil Conservation Service" do Departamento de

Agricultura dos Estados Unidos, conforme Dabbous (1962)* , citado por Solomon (1984). Esse comportamento da distribuição de água é intrínseco ao sistema de irrigação adotado, ou seja, aspersão manual, onde a velocidade de caminamento durante a aplicação de água exerce uma forte influência sobre o valor da uniformidade de distribuição. Essa assertiva se comprova com o fato de que os valores mais baixos de CUC_H foram das duas primeiras irrigações monitoradas, onde a velocidade de caminamento não estava totalmente calibrada.

As lâminas de água com déficit de irrigação tiveram um desempenho similar às lâminas sem déficit de água. O valor médio do CUC_H foi de 71%, UD_H médio das 11 irrigações foi de 85% e o coeficiente de variação, foi baixo, 11%.

4.3.1. As eficiências das lâminas de água sem déficit

Os valores das lâminas requeridas das irrigações, bem como os valores das eficiências de aplicação e armazenagem para o tratamento sem déficit de água (IIII) são apresentados na Tabela 9.

* DABBOUS, B.J. A study of sprinkler uniformity evaluation methods. M.S. Thesis, Ag. & Irrig. Eng. Dept, Utah State University, Logan, U.T. (1962).

TABELA 9 - Valores estatísticos das irrigações sem déficit hídrico segundo modelo normal (Walker, 1979).

Datas irrigação	Lâmina média aplicada (mm)	Desvio Padrão (mm)	Coef. de Variação (dec)	Lâmina. Requerida (mm).	Lâmina Requerida Adim.	Eficiência aplicação (dec)	Eficiência Armazenagem (dec)
28/05/93	15,9	2,9	0,184	18,16	1,14	1,00	0,87
9/06/93	19	3,3	0,173	14,44	0,76	0,75	0,99
23/06/93	23,7	2,2	0,092	18,33	0,77	0,77	1,00
8/07/93	24,5	1,72	0,07	22,89	0,93	0,93	0,99
12/07/93	25	1,7	0,068	20,64	0,83	0,83	1,00
18/07/93	23,3	1,8	0,078	20,96	0,90	0,90	0,99
22/07/93	23,1	2,2	0,096	19,75	0,85	0,85	1,00
31/07/93	22,3	1,3	0,057	19,38	0,87	0,87	1,00
5/08/93	22,5	2,1	0,094	20,04	0,89	0,89	0,99
9/08/93	24	2,1	0,088	20,09	0,84	0,84	1,00
14/08/93	22,6	1,6	0,073	20,64	0,91	0,91	0,99

Nota-se, pela Tabela 10, a seguir, que os valores da eficiência de aplicação calculados com base na variação de armazenagem do perfil de solo antes e após as irrigações (equações 10 e 11, capítulo 3) estão inferiores aos valores estimados pelo modelo de distribuição normal, (Walker, 1979). Porém os índices de eficiência de armazenagem são similares.

TABELA 10 - Valores de eficiência das irrigações sem déficit.

Número de Ordem	Datas das irrigações	Eficiência Aplicação	Eficiência Armazenagem
02	28/05/93	0,45	0,88
03	9/06/93	0,68	0,96
05	23/06/93	0,62	0,95
08	8/07/93	0,74	0,96
09	12/07/93	0,69	0,92
10	18/07/93	0,66	0,92
11	22/07/93	0,64	0,92
13	31/07/93	0,69	0,93
14	5/08/93	0,63	0,91
15	9/08/93	0,60	0,91
16	14/08/93	0,68	0,91

A não concordância dos valores de eficiência de aplicação com o modelo normal pode também ser explicada pelos altos valores das taxas de aplicação de água (300 mm/h) do sistema de irrigação adotado, apesar do declive inexistente nas parcelas e das elevadas taxas de infiltração desse solo para os valores de potencial mátrico próximos a decisão de rega.

Como pode ser observado os valores de eficiência de armazenagem calculados pelos dois métodos foram sempre elevados, acima de 90%, a exceção da primeira irrigação, garantindo, portanto, para o tratamento sem déficit, condições ótimas para que a evapotranspiração da cultura se torne máxima. Os valores de eficiência de aplicação, para as 11 irrigações monitoradas sem déficit de água, foram em média superiores a 86,6% no modelo normal. Esses mesmos valores são próximos dos obtidos por Saad & Libardi (1994) para o sistema de irrigação por aspersão mecanizada do tipo pivô central, para o mesmo solo e cultura.

4.3.2. As eficiências das lâminas de água com déficit

As estimativas das eficiências de aplicação e armazenagem de água para as irrigações com déficit de água foram obtidas pelas equações 08 e 09, apresentadas no capítulo 3. Nota-se que os valores de eficiência de aplicação e armazenagem apresentados na Tabela 11, estão compatíveis com o modelo normal somente para os valores de eficiência de aplicação. As eficiências de armazenagem são muito baixas. Na realidade, os valores baixos de eficiência de armazenagem para as lâminas com déficit se justifica, pois, ao longo do perfil de solo (0,00 a 0,30 m) não deveria haver alterações do

teor de água em função da lâmina de água aplicada, isto é, a quantidade de água fornecida, foi insuficiente para aumentar a umidade ao longo do perfil.

TABELA 11 - Valores estatísticos das irrigações com déficit pelo modelo normal (Walker, 1979).

Tratamentos Analisados	Datas irrigação	Lâmina média aplicada (mm)	Desvio Padrão (mm)	Coef. de Variação (dec)	Lâmina Requerida (mm).	Lâmina Requerida Adm.	Eficiência aplicação (dec)	Eficiência Armazenagem (dec)
OIII	28/05/93	9,3	2,10	0,215	19,63	2,11	0,86	0,46
OIII	9/06/93	12,5	1,90	0,152	14,55	1,16	0,89	0,43
OIII	23/06/93	12,7	1,60	0,126	24,00	1,89	0,82	0,32
IOII	8/07/93	13,8	1,31	0,095	20,72	1,50	0,78	0,22
IOII	12/07/93	13,5	1,40	0,104	21,14	1,57	0,78	0,24
IIOI	18/07/93	13,2	1,50	0,114	15,10	1,14	0,84	0,27
IIOI	22/07/93	11,8	1,32	0,112	19,34	1,64	0,81	0,43
IIOI	31/07/93	11,7	0,90	0,077	21,14	1,81	0,78	0,36
IIOI	5/08/93	12,1	1,00	0,083	21,03	1,74	0,78	0,33
IIIO	9/08/93	12,4	1,10	0,09	14,64	1,18	0,83	0,26
IIIO	14/08/93	12,5	1,20	0,095	20,31	1,62	0,78	0,57

4.4. O déficit de água no solo

Considera-se nesse trabalho, o déficit de água no solo como sendo o esgotamento da água disponível para as plantas abaixo do valor monitorado no tratamento sem déficit de água (IIII). Esse conceito é relativo ao tratamento onde o feijoeiro, teoricamente, não sofreu supressão hídrica em nenhum dos 4 estádios fenológicos estudados.

O cálculo da média e do desvio padrão dos valores de água disponível no solo que estão apresentados na Tabela 12, são 51,5% e 2,9%. Assume-se, portanto, que os valores abaixo de 51,5% ($\pm 3\%$) de água disponível no solo nos diferentes estádios fenológicos, serão considerados como déficit de água para as plantas do feijoeiro para

essa unidade pedológica. Da mesma forma, o tratamento que sofreu supressão hídrica nos 4 estádios fenológicos, apresentou um valor médio de água disponível de 36% (+ ou- 1%).

O gráfico da Figura 16, apresenta a variação da água disponível no solo para o tratamento sem déficit de irrigação (IIII).

Figura 16 - Variação temporal dos valores de água disponível no solo na camada 0,00 a 0,30 m no tratamento II III I.

Os gráficos das Figuras 17; 18; 19; 20 e 21, apresentam de forma sequencial a variação de água disponível para todos os 5 tratamentos restantes. É importante enfatizar que sempre o estágio fenológico subsequente ao déficit de irrigação permanece por um determinado tempo com os valores de água disponível abaixo do valor limite considerado para não ocorrer déficit hídrico no solo (51,5% de água disponível).

Figura 17 - Variação temporal dos valores de água disponível no solo na camada 0,00 a 0,30 m no tratamento OIII.

Figura 18 - Variação temporal dos valores de água disponível no solo na camada 0,00 a 0,30 m no tratamento IOII.

Figura 19 - Variação temporal dos valores de água disponível no solo na camada 0,00 a 0,30 m no tratamento IIOI.

Figura 20 - Variação temporal dos valores de água disponível no solo na camada 0,00 a 0,30 m no tratamento IIIO.

Figura 21 - Variação temporal dos valores de água disponível no solo na camada 0,00 a 0,30 m no tratamento OOOO.

A Tabela 12, apresenta os valores médios do potencial mátrico, da umidade volumétrica e da água disponível no solo, nas profundidades de 0,10 m , 0,20 m e 0,30 m antes de cada irrigação. Nota-se que os valores são sempre mais negativos nos tratamentos onde foram realizadas as irrigações com déficit de água.

TABELA 12 - Valores médios de potencial mátrico, de umidade volumétrica e de água disponível durante os estádios fenológicos do feijoeiro antes das irrigações.

Tratamento sem déficit de irrigação (IIII).				
Estádios Fenológicos	1	2	3	4
Potencial Mátrico (MPa)	- 0,0268	- 0,0413	- 0,0364	- 0,0343
Umidade (m ³ /m ³)	0,3227	0,3152	0,3183	0,3198
AD (%)	55	48	51	52

Tratamento com déficit de irrigação (OIII).				
Estádios Fenológicos	1	2	2	4
Potencial Mátrico (MPa)	- 0,0510	- 0,0648	- 0,0356	- 0,0342
Umidade (m ³ /m ³)	0,3015	0,3061	0,3188	0,3199
AD (%)	35	40	51	52

Tratamento com déficit de irrigação (IOII).				
Estádios	1	2	3	4
Potencial Mátrico (MPa)	- 0,0324	- 0,0589	- 0,0570	- 0,0360
Umidade (m ³ /m ³)	0,3155	0,308	0,308	0,319
AD(%)	48	41	42	51

Tratamento com déficit de irrigação (IIOI).				
Estádios Fenológicos	1	2	3	4
Potencial Mátrico (MPa)	- 0,0338	- 0,0339	- 0,0659	- 0,0782
Umidade (m ³ /m ³)	0,3141	0,3202	0,3059	0,3031
AD (%)	47	52	39	37

Tratamento com déficit de irrigação (IIIO).				
Estádios Fenológicos	1	2	3	4
Potencial Mátrico (MPa)	- 0,0355	- 0,0334	- 0,0281	- 0,0496
Umidade (m ³ /m ³)	0,3124	0,3205	0,3255	0,3112
AD(%)	45	53	57	44

Tratamento com déficit de irrigação (OOOO).				
Estádios	1	2	3	4
Potencial Mátrico (MPa)	- 0,0524	- 0,0784	- 0,0831	- 0,0832
Umidade (m ³ /m ³)	0,3007	0,3031	0,3022	0,3022
AD (%)	35	37	36	36

Os valores de potencial mátrico da água no solo antes das irrigações em cada estágio fenológico da cultura para cada tratamento estão apresentados na Tabela 13 e nos gráficos das figuras 22 a 25. Essas figuras confirmam o que foi citado anteriormente de que houve um período de tempo em que os estádios fenológicos subsequentes a aplicação do déficit de irrigação ficaram com valores inferiores de água disponível ao tratamento sem déficit.

TABELA 13 - Valores de potencial mátrico antes das irrigações (MPa)

Tratamentos datas leituras	IIII			OIII			IOII			IIOI			IIIO			OOOO		
	profundidade (m)			profundidade (m)			profundidade (m)			profundidade (m)			profundidade (m)			profundidade (m)		
	0,10	0,20	0,30	0,10	0,20	0,30	0,10	0,20	0,30	0,10	0,20	0,30	0,10	0,20	0,30	0,10	0,20	0,30
28/05/93	-0,0414	-0,0297	-0,0211	-0,0417	-0,0303	-0,0216	-0,0406	-0,0289	-0,0206	-0,0398	-0,0294	-0,0212	-0,0461	-0,0285	-0,0218	-0,0426	-0,0281	-0,0213
31/05/93	-0,0178	-0,0221	-0,0205	-0,0252	-0,0273	-0,0229	-0,0231	-0,0257	-0,0215	-0,0230	-0,0254	-0,0212	-0,0216	-0,0252	-0,0216	-0,0266	-0,0302	-0,0236
9/06/93	-0,0244	-0,0205	-0,0171	-0,0259	-0,0218	-0,0178	-0,0251	-0,0213	-0,0182	-0,0255	-0,0215	-0,0177	-0,0272	-0,0211	-0,0178	-0,0266	-0,0211	-0,0183
15/06/93	-0,0363	-0,0273	-0,0210	-0,0317	-0,0266	-0,0212	-0,0194	-0,0176	-0,0162	-0,0201	-0,0178	-0,0158	-0,0198	-0,0172	-0,0157	-0,0323	-0,0265	-0,0220
23/06/93	-0,0383	-0,0300	-0,0229	-0,0734	-0,0530	-0,0344	-0,0320	-0,0257	-0,0221	-0,0335	-0,0273	-0,0216	-0,0358	-0,0261	-0,0218	-0,0732	-0,0531	-0,0355
28/06/93	-0,0373	-0,0293	-0,0227	-0,0797	-0,0719	-0,0469	-0,0298	-0,0240	-0,0211	-0,0320	-0,0250	-0,0203	-0,0335	-0,0249	-0,0210	-0,0784	-0,0696	-0,0463
3/07/93	-0,0553	-0,0376	-0,0258	-0,0784	-0,0662	-0,0489	-0,0744	-0,0527	-0,0362	-0,0562	-0,0324	-0,0240	-0,0552	-0,0323	-0,0250	-0,0795	-0,0778	-0,0696
8/07/93	-0,0759	-0,0572	-0,0363	-0,0804	-0,0741	-0,0527	-0,0842	-0,0756	-0,0686	-0,0688	-0,0451	-0,0323	-0,0652	-0,0457	-0,0338	-0,0842	-0,0832	-0,0804
12/07/93	-0,0508	-0,0410	-0,0285	-0,0545	-0,0472	-0,0445	-0,0842	-0,0832	-0,0822	-0,0417	-0,0329	-0,0305	-0,0386	-0,0308	-0,0300	-0,0842	-0,0832	-0,0822
18/07/93	-0,0474	-0,0390	-0,0347	-0,0492	-0,0395	-0,0370	-0,0823	-0,0814	-0,0802	-0,0405	-0,0313	-0,0290	-0,0354	-0,0308	-0,0288	-0,0822	-0,0832	-0,0822
22/07/93	-0,0387	-0,3042	-0,0305	-0,0407	-0,0360	-0,0375	-0,0749	-0,0637	-0,0741	-0,0686	-0,0577	-0,0653	-0,0300	-0,0255	-0,0263	-0,0811	-0,0833	-0,0822
27/07/93	-0,0496	-0,0439	-0,0407	-0,0533	-0,0428	-0,0428	-0,0729	-0,0598	-0,0585	-0,0746	-0,0763	-0,0798	-0,0431	-0,0336	-0,0327	-0,0811	-0,0832	-0,0822
31/07/93	-0,0352	-0,0301	-0,0319	-0,0304	-0,0288	-0,0318	-0,0425	-0,0417	-0,0526	-0,0842	-0,0832	-0,0822	-0,0256	-0,0244	-0,0252	-0,0842	-0,0832	-0,0822
5/08/93	-0,0419	-0,0338	-0,0319	-0,0367	-0,0313	-0,0300	-0,0463	-0,0385	-0,0407	-0,0814	-0,0811	-0,0779	-0,0342	-0,0261	-0,0239	-0,0836	-0,0828	-0,0813
9/08/93	-0,0445	-0,0334	-0,0314	-0,0396	-0,0336	-0,0329	-0,0402	-0,0362	-0,0358	-0,0804	-0,0832	-0,0822	-0,0406	-0,0297	-0,0334	-0,0842	-0,0832	-0,0822
14/08/93	-0,0485	-0,0352	-0,0337	-0,0401	-0,0349	-0,0319	-0,0409	-0,0358	-0,0402	-0,0669	-0,0731	-0,0822	-0,0792	-0,0695	-0,0632	-0,0839	-0,0832	-0,0822

Figura 22 - Valores de potencial mátrico da água no solo antes das irrigações, na profundidade de 0,10 m, durante o primeiro estágio fenológico (desenvolvimento vegetativo).

Figura 23 - Valores de potencial mátrico da água no solo antes das irrigações, na profundidade de 0,20 m, durante o segundo estágio fenológico (floração).

Figura 24 - Valores de potencial mátrico da água no solo antes das irrigações, na profundidade de 0,20 m, durante o terceiro estágio fenológico (enchimento de grãos).

Figura 25 - Valores de potencial mátrico da água no solo antes das irrigações, na profundidade de 0,20 m, durante o último estágio fenológico (maturação).

A Figura 26 apresenta os valores de potencial mátrico dos tratamentos IIII e OOOO, à profundidade de 0,10 m, antes de cada uma das 16 irrigações. Por esta figura pode-se observar que a camada superficial (0,00 - 0,10 m) de solo permaneceu com déficit localizado de água no solo por um curto período de tempo, durante o estágio de floração. Esse déficit foi causado pelo atraso no início da irrigação devido a problemas havidos na bomba hidráulica submersa do poço de alimentação de água da área experimental.

Figura 26 - Valores de potencial mátrico da água no solo antes das 16 irrigações, na profundidade de 0,10 m, nos tratamentos IIII e OOOO.

4.5. Balanço hídrico do feijoeiro

O monitoramento da água no solo ao longo de 91 dias do ciclo da cultura do feijoeiro possibilitou a realização do balanço hídrico no campo, cujo objetivo fundamental é o conhecimento dos valores da evapotranspiração e da drenagem interna ao longo do tempo.

As Tabelas 14 e 15 apresentam os resultados dos balanços hídricos nas camadas de 0,00 a 0,25 m e 0,00 a 0,45 m.

TABELA 14 - Valores dos componentes do balanço hídrico para a camada 0,00 - 0,25 m.

Tratamento I III I								
tempo dias	período dias	chuva mm	irrigação mm	drenagem mm	asc. cap. mm	var. arm. mm	ET _a mm	ET _a mm/dia
12 a 51	40	39,4	95,6	-37,3	5,5	-2,3	100,8	2,5
52 a 67	16	0,0	96,9	-13,3	0,3	8,0	91,9	5,7
68 a 92	25	0,0	114,3	-17,9	0,0	-1,4	95,0	3,8
93 a 102	10	7,0	46,6	-13,4	0,0	6,4	46,6	4,7
totais :	91	46,4	353,4	-81,9	5,8	10,7	334,4	3,7

Tratamento O I I I I								
tempo dias	período dias	chuva mm	irrigação mm	drenagem mm	asc. cap. mm	var. arm. mm	ET _a mm	ET _a mm/dia
12 a 51	40	39,4	65,0	-18,1	4,6	-7,7	83,2	2,1
52 a 67	16	0,0	96,9	-3,4	0,0	9,6	103,1	6,4
68 a 92	25	0,0	114,3	-21,9	0,0	-1,4	91,0	3,6
93 a 102	10	7,0	46,6	-17,0	0,0	6,6	43,2	4,3
totais :	91	46,4	322,8	-60,4	4,6	7,2	320,6	3,5

continua

continuação

Tratamento IOII								
tempo dias	período dias	chuva mm	irrigação mm	drenagem mm	asc. cap. mm	var. arm. mm	ET _a mm	ET _a mm/dia
12 a 51	40	39,4	95,6	-32,8	4,3	-1,4	105,0	2,6
52 a 67	16	0,0	52,7	-0,2	0,1	-5,7	46,9	2,9
68 a 92	25	0,0	114,3	-2,0	0,0	8,0	120,3	4,8
93 a 102	10	7,0	46,6	-11,0	0,0	6,8	49,3	4,9
totais :	91	46,4	309,2	-46,0	4,4	7,6	321,6	3,5

Tratamento II0I								
tempo dias	período dias	chuva mm	irrigação mm	drenagem mm	asc. cap. mm	var. arm. mm	ET _a mm	ET _a mm/dia
12 a 51	40	39,4	95,6	-36,9	4,8	-1,5	101,4	2,5
52 a 67	16	0,0	96,9	-16,8	4,1	6,4	90,5	5,7
68 a 92	25	0,0	60,6	-2,7	0,0	-11,4	46,6	1,9
93 a 102	10	7,0	46,6	-1,5	0,0	8,4	60,5	6,0
totais :	91	46,4	299,7	-58,0	8,9	2,0	298,9	3,3

Tratamento III0								
tempo dias	período dias	chuva mm	irrigação mm	drenagem mm	asc. cap. mm	var. arm. mm	ET _a mm	ET _a mm/dia
12 a 51	40	39,4	95,6	-41,3	6,2	-1,4	98,5	2,5
52 a 67	16	0,0	96,9	-21,6	0,5	8,0	83,7	5,2
68 a 92	25	0,0	114,3	-36,4	0,1	-3,0	75,0	3,0
93 a 102	10	7,0	24,9	0,0	0,0	-4,3	27,6	2,8
totais :	91	46,4	331,7	-99,4	6,8	-0,6	284,9	3,1

Tratamento 0000								
tempo dias	período dias	chuva mm	irrigação mm	drenagem mm	asc. cap. mm	var. arm. mm	ET _a mm	ET _a mm/dia
12 a 51	40	39,4	65,0	-13,5	3,7	-7,8	86,8	2,2
52 a 67	16	0,0	52,7	0,0	0,0	-0,5	52,2	3,3
68 a 92	25	0,0	60,6	0,0	0,0	-0,7	59,9	2,4
93 a 102	10	7,0	24,9	0,0	0,0	0,0	31,9	3,2
totais :	91	46,4	203,2	-13,5	3,7	-9,0	230,8	2,5

TABELA 15 - Valores dos componentes do balanço hídrico para a camada 0,00 - 0,45 m.

Tratamento-IIII								
tempo	período	chuva	irrigação	drenagem	asc. cap.	var. arm.	ET _a	ET _a
dias	dias	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm/dia
12 a 51	40,0	39,4	95,6	-55,1	0,0	-2,4	77,6	1,9
52 a 67	16,0	0,0	96,9	-5,0	0,0	4,1	96,0	6,0
68 a 92	25,0	0,0	114,3	-0,4	0,0	-14,8	99,1	4,0
93 a 102	10,0	7,0	46,6	-0,2	0,0	3,4	56,7	5,7
totais :	91,0	46,4	353,4	-60,7	0,0	-9,7	329,4	3,6

Tratamento-OIII								
tempo	período	chuva	irrigação	drenagem	asc. cap.	var. arm.	ET _a	ET _a
dias	dias	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm/dia
12 a 51	40,0	39,4	65,0	-64,9	0,0	-11,7	27,8	0,7
52 a 67	16,0	0,0	96,9	-2,1	0,1	13,4	108,3	6,8
68 a 92	25,0	0,0	114,3	-5,6	0,5	7,0	116,1	4,6
93 a 102	10,0	7,0	46,6	-3,6	0,0	0,8	50,8	5,1
totais :	91,0	46,4	322,8	-76,3	0,6	9,5	303,1	3,3

Tratamento-IOII								
tempo	período	chuva	irrigação	drenagem	asc. cap.	var. arm.	ET _a	ET _a
dias	dias	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm/dia
12 a 51	40,0	39,4	95,6	-42,1	0,5	1,4	94,7	2,4
52 a 67	16,0	0,0	52,7	0,0	2,2	-14,4	40,5	2,5
68 a 92	25,0	0,0	114,3	0,0	0,0	13,6	127,9	5,1
93 a 102	10,0	7,0	46,6	-0,6	0,0	1,7	54,7	5,5
totais :	91,0	46,4	309,2	-42,7	2,6	2,2	317,7	3,5

continua

continuação

Tratamento-IIIOI								
tempo	período	chuva	irrigação	drenagem	asc. cap.	var. arm.	ET _a	ET _a
dias	dias	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm/dia
12a51	40,0	39,4	95,6	-79,6	0,0	-6,6	48,9	1,2
51a67	16,0	0,0	96,9	-7,4	0,0	-1,8	87,7	5,5
67a92	25,0	0,0	60,6	0,0	0,1	-18,5	42,2	1,7
92a102	10,0	7,0	46,6	0,0	0,0	8,0	61,6	6,2
totais :	91,0	46,4	299,7	-87,0	0,1	-18,9	240,4	2,6

Tratamento-IIIO								
tempo	período	chuva	irrigação	drenagem	asc. cap.	var. arm.	ET _a	ET _a
dias	dias	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm/dia
12a51	40,0	39,4	95,6	-52,2	0,0	-5,6	77,1	1,9
52a67	16,0	0,0	96,9	-10,7	0,1	-0,2	86,1	5,4
68a92	25,0	0,0	114,3	-3,2	0,0	-0,9	110,2	4,4
93a102	10,0	7,0	24,9	0,0	0,4	-5,0	27,3	2,7
totais :	91,0	46,4	331,7	-66,1	0,4	-11,8	300,6	3,3

Tratamento-OOOO								
tempo	período	chuva	irrigação	drenagem	asc. cap.	var. arm.	ET _a	ET _a
dias	dias	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm/dia
12a51	40,0	39,4	65,0	-19,5	0,3	-16,3	68,9	1,7
52a67	16,0	0,0	52,7	0,0	0,0	-11,0	41,7	2,6
68a92	25,0	0,0	60,6	0,0	0,0	5,0	65,6	2,6
93a102	10,0	7,0	24,9	0,0	0,0	-1,5	30,4	3,0
totais :	91,0	46,4	203,2	-19,5	0,3	-23,8	206,6	2,3

4.5.1. A evapotranspiração

Para melhor visualizar os dados de evapotranspiração, elaboraram-se as Tabelas 16 e 17 e as Figuras 25 e 26 apresentadas a seguir.

Verifica-se pelas Figuras 27 e 28 que nos tratamentos em que pelo menos uma das fases fenológicas da cultura esteve sob estresse hídrico, os valores de evapotranspiração (mm/dia) são compatíveis com os valores de evapotranspiração (mm/dia) obtidos no tratamento que sofreu déficit em todos os estádios fenológicos. Isso por sua vez, sugere que a metodologia empregada para o cálculo do balanço hídrico foi adequada à todos os tratamentos analisados.

TABELA 16 - Valores de evapotranspiração por estágio fenológico da cultura do feijoeiro na camada de solo de 0,00 - 0,25 m de profundidade.

Tratamentos	Lâminas (mm)	ETa-ciclo (mm)	ETa-I (mm/dia)	ETa-II (mm/dia)	ETa-III (mm/dia)	ETa-IV (mm/dia)
IIII	353,4	334,4	2,5	5,7	3,8	4,7
OIII	322,8	320,6	2,1	6,4	3,6	4,3
IOII	309,2	321,6	2,6	2,9	4,8	4,9
IIOI	299,7	298,9	2,5	5,7	1,9	6,0
IIIO	331,7	284,9	2,5	5,2	3,0	2,8
Oooo	203,2	230,8	2,2	3,3	2,4	3,2

Figura 27 - Valores de evapotranspiração por fase de desenvolvimento da cultura na camada 0,00 m a 0,25 m.

TABELA 17 - Valores de evapotranspiração na camada de solo de 0,00-0,45 m de profundidade.

Tratamentos.	Lâminas (mm)	ET _a -ciclo (mm)	ET _a -I (mm/dia)	ET _a -II (mm/dia)	ET _a -III (mm/dia)	ET _a -IV (mm/dia)
IIII	353,4	329,4	1,9	6,0	4,0	5,7
OIII	322,8	303,1	0,7	6,8	4,6	5,1
IOII	309,2	317,7	2,4	2,5	5,1	5,5
IIOI	299,7	240,4	1,2	5,5	1,7	6,2
IIIO	331,7	300,6	1,9	5,4	4,4	2,7
OOOO	203,2	206,6	1,7	2,6	2,6	3,0

Figura 28 - Valores de evapotranspiração por fase de desenvolvimento da cultura estimada na camada 0,00 m a 0,45 m.

A Figura 29 apresenta a correlação entre os valores de evapotranspiração médios diários para todas as fases de desenvolvimento obtidos para as camadas 0,00 a

0,25 m e 0,00 e 0,45 m. Nota-se uma grande aderência dos valores. Esse fato é indicativo de que a camada superior (0,00 a 0,25 m) é quem comanda o processo. Nota-se também que os valores obtidos no tratamento sem déficit de irrigação são compatíveis com outros valores de evapotranspiração estimados com a mesma metodologia em anos anteriores nessa região. Por exemplo, Saad (1991), estimou valores de 3,4 mm/dia para o período entre o 25º dia ao 58º dia após a semeadura, 5,45 mm/dia para o período compreendido entre o 59º dia ao 94º dia e por fim o valor de 4,04 mm/dia para a fase final da cultura do feijoeiro no inverno de 1988.

Figura 29 - Valores de evapotranspiração da cultura do feijoeiro.

4.5.2. A drenagem interna

O conhecimento dos valores de drenagem interna ao longo do ciclo de uma cultura permite uma avaliação da eficiência com que foram conduzidas as irrigações, tanto de forma quantitativa como qualitativa, pois esse componente do balanço hídrico de uma cultura agrícola em desenvolvimento, representa a perda de água para baixo da profundidade do sistema radicular. O manejo inadequado da irrigação pode resultar em degradação do solo e causar prejuízos à produtividade das culturas conforme citado em Taylor & Ashcroft (1972). Além disso, áreas com altas intensidades de cultivo como as áreas irrigadas, por exemplo, podem, a médio e longo prazos, apresentar problemas de poluição dos aquíferos subterrâneos, principalmente onde esses estão pouco profundos.

Os gráficos das Figuras 30 a 35 ilustram, em todos os tratamentos, a drenagem interna, na profundidade de 0,25 m, ocorrida durante as fases de desenvolvimento, a qual foi mais perceptível na fase I em função das chuvas que somaram 39,4 mm nesta fase. No tratamento onde o déficit foi aplicado em todos os estádios fenológicos, esse foi o único período em que houve drenagem (13,5 mm). O valor de precipitação pluvial mais as lâminas de água aplicadas através da irrigação para os tratamentos sem déficit no estágio de desenvolvimento vegetativo foi de 135 mm. Os menores valores de drenagem interna estão diretamente associados, tanto aos estádios onde foram aplicados os déficits de irrigação, como aos estádios subsequentes a aplicação da supressão hídrica. O tratamento que apresentou o maior valor de drenagem interna foi o tratamento com déficit no estágio de maturação (IIIO), com 99,4 mm em 91 dias isto

é, 1,1 mm/dia e o menor valor foi o tratamento com déficit em todos os estádios fenológicos, 0,15 mm/dia. O tratamento sem déficit de irrigação (IIII) apresentou um valor de drenagem interna 0,9 mm/dia muito próximo ao tratamento IIIIO, se considerarmos os possíveis erros intrínsecos ao método de cálculo.

Os gráficos das Figuras 30 a 35 ilustram, também, em todos os tratamentos a drenagem interna ocorrida durante os estádios fenológicos na profundidade de 0,45 m. Nota-se que, com exceção do estágio de desenvolvimento vegetativo, a drenagem interna foi praticamente inexistente ou seja, menor do que 1 mm/dia para todos os tratamentos. Ressalta-se que para essa camada, as perdas por drenagem interna tendem a ser perdas econômicas, ao contrário das perdas da camada 0,00 a 0,30 m, supostamente com maior desenvolvimento do sistema radicular.

Todos esses valores de drenagem interna são compatíveis com as altas eficiências de aplicação de água determinadas para as 11 irrigações monitoradas conforme citado nos capítulos 4.3.1. e 4.3.2.

Figura 30 - Drenagem interna no tratamento sem aplicação de déficit de irrigação.

Figura 31 - Drenagem interna no tratamento com déficit no estágio de desenvolvimento vegetativo.

Figura 32 - Drenagem interna no tratamento com déficit no estágio de floração.

Figura 33 - Drenagem interna no tratamento com déficit no estágio de enchimento de grãos.

Figura 34 - Drenagem interna no tratamento com déficit no estágio de maturação.

Figura 35 - Drenagem interna no tratamento com déficit em todos os estádios fenológicos.

4.6. Rendimento de grãos

A composição final do rendimento de grãos de feijão é realizada através da multiplicação do número de vagens colhidas por unidade de área, pelo número de sementes existentes em cada vagem. Esse valor, resulta na quantidade de sementes por unidade de área, que por sua vez, é multiplicado pelo peso da semente.

O número de vagens por unidade de área é o fator que mais pode ser influenciado pelo trabalho agrícola da propriedade, principalmente em áreas intensamente cultivadas, pois depende em grande parte do número de plantas e do desenvolvimento delas. Neste caso, o controle das doenças e patógenos do solo é fundamental para se manter elevado esse componente da produção.

Para as condições paulistas, Bulisani & et al. (1987) assumem uma população variando de 150.000 a 200.000 plantas por hectare para se obter elevados rendimentos.

A Tabela 18 apresenta os parâmetros quantitativos dos componentes da produção. Nota-se que o número de plantas de feijão por área útil da parcela ($5,4 \text{ m}^2$) não variou (coeficiente de variação menor do que 5%), permitindo que o valor médio da densidade de plantas da cultura, em todos os tratamentos, fosse de 227.006 plantas por ha, compatível com as recomendações de plantio para a região, conforme discutido anteriormente. Em média, o número de vagens por m^2 foi de 276,8. Os coeficientes de variação desse componente indicam uma maior variabilidade do que o número de plantas por parcela, essa variabilidade pode estar associada aos déficits de água aplicados, pois, para todas as fases com supressão hídrica o número de vagens foi menor (11), aumentando nos tratamentos com déficit em pelo menos um dos 4 estádios fenológicos (12) e possuindo seu valor máximo no tratamento sem déficit de água (13). Nota-se porém, que o número de sementes por vagem não variou, isso pelo fato desse fator ser de herdabilidade elevada e, juntamente com o peso da semente, depende das características genéticas do cultivar.

TABELA 18 - Componentes da produção do feijoeiro.

Parâmetros	Número de pés de feijão por parcela ($5,4 \text{ m}^2$)					
	IIII	OIII	IOII	IIOI	IIIO	OOOO
Média	124	121	122	118	127	124
Desvio Padrão	5,4	6,1	12,3	3,5	5,2	5,0
Coef. Variação	4,4	5,0	10,1	3,0	4,1	4,4

continua

continuação

Número de vagens por pé de feijão						
Parâmetros	IIII	OIII	IOII	IIOI	IIIO	OOOO
Média	13	12	12	12	12	11
Desvio Padrão	1,3	3,3	2,1	1,3	3,4	1,8
Coef. Variação	10,0	27,6	16,8	10,3	29,2	15,8

Número de grãos por vagem						
Parâmetros	IIII	OIII	IOII	IIOI	IIIO	OOOO
Média	5	5	5	5	5	5
Desvio Padrão	0,2	0,5	0,3	0,2	0,4	0,7
Coef. Variação	3,1	9,8	6,4	4,7	6,9	15,8

Nessa composição do rendimento há ainda que se considerar um efeito de compensação que existe entre esses fatores de produção, fazendo com que cada vez que se aumente um deles ocorra a redução em outro ou outros. Um exemplo desse fato esta apresentado na Tabela 19 onde estão os pesos de 100 sementes de feijão.

TABELA 19 - Peso de 100 sementes de feijão (13 % umidade em massa).

Tratamentos	peso 100 sementes (g).
IIII	19,03
OIII	20,55
IOII	18,95
IIOI	18,36
IIIO	20,77
OOOO	17,90

Os valores médios do rendimento de grãos de feijão, para os diferentes tratamentos, estão apresentados na Tabela 20.

TABELA 20 - Rendimentos de grãos (kg.ha^{-1})

Tratamentos	Repetições				Médias
	1	2	3	4	
IIII	3094,8	2791,7	2840,6	2810,7	2884,45 $\pm$ 141,67
OIII	2963,4	2671,7	2566,1	2733,8	2733,75 $\pm$ 168,02
IOII	3009,7	2725,0	2537,3	2411,2	2670,80 $\pm$ 260,13
IIOI	2522,8	2699,3	2217,4	2569,9	2502,35 $\pm$ 204,10
IIIO	3007,4	2890,8	2704,3	2806,3	2852,20 $\pm$ 128,53
OOOO	2536,1	2233,3	2491,5	2135,4	2349,07 $\pm$ 195,21

A Tabela 21 apresenta os valores da análise de significância pelo teste de Tukey das médias dos rendimentos dos tratamentos.

TABELA 21 - Resultados do teste de significância de Tukey para as médias dos rendimentos dos tratamentos.

Tratamentos	médias	nível de significância	
		5%	1%
IIII	2884,5	a	A
IIIO	2852,2	a	A
OIII	2733,8	ab	AB
IOII	2670,8	abc	AB
IIOI	2502,4	bc	AB
OOOO	2349,1	c	B

Em cada série de médias, os valores seguidos pela mesma letra não diferem, significativamente pelo teste de Tukey. O valor do desvio médio quadrático para nível de significância de 5% e 1% é de 328,62 e 414,35 kg.ha^{-1} respectivamente.

Observa-se pela Tabela 21 que os tratamentos IIII, OIII, IOII e IIIO não diferem estatisticamente ao nível de 5 e 1% de probabilidade. Nota-se também, que não há diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade quando os déficits de irrigação são aplicados no período de desenvolvimento vegetativo e no reprodutivo (floração e enchimento de grãos). O déficit de irrigação quando aplicado em todos os estádios fenológicos produz rendimentos que não diferem estatisticamente dos tratamentos que receberam o déficit de irrigação no período reprodutivo (tratamentos IOII e IIIOI) ao nível de 5% de probabilidade.

Os rendimentos de todos os tratamentos foram superiores aos obtidos pela média dos agricultores da região (1980 kg/ha), segundo levantamento da Casa da Agricultura de Guaira para a safra de inverno de 1993 e publicado internamente pela Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo através do Instituto de Economia Agrícola. O valor médio dos rendimentos dos 6 tratamentos ($2665,4 \text{ kg.ha}^{-1}$), pode ser considerado elevado se comparado com aqueles obtidos por Moreira et al. (1988).

4.6.1. Déficit de irrigação e rendimento de grãos

A Tabela 22 apresenta os valores dos déficits relativos de água e de rendimento do feijoeiro juntamente com as lâminas totais e o rendimento de grãos de cada tratamento. A partir desta tabela construiu-se o gráfico da Figura 34 que apresenta o déficit de rendimento relativo em função das lâminas totais de água (mm) dos tratamentos.

O tratamento ○○○○ que recebeu déficit de água em todas as fases da cultura destaca-se dos demais, pois, embora para um déficit de irrigação de 150,2 mm (42,5%) o déficit de rendimento relativo foi somente, 18,5%. Pode-se afirmar que para as condições de inverno de 1993 em Guaira - SP, a lâmina total aplicada no tratamento ○○○○ foi de 203,2 mm, resultando em rendimento relativo de 82,5%. Comparativamente, os resultados de Frizzone (1986), em Ilha Solteira, SP, no período considerado da seca (março a maio de 1982), indicam para o mesmo rendimento relativo um valor de lâmina de 405 mm (equivalente a um déficit relativo de 32,4%). Esse fato sugere que para o período seco, a região de Guaira tolera um déficit de irrigação superior a região de Ilha Solteira, para um mesmo rendimento relativo (82,5%).

TABELA 22 - Déficits relativos de grãos de feijão ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) e das lâminas totais de água aplicadas.

Tratamentos	Lâminas (mm)	Déficit relativo das lâminas totais de água aplicadas (%)	Rendimento (kg/ha)	Déficit relativo do rendimento (%)
IIII	353,4	0,0	2884,5	0,00
OIII	322,8	8,7	2733,8	5,22
IOII	309,2	12,5	2670,8	7,41
IIOI	299,7	15,2	2502,4	13,25
IIIO	331,7	6,1	2852,2	1,12
OOOO	203,2	42,5	2349,1	18,56

Figura 36 - Déficit de rendimento relativo em função das lâminas totais de água para os tratamentos I IIII, O IIII, IO III, II IOI, III IO e O OOO.

A Tabela 23, apresenta os valores da relação entre os déficits de rendimento e os déficits de lâmina de água.

TABELA 23 - Relação entre os déficits de rendimento e lâminas de água

Tratamentos	déficit de rendimento / déficit de lâmina de água
IIII	-----
OIII	0,60
IOII	0,59
IIOI	0,87
IIIO	0,18
O OOO	0,43

No tratamento II0I em que o valor dessa relação é maior (0,43), o déficit foi aplicado na fase de enchimento de grãos, seguido dos déficits aplicados nos estádios de desenvolvimento vegetativo (0,60) e floração (0,59), respectivamente. O estágio de maturação é o que apresenta o menor valor (0,18), significando pois, que é o estágio no qual o déficit de água tem menor influência no rendimento da cultura.

O menor valor dessa relação no tratamento 0000 (0,43), quando comparado aos tratamentos 0III; IOII; II0I, pode ser explicado pelo efeito interativo dos déficits hídricos, fazendo com que as plantas se desenvolvam com tamanho e área foliar mais reduzidos, adaptando-se às condições de disponibilidade hídrica no solo. Tendo em vista esse comportamento, ou seja, a adaptação da planta as condições de estresse durante todo ciclo, os valores de rendimento médio de grãos do tratamento 0000, em função dos valores de déficit relativo da lâmina total de água, não foram utilizados para a elaboração da curva que representa esse fenômeno, apresentada no gráfico da Figura 37.

Figura 37 - Rendimento de grãos em função do déficit relativo de lâminas totais de água.

A função de resposta do rendimento de grãos de feijão ao déficit relativo da lâmina total de água é um polinômio do segundo grau da seguinte forma:

$$Y_{(w)} = a + b \cdot d_r + c \cdot d_r^2 \quad (24)$$

onde:

a, b e c são os parâmetros empíricos do polinômio cujos valores são: 2885,447; 2,038; e -1,74 respectivamente e d_r os déficits relativos de lâminas de água. A análise da variância da regressão determinou um valor de 31,03 para o teste F, considerado significativo ao nível de 5% de probabilidade para o caso de $F > 1$, para 4 e 2 graus de liberdade dos tratamentos e do resíduo respectivamente ($F > 19,25$).

Como visto anteriormente os déficits relativos de lâminas de água nos tratamentos com déficit em pelo menos um estágio fenológico, implicaram em valores médios de água disponível (AD) entre 40% a 50 % durante os 91 dias de monitoramento da água no solo; no tratamento com déficit de irrigação em todos os estágios, esse valor foi de 36%, como apresentado na Tabela 24.

TABELA 24 - Valores médios de água disponível no solo (%).

Tratamentos	Estádios fenológicos do feijoeiro				Médias	Déficit relativo
	1	2	3	4		
IIII	55	48	51	52	52	0
OIII	35	40	51	52	45	13,5
IOII	48	41	42	51	46	11,5
IIOI	47	52	39	37	44	15,4
IIIO	45	53	57	44	50	3,8
OOOO	35	37	36	36	36	30,8

O gráfico da Figura 38 apresenta a relativa linearidade existente entre os déficits relativos de lâminas totais de água aplicada e os de água disponível no solo para as plantas.

Figura 38 - Déficits relativos de lâminas totais aplicadas e de água disponível no solo.

Da mesma forma que a relação entre o rendimento da cultura (kg.ha^{-1}) e o déficit relativo da lâmina total de água (%) é uma função quadrática, a resposta da cultura a irrigação também o é, estando descrita no capítulo anterior (equação 13). Os parâmetros empíricos do polinômio, são: -16190,06; 109,432; e -0,157. A análise da variância da regressão determinou um valor de 28,96 para o teste F, considerado significativo ao nível de 5% de probabilidade para o caso de $F > 1$, para 4 e 2 graus de liberdade dos tratamentos e do resíduo respectivamente ($F > 19,25$).

Igualando-se a zero a derivada da função de produção em relação as lâminas totais, tem-se uma estimativa do máximo de rendimento quando, $W_{max} : 348,5 \text{ mm}$.

A Figura 39 apresenta o comportamento do rendimento da cultura em função das lâminas de água aplicadas.

Figura 39 - Curva de rendimento médio de grãos em função das lâminas de água totais aplicadas nos tratamentos sem déficit e com déficit em apenas um estágio fenológico.

4.6.2. Déficit de evapotranspiração e rendimento de grãos

A discussão dos valores de evapotranspiração em relação ao rendimento de grãos, foi realizada somente com os valores estimados pelo balanço hídrico na camada

0,00 - 0,45 m, pois, a maior parte do sistema radicular do feijoeiro fica contido nessa espessura de solo.

A evapotranspiração máxima (ET_m) da cultura do feijoeiro foi assumida como sendo a evapotranspiração média das 4 repetições do tratamento sem déficit de irrigação e estimada pelo cálculo do balanço hídrico a campo na camada 0,00 a 0,45 m. Os tratamentos restantes, determinaram a evapotranspiração atual (ET_a).

A Figura 40 e a Tabela 25 apresentam os valores do déficit relativo de evapotranspiração, de lâmina de água total e de rendimento para a cultura do feijão.

Figura 40 - Porcentagem de déficits relativos de evapotranspiração, lâmina de água e rendimento

TABELA 25 - Valores de lâminas de água, evapotranspiração e déficit relativo de evapotranspiração da cultura do feijoeiro. Guaira, SP.

Tratamentos	Lâminas de água (mm)	Evapotranspiração (mm)	Déficit relativo de evapotranspiração (%)
IIII	353,4	329,4	0,0
OIII	322,8	303,1	8,0
IOII	309,2	317,7	3,6
IIOI	299,7	240,4	27,0
IIIO	331,7	300,6	8,7
OOOO	203,2	206,6	37,3

Nesse trabalho os valores da relação ET_a/ET_m , denominada de evapotranspiração relativa foram: 0,920; 0,964; 0,730; 0,913 e 0,627, para os tratamentos OIII, IOII, IIOI, IIIO e OOOO, respectivamente.

Os valores de k_y do feijoeiro, por estágio fenológico da cultura e por período vegetativo total, estão apresentados de forma comparativa com os valores obtidos nos 5 tratamentos com déficit de irrigação na Tabela 26.

O objetivo da determinação desse parâmetro é o de auxiliar no planejamento, projeto e operação de perímetros agrícolas irrigados, pois permite a quantificação do fornecimento de água e da sua utilização em termos de rendimento da cultura e produção total do projeto. Em condições de água limitada durante todo o período de desenvolvimento de diferentes culturas, com diferentes valores de k_y , aquelas com maiores valores de k_y , sofrerão as maiores perdas de rendimento do que as com menor valor de k_y , por exemplo.

TABELA 26 - Valores de k_y (fator de efeito do déficit de evapotranspiração sobre o rendimento das culturas)

Tratamentos	Estádios fenológicos do feijoeiro				CICLO
	1	2	3	4	TOTAL
IIII	0	0	0	0	0
OIII	0,1	0,0	0,0	0,5	0,7
IOII	0,0	0,1	0,0	2,0	2,1
IIOI	0,4	1,5	0,2	0,0	0,5
IIIO	2,0	0,1	0,0	0,0	0,1
OOOO	1,7	0,3	0,5	0,4	0,5
FAO	0,20	1,10	0,75	0,20	1,15

Como pode ser observado, os valores de k_y encontrados para cada estágio fenológico nos tratamentos com déficit de irrigação em pelo menos uma fase de desenvolvimento (0,1; 0,1; 0,2 e 0,0) são diferenciados dos valores onde o déficit de irrigação foi aplicado em todos os estágios fenológicos quais sejam , 1,7; 0,3; 0,5 e 0,4, que por sua vez é muito discrepante dos dados da FAO. A razão para tal discrepância é que os valores do déficit relativo de rendimento e de evapotranspiração foram muito pequenos prejudicando a determinação dos valores de k_y , conforme apresentado na Figura 39. Quanto aos valores para o período vegetativo total, observa-se que o valor de k_y para o tratamento IOII é o que apresenta o maior valor (2,1), sendo o único tratamento em que k_y foi superior a 1. De forma qualitativa esse resultado está de acordo com Doorenbos & Kassan (1979), que para esse mesmo estágio fenológico indica o maior valor de k_y , isto é, 1,1. Esses autores, ao estipularem os valores de k_y padrão para

a FAO, encontraram grande dispersão dos resultados, alegando o fato à imperfeição dos experimentos, às variações climáticas, à evapotranspiração da cultura e ao solo.

Figura 41 - Relação entre o decréscimo de rendimento relativo ($1 - Y_a / Y_m$) e o déficit de evapotranspiração relativa ($1 - ET_a / ET_m$)

4.6.3. Eficiência do uso da água.

Os valores de eficiência de uso da água pela cultura (Ef_c) e a campo (Ef_f) estão apresentados na Tabela 27. Observa-se que a eficiência do uso da água pela cultura é maior do que a campo, o que está correto, pois o segundo índice, contabiliza toda a água aplicada na lavoura tanto por chuva como por irrigação durante os 102 dias do período vegetativo total.

Deve ser ressaltado, porém, que a quantidade de água utilizada pela cultura para o crescimento e transpiração (eficiência da água pela cultura- Ef_c), está contabilizada no denominador pelo valor da evapotranspiração da cultura, que por sua vez foi estimada para a camada de 0,00 a 0,45 m, somente para 92 dias do ciclo e não para os 102 dias.

TABELA 27 - Valores médios da eficiência de uso da água (kg/m^3) pela cultura e a campo, evapotranspiração e totais de água (precipitação pluvial e irrigação).

Tratamentos	Evapotranspiração (m^3/ha)	Ef_c (kg/m^3)	Totais de água (precipitação e irrigação) (m^3/ha)	Ef_t (kg/m^3)
IIII	3294	0,88	4163	0,69
OIII	3031	0,90	3857	0,71
IOII	3177	0,84	3721	0,72
IIOI	2404	1,04	3626	0,69
IIIO	3006	0,95	3946	0,72
OOOO	2066	1,14	2657	0,88

Frizzone (1986) para as condições de Ilha Solteira (SP), obteve valores para lâminas de $4200 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ e dose de $90 \text{ kg}.\text{ha}^{-1}$ de nitrogênio o valor máximo de $0,534 \text{ kg}.\text{m}^{-3}$ e Saad & Libardi (1994), para Guaira (SP), o valor médio de $0,8 \text{ kg}.\text{m}^{-3}$ para $3500 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$.

4.7. Análise econômica do déficit de irrigação

Os resultados da análise econômica do déficit de irrigação no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tem como objetivo básico o conhecimento da perda econômica devido ao déficit de irrigação. O valor da perda econômica devido ao déficit de irrigação

para esse experimento é a diferença de receita líquida total obtida entre o tratamento sem déficit (IIII) e os tratamentos com déficit (OIII; IOII; IIOI; IIIO e OOOO), conforme a equação (21) apresentada no capítulo 3.12.3.

4.7.1. Os custos de produção

Os custos totais de produção (C_w) foram compostos tanto pelos custos não associados a irrigação (C_o) em (R\$.ha⁻¹), isto é:

$C_{\text{max}} = \text{Máximo}$	613,12
$C_{\text{med}} = \text{Médio}$	447,54
$C_{\text{min}} = \text{Mínimo}$	325,30

como, para os seguintes custos totais da água C_i em (R\$.ha⁻¹) apresentados na Tabela 28, abaixo:

TABELA 28 - Valores do custo total da água ($C_i . W$) em (R\$.ha⁻¹)

Tratamentos	Lâminas totais de água aplicada (m ³ /ha)	Máximo	Médio	Mínimo
IIII	3534	265,05	201,44	113,09
OIII	3228	242,10	184,00	103,30
IOII	3092	231,90	176,24	98,94
IIOI	2997	224,78	170,83	95,90
IIIO	3317	248,78	189,07	106,14
OOOO	2032	152,40	115,82	65,02

As Tabelas 29; 30 e 31 apresentam os resultados dos custos totais de produção da lavoura de feijão por hectare,

TABELA 29 - Custos de produção(C_w) determinados com valores máximos dos custos não associados a irrigação (C_{Omax})

Tratamentos	Lâminas totais de água aplicada (m^3/ha)	Custos totais de produção($RS.ha^{-1}$) para três valores de custo total da água de irrigação:		
		Máximo	Médio	Mínimo
IIII	3534	878,17	814,55	726,20
OIII	3228	855,22	797,11	716,41
IOII	3092	845,02	789,36	712,06
IIOI	2997	837,89	783,95	709,02
IIIO	3317	861,89	802,19	719,26
OOOO	2032	765,52	728,94	678,14

TABELA 30 - Custos totais de produção (C_w) determinados com valores médios dos custos não associados a irrigação (C_{Omed})

Tratamentos	Lâminas totais de água aplicada (m^3/ha)	Custos totais de produção($RS.ha^{-1}$) para três valores de custo total da água de irrigação:		
		Máximo	Médio	Mínimo
IIII	3534	712,59	648,98	560,63
OIII	3228	689,64	631,54	550,84
IOII	3092	679,44	623,79	546,49
IIOI	2997	672,32	618,37	543,45
IIIO	3317	696,32	636,61	553,69
OOOO	2032	599,94	563,37	512,57

TABELA 31 - Custos totais de produção (C_w) determinados com valores mínimos dos custos não associados a irrigação (C_{omin})

Tratamentos	Lâminas totais de água aplicada (m^3/ha)	Custos totais de produção($R\$.ha^{-1}$) para três valores de custo total da água de irrigação:		
		máximo	médio	mínimo
IIII	3534	590,35	526,74	438,39
OIII	3228	567,40	509,29	428,59
IOII	3092	557,20	501,54	424,24
IIOI	2997	550,07	496,13	421,20
IIIO	3317	574,07	514,37	431,44
OOOO	203,20	477,70	441,12	390,32

4.7.2. Receita bruta

A Tabela 32, apresenta os valores da receita bruta em $R\$.ha^{-1}$ para os preços de feijão pagos ao produtor (P_p) com valores máximos de $R\$ 2,51.kg^{-1}$, médio de $R\$ 0,95.kg^{-1}$ e mínimo de $R\$ 0,46.kg^{-1}$, da série histórica de janeiro de 1985 a fevereiro de 1995, para todos os tratamentos.

TABELA 32 - Receitas brutas ($R\$.ha^{-1}$) em função do preço do produto e das lâminas totais de água aplicadas nos tratamentos .

Tratamentos	Lâminas totais de água aplicada (m^3/ha)	Receita bruta ($R\$.ha^{-1}$) composta com valores de preço pago ao produtor, ($R\$.kg^{-1}$):		
		máximo	médio	mínimo
IIII	3534	7240,10	2740,28	1326,87
OIII	3228	6962,24	2635,11	1275,95
IOII	3092	6703,71	2537,26	1228,57
IIOI	2997	6281,02	2377,28	1151,10
IIIO	3317	7159,02	2709,59	1312,01
OOOO	20320	5896,24	2231,65	1080,59

Os gráficos das Figuras 42, 43 e 44; apresentam os valores de receita bruta para os preços máximos, médios e mínimos do produto, em função das lâminas totais aplicadas para os tratamentos IIII; OIII; IOII; IIOI; IIIO e OOOO.

Figura 42 - Receita bruta para o preço máximo do produto em função das lâminas totais de água aplicadas nos tratamentos IIII; OIII; IOII; IIOI; IIIO e OOOO.

Figura 43 - Receita bruta para o preço médio do produto em função das lâminas totais de água aplicadas nos tratamentos IIII; OIII; IOII; IIOI; IIIO e OOOO.

Figura 44 - Receita bruta para o preço mínimo do produto em função das lâminas totais de água aplicadas nos tratamentos I I I I; O I I I; I O I I; I I O I; I I I O e O O O O.

Observa-se nas Figuras 42, 43 a 44 que a diferença de receita bruta entre os tratamentos diminui em função do preço do produto. Para o preço máximo do produto a diferença de receita bruta entre os tratamentos sem déficit de irrigação (I I I I) e com déficit total (O O O O) é de R\$ 1.346,86 e para o preço mínimo do produto é de R\$ 246,26. Esse fato é indicativo de que quanto maior o preço do produto, menos desejável é o déficit de irrigação.

4.7.3. Receita líquida

Os valores de receita líquida (R\$.ha⁻¹) obtidos para todas as composições de preços e custos estão apresentadas nas Tabelas 33 a 35.

TABELA 33 - Receita líquida ($R\$.ha^{-1}$) para valor máximo do preço do feijão pago ao produtor.

Lâminas (mm)	C _{max}			C _{med}			C _{min}		
	C _{max}	C _{med}	C _{min}	C _{max}	C _{med}	C _{min}	C _{max}	C _{med}	C _{min}
353,4	6361,93	6425,55	6513,90	6527,51	6591,12	6679,47	6649,75	6713,36	6801,71
322,8	6107,02	6165,13	6245,83	6272,60	6330,70	6411,40	6394,84	6452,95	6533,65
309,2	5858,69	5914,35	5991,65	6024,27	6079,92	6157,22	6146,51	6202,17	6279,47
300,0	5443,13	5497,08	5572,00	5608,70	5662,65	5737,57	5730,95	5784,89	5859,82
331,7	6297,13	6356,84	6439,76	6462,70	6522,41	6605,33	6584,95	6644,65	6727,58
203,2	5130,72	5167,30	5218,10	5296,30	5332,87	5383,67	5418,54	5455,12	5505,92

TABELA 34 - Receita líquida($R\$.ha^{-1}$) para valor médio do preço do feijão pago ao produtor.

Lâminas (mm)	C _{max}			C _{med}			C _{min}		
	C _{max}	C _{med}	C _{min}	C _{max}	C _{med}	C _{min}	C _{max}	C _{med}	C _{min}
353,4	1862,11	1925,73	2014,08	2027,69	2091,3	2179,65	2149,93	2213,54	2301,89
322,8	1779,89	1838	1918,7	1945,47	2003,57	2084,27	2067,71	2125,82	2206,52
309,2	1692,24	1747,9	1825,2	1857,82	1913,47	1990,77	1980,06	2035,72	2113,02
300,0	1539,39	1593,34	1668,26	1704,96	1758,91	1833,83	1827,21	1881,15	1956,08
331,7	1847,7	1907,41	1990,33	2013,27	2072,98	2155,9	2135,52	2195,22	2278,15
203,2	1466,13	1502,71	1553,51	1631,71	1668,28	1719,08	1753,95	1790,53	1841,33

TABELA 35 - Receita líquida ($R\$.ha^{-1}$) para valor mínimo do preço do feijão pago ao produtor.

Lâminas (mm)	C _{max}			C _{med}			C _{min}		
	C _{max}	C _{med}	C _{min}	C _{max}	C _{med}	C _{min}	C _{max}	C _{med}	C _{min}
353,4	448,704	512,316	600,666	614,276	677,888	766,238	736,522	800,134	888,484
322,8	420,734	478,838	559,538	586,306	644,41	725,11	708,552	766,656	847,356
309,2	383,554	439,21	516,51	549,126	604,782	682,082	671,372	727,028	804,328
300,0	313,209	367,155	442,08	478,781	532,727	607,652	601,027	654,973	729,898
331,7	450,119	509,825	592,75	615,691	675,397	758,322	737,937	797,643	880,568
203,2	315,074	351,65	402,45	480,646	517,222	568,022	602,892	639,468	690,268

Os valores de receita líquida apresentados nas Tabelas 34 e 35 são similares aos obtidos por Paz (1995) através do programa computacional COSI, na conversão equivalente de 1 US\$ para 1 R\$, apesar do autor utilizar-se da função de produção determinada experimentalmente por Frizzone (1986) na cidade de Ilha Solteira, SP.

Os gráficos das Figuras 45, 46 e 47 ilustram a distribuição dos valores de receita líquida (R\$.ha⁻¹), para os preços mínimo (R\$ 0,45.kg⁻¹); médios (R\$ 0,95.kg⁻¹) e máximo (R\$ 2,51.kg⁻¹) do feijão para o custo máximo não associado a irrigação R\$ 613,12.ha⁻¹.

Pelo fato do preço do feijão atualmente (fev. 96) estar próximo ao valor mínimo computado, a situação representada no gráfico da Figura 45 ilustra com uma certa aproximação, a receita líquida obtida pelos produtores irrigantes de feijão de inverno sob pivô central. Esse resultado foi confirmado através de informações pessoais obtidas junto aos técnicos da casa de agricultura do município de Guaira - SP.

Figura 45 - Receita líquida determinada para preço mínimo do produto e com valor máximo do custo não associado a irrigação.

Figura 46 - Receita líquida determinada para preço médio do produto e com valor máximo do custo não associado a irrigação.

Figura 47 - Receita líquida determinada com preço máximo do produto e com valor máximo do custo não associado a irrigação.

4.7.4. O custo do déficit de irrigação

As Tabelas 36, 37 e 38 apresentam os resultados dos custos dos déficits de irrigação em $\text{R}\$.ha^{-1}$. Observa-se que, de todas as combinações possíveis em função do custo da água e do preço pago ao produtor, a única onde o déficit de irrigação é viável economicamente para o produtor irrigante de feijão de inverno, é o tratamento onde o déficit de irrigação foi aplicado no estágio fenológico da maturação, para preço mínimo do produto e um custo máximo da água, independentemente dos custos não associados a irrigação.

Deve ser ressaltado também, que os custos dos déficits de irrigação aumentam a medida que os custos da irrigação diminuem, para qualquer preço do produto. Os custos mais elevados do déficit de irrigação tendo como base o volume de déficit aplicado são para os tratamentos II0I e IOII, respectivamente. Os tratamentos 0000 e 0III, possuem o mesmo comportamento em relação ao custo do déficit quando explicitado em volume de água aplicada ($\text{R}\$/1000m^3.ha$), porém o custo do déficit do segundo, tomando-se como base os valores em função da área irrigada em $\text{R}\$.ha^{-1}$, é somente 20,7% do custo do déficit de irrigação aplicado no tratamento 0000.

TABELA 36 - Custos dos déficits de irrigação para preço máximo do produto.

Tratamentos	Déficit $m^3 \cdot ha^{-1}$	Custo da água- C_{imax}		Custo da água- C_{imed}		Custo da água- C_{imin}	
		RS. ha^{-1}	RS/1000 m^3	RS. ha^{-1}	RS/1000 m^3	RS. ha^{-1}	RS/1000 m^3
IIII	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OIII	306	254,91	833,04	260,42	851,04	268,07	876,04
IOII	442	503,24	1138,55	511,20	1156,55	522,25	1181,55
IIOI	537	918,80	1711,00	928,47	1729,00	941,90	1754,00
IIIO	217	64,80	298,64	68,71	316,64	74,14	341,64
OOOO	1502	1231,21	819,71	1258,25	837,71	1295,80	862,71

TABELA 37 - Custos dos déficits de irrigação para preço médio do produto

Tratamentos	Déficit $m^3 \cdot ha^{-1}$	Custo da água- C_{imax}		Custo da água- C_{imed}		Custo da água- C_{imin}	
		RS. ha^{-1}	RS/1000 m^3	RS. ha^{-1}	RS/1000 m^3	RS. ha^{-1}	RS/1000 m^3
IIII	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OIII	306	82,22	268,69	87,73	286,69	95,38	311,69
IOII	442	169,87	384,32	177,83	402,32	188,88	427,32
IIOI	537	322,73	600,98	332,39	618,98	345,82	643,98
IIIO	217	14,42	66,43	18,32	84,43	23,75	109,43
OOOO	1502	395,98	263,64	423,02	281,64	460,57	306,64

TABELA 38 - Custos dos déficits de irrigação para preço mínimo do produto.

Tratamentos	Déficit $m^3 \cdot ha^{-1}$	Custo da água- C_{imax}		Custo da água- C_{imed}		Custo da água- C_{imin}	
		RS. ha^{-1}	RS/1000 m^3	RS. ha^{-1}	RS/1000 m^3	RS. ha^{-1}	RS/1000 m^3
IIII	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OIII	306	27,97	91,41	33,48	109,41	41,13	134,41
IOII	442	65,15	147,40	73,11	165,40	84,16	190,40
IIOI	537	135,50	252,32	145,16	270,32	158,59	295,32
IIIO	217	-1,42	-6,52	2,49	11,48	7,92	36,48
OOOO	1502	133,63	88,97	160,67	106,97	198,22	131,97

4.7.5. O custo do déficit em função dos aumentos de custo da água de irrigação

Com o objetivo de verificar para qual valor do custo da água seria desejável a adoção da estratégia de manejo da irrigação com déficit, foram realizadas estimativas do aumento do custo da água com base em uma função linear de aumento de preços conforme discutido no capítulo 3.10. Os resultados estão apresentados nos gráficos das Figuras 48, 49 e 50.

Observa-se na Tabela 39, onde está representada a situação mais crítica, em termos de preço do produto, que no tratamento $IIIO$ o custo do déficit é negativo quando o custo da água é máximo, isto é, o agricultor, quando o preço do feijão for mínimo e o custo da água for máximo, tem um lucro de R\$ 6,52 (seis reais e cinquenta e dois centavos), para cada 100 mm de déficit de água aplicados na fase de maturação do feijoeiro. No tratamento $OIII$, a aplicação de déficit nessa fase só vai compensar economicamente ao agricultor quando o custo máximo da água dobrar, isto é, aumentar 100%. No tratamento $IIOI$, mesmo que o custo máximo da água eleve-se a 300%, não é recomendável que se aplique o déficit de irrigação (vide gráfico da Figura 48).

Figura 48 - Custo do déficit de irrigação para preço mínimo do feijão, e aumentos no custo máximo da água.

TABELA 39 - Valores do custo do déficit de irrigação para preço máximo do custo da água e preço mínimo do feijão.

Aumento no custo máximo da água	Custo do déficit de irrigação (R\$/1000 m³)					
	IIII	III O	O III	IO II	I IOI	O OOO
0%	0,00	-6,52	64,13	156,84	252,32	84,51
20%	0,00	-21,52	49,13	141,84	237,32	69,51
40%	0,00	-36,52	34,13	126,84	222,32	54,51
60%	0,00	-51,52	19,13	111,84	207,32	39,51
80%	0,00	-66,52	4,13	96,84	192,32	24,51
100%	0,00	-81,52	-10,87	81,84	177,32	9,51
200%	0,00	-156,52	-85,87	6,84	102,32	-65,49
300%	0,00	-231,52	-160,87	-68,16	27,32	-140,49

Figura 49 - Custo do déficit de irrigação para preço mínimo do feijão, e aumentos no custo médio da água.

Pelos dados da Tabela 40 e Figura 49, observa-se que quando o aumento do custo da água inicia-se a partir de seu custo médio, o déficit de irrigação no tratamento IIIIO, só será compensador economicamente a partir de um aumento de 40% no custo da água (C_i). Para esse novo preço da água o agricultor deverá ter um lucro de R\$ 11,32 (onze reais e trinta e dois centavos) para cada 100 mm aplicados. Para essa situação os déficits no período reprodutivo (floração e enchimento de grãos) nunca serão economicamente viáveis, e os déficits consecutivos para todos os estádios fenológicos do feijoeiro serão desejáveis quando o atual custo médio da água sofrer um acréscimo de 200%.

TABELA 40 - Valores do custo do déficit de irrigação para preço médio do custo da água e preço mínimo do feijão.

Custo do déficit de irrigação (R\$/1000 m³)						
Aumento no custo máximo da água	IIII	IIIO	OIII	IOII	IIOI	O000
0%	0,00	11,48	82,13	174,84	270,32	102,51
20%	0,00	0,08	70,73	163,44	258,92	91,11
40%	0,00	-11,32	59,33	152,04	247,52	79,71
60%	0,00	-22,72	47,93	140,64	236,12	68,31
80%	0,00	-34,12	36,53	129,24	224,72	56,91
100%	0,00	-45,52	25,13	117,84	213,32	45,51
200%	0,00	-102,52	-31,87	60,84	156,32	-11,49
300%	0,00	-159,52	-88,87	3,84	99,32	-68,49

Figura 50 - Custo do déficit de irrigação para preço mínimo do feijão e aumentos no custo mínimo da água.

Partindo-se de aumentos reais do custo da água tomando-se como base os preços mínimos atuais desse custo, nota-se pela Tabela 41 e Figura 50 que a adoção da estratégia de manejo da água com déficit de irrigação, tanto de forma unitária em cada um dos estádios fenológicos, como generalizada para todos os 4 estádios de desenvolvimento do feijoeiro, só se viabilizará no tratamento com déficit de irrigação na maturação, e se esse aumento for de 200%.

TABELA 41 - Valores do custo do déficit de irrigação para preço mínimo do custo da água e preço mínimo do feijão.

Custo do déficit de irrigação (R\$/1000 m ³)						
Aumento no custo máximo da água	IIII	IIIO	OIII	IOII	IIOI	OOOO
0%	0,00	36,48	107,13	199,84	295,32	127,51
20%	0,00	30,08	100,73	193,44	288,92	121,11
40%	0,00	23,68	94,33	187,04	282,52	114,71
60%	0,00	17,28	87,93	180,64	276,12	108,31
80%	0,00	10,88	81,53	174,24	269,72	101,91
100%	0,00	4,48	75,13	167,84	263,32	95,51
200%	0,00	-27,52	43,13	135,84	231,32	63,51
300%	0,00	-59,52	11,13	103,84	199,32	31,51

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos e da sua discussão, pode-se dizer que a hipótese formulada:- *o déficit de irrigação como estratégia de manejo de água em cultura de feijão, aumenta a receita líquida do produtor desde que não seja aplicado nos estádios fenológicos da floração e enchimento de grãos*, foi confirmada também para o estágio de desenvolvimento vegetativo, ou seja, a aplicação do déficit só é recomendada no estágio de maturação, desde que o preço pago pelo kilo do feijão seja igual ou superior a R\$ 0,46 (quarenta e seis centavos de real) e o custo unitário da água de irrigação igual ou superior a R\$ 75,00 (setenta e cinco reais) para cada 1000 m³ aplicado. Além da confirmação da hipótese, pode-se concluir também que:

1. O custo do déficit de irrigação depende do estágio fenológico, do preço do produto e do custo da água e foi maior para os estádios fenológicos relacionados ao período reprodutivo e de formação da produção do feijoeiro.
2. O deficit de rendimento em função dos déficits de água aplicados em cada estágio fenológico é uma função linear e variou de um valor máximo de 13,2% a 1,1%, para os estádios fenológicos de enchimento de grãos e maturação respectivamente.

3. Um déficit relativo de irrigação no valor de 15,2% aplicado no estágio fenológico de enchimento de grãos induz a um déficit de 27% no valor da evapotranspiração e 13,2% no valor do rendimento do feijoeiro. No estágio fenológico da floração, um déficit de irrigação de 12,5% provoca déficit relativo de 3,5% na evapotranspiração com conseqüente déficit de 7,4% no rendimento; portanto, no período reprodutivo, para as condições desse experimento, o déficit na fase de formação da produção é mais sensível do que no estágio de floração.
4. Em todos os tratamentos, a partir do estágio fenológico da floração, a drenagem interna não foi significativa abaixo da profundidade 0,45 m, o que sugere a inexistência de perda econômica da água utilizada nas irrigações.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tomando-se como base para o próximo século, um cenário onde o aumento da agricultura irrigada de grãos nos cerrados da região sudeste é inevitável, as pesquisas dentro do amplo campo da dinâmica da água nas relações solo-planta-atmosfera serão prioritárias.

O objetivo básico do desenvolvimento tecnológico nessa área do conhecimento estará voltado para diminuição dos custos de produção de lavouras irrigadas com consequentes ganhos de rendimentos.

Nesse sentido, a experiência acumulada na condução de pesquisas dessa natureza permite o amadurecimento de algumas questões de planejamento experimental, tanto em relação aos tratamentos estudados (quantidade e forma de aplicação do déficit de irrigação), bem como, na definição do volume de déficit a ser aplicado em cada um dos estádios fenológicos.

Quanto aos tratamentos estudados sugere-se que os déficits hídricos nos 4 estádios fenológicos do feijoeiro incluam grupos de tratamentos a serem realizados em

anos distintos, porém na mesma época de plantio, em função do elevado número de parcelas a serem estudadas em um único experimento; são eles:

- a) déficits unitários em cada estágio fenológico (4 tratamentos),
- b) déficits subsequentes em dois estádios fenológicos (12 tratamentos);
- c) déficits subsequentes em três estádios fenológicos (4 Tratamentos).

Para cada grupo, outros 3 tratamentos deveriam ser pesquisados na mesma época: são eles: tratamento sem déficit em nenhum dos 4 estádios fenológicos; tratamento com déficit nos 4 estádios fenológicos e por fim, um tratamento com excesso em todos os 4 estádios fenológicos.

Com esse arranjo experimental pode-se calcular os efeitos dos déficits e dos excessos no rendimento da cultura, bem como as perdas econômicas devido a sua aplicação.

Quanto à metodologia de monitoramento para a definição do momento e da quantidade de irrigação sugere-se que o momento da irrigação e a quantidade de água aplicada sejam definidas não somente pelo tratamento sem déficit em todos os estádios fenológicos, mas sim, para cada tipo de tratamento, tomando-se como base a média das leituras dos tensiômetros das 4 repetições e a curva de retenção média para a profundidade da camada de irrigação. Desta forma elimina-se o efeito residual do déficit no início do estágio subsequente a sua aplicação.

Finalmente, em relação aos custos não associados a irrigação, esses deveriam ser computados, para cada tratamento, e a aplicação dos insumos e defensivos ser realizada de forma diferenciada em função de critérios econômicos. Dessa maneira, os custos não associados à irrigação não seriam os mesmos para todos os tratamentos podendo, dessa forma, influenciar a tomada de decisão no momento e na quantidade de aplicação do déficit de irrigação, tornando-se parte integrante da estratégia de manejo da água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA AGRICULTURA BRASILEIRA - AGRIANUAL 96.
FNP, São Paulo: Consultoria & Comércio: 1996, 392 p.
- BEEG, J. E.; TURNER, N.C. Crop water deficits. **Advances in Agronomy**, v. 28, p.161-217, 1976.
- BRUNINI, O.; GROHMANN, F.; SANTOS, J.M. dos. Balanço hídrico em condições de campo para dois cultivares de arroz sob duas densidades de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 5, n. 1, p.1-6. jun./abr. 1981.
- BULISANI, E. A. Principais problemas da cultura do feijoeiro irrigado. In: FANCELLI, A.L., coord. **Feijão irrigado**. Piracicaba: ESALQ, Depto. de Agricultura, 1990. p.25-30.
- BULISANI, E. A.; ALMEIDA, L. D.; ROSTON, A.J. A cultura do feijoeiro no Estado de São Paulo. In: BULISANI, E. A., coord. **Feijão: fatores de produção e qualidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.29-86.
- CARDOSO, J. E. Fungos de solo na cultura do feijoeiro irrigado. In: FANCELLI, A.L., coord. **Feijão irrigado**. Piracicaba: ESALQ, Depto. de Agricultura, 1990. p.71-85.
- COSTA, A.C.S. da. Balanço hídrico em culturas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e de milho (*Zea mays* L.) sob condições de campo. Piracicaba, 1986. 166p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efectos del agua sobre rendimiento del los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212p. (Estudio FAO: Riego y Drenaje, 33).
- ERBACH, D.C. Measurement of soil bulk density and moisture. **Transactions of the ASAE**, v. 30, n. 4, p.922 - 31, 1987.
- ENGLISH, M.; GLENN, M.; VANSICKLE, J. Scheduling for optimum water use In: IRRIGATION SCHEDULING CONFERENCE, Chicago, 1981. **Irrigation scheduling for water & energy conservation in the 80's: proceedings**. St. Joseph: ASAE, 1981. p.61-71.
- ENGLISH, M.J.; MUSICK, J.T.; MURTY, V.V.N. Deficit irrigation In: GLEN, J.H.; HOWEL, T.A.; SALOMON, K.H., ed. **Management of farm irrigation systems**. St. Joseph; ASAE Monograph, 1990. p.631-63.
- FANCELLI, A.L. Coord. Feijão Irrigado. Piracicaba, FEALQ, 1990, 130 p.
- FRIZZONE, J.A. Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) ao uso de nitrogênio e lâminas de irrigação. Piracicaba, 1986. 133 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- FRIZZONE, J.A. **Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência**. Piracicaba: ESALQ, Depto. Engenharia Rural, 1992. 53 p. (ESALQ. Depto. Engenharia Rural. Didática, 3).
- FRIZZONE, J.A. **Funções de resposta das culturas à irrigação**. Piracicaba: ESALQ, Depto. Engenharia Rural, 1993. 42 p. (ESALQ. Depto. Engenharia Rural. Didática, 6).
- HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z. Economic considerations of deficit irrigation. **Journal of the Irrigation and Dranaige Division**, v. 110, n. IR4, p. 344-58, 1984
- HART, W. E. Overhead irrigation pattern parameters. **Agricultural Engineering**, v.42, n.7, p.354-5, 1961.

- HILER, E.A.; HOWELL, T.A. Irrigation options to avoid critical stress: an overview In: TAYLOR, H.; JORDAN, W; SINCLAIR, T.R.; ed. **Limitations to efficient water use in crop productions**. Madison: ASA: 1983. p.479-97.
- HILLEL, D. The field water balance and wate use efficiency. In: HILLEL, D., ed. **Optimizing the soil physical environment advance greater crop yields**. New York: Academic Press, 1972, p.79-100.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Apoio Tecnológico à Agricultura Irrigada do Município de Guaira, São Paulo, SP, 1987, 59 p. (Publicação IPT, 1746)
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Racionalização do uso da água de irrigação nos municípios de Guaira e Casa Branca, SP**. São Paulo, 1994. 2v. (IPT. Relatório, 30254).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS **Áreas de conflito de uso da terra no município de Guaira**. São Paulo SP., abril, 28p. 1995. (IPT. Relatório, 30042).
- JENSEN, M.E. Scheduling irrigations with computers. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.24, p.193-5, 1969.
- JENSEN, M.E.; ROBB, C.N.; FRANZOY, C.E. Scheduling irrigations using climate - Crop - Soil- **Data**. **Journal Irrigation Drainage Division**, v. 96, n.IR1, p.25-38, 1970.
- KELLER, J.; BLIESNER, R.D. Sprinkler and trickler irrigation. New York, van Nostrand Reinhold, 1990. 651p.
- KLUTE, A., ed. **Methods of soil analisys**. 2. ed. Madison: ASA; SSSA, 1986. Pt. 1: Physical and mineralogical methods, 1188 p. (Agronomy, 9).
- KRAMER, P.J. **Water relations of plants.**, New York: Academic Press 1983. 450p.
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: ESALQ, Depto. Física e Meteorologia, 1995. 497p.

- LIBARDI, P.L.; SAAD, A.M. Balanço hídrico em cultura de feijão irrigada por pivô central em Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.529-32, 1994.
- MAGALHÃES, A.A.; MILLAR, A.A. Efeito do déficit de água no período reprodutivo sobre a produção do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.13, n.2, p.55-60, 1978.
- MAGALHÃES, A.A.; MILLAR, A.A.; CHOUDHURY, E. N.; CHOUDHURY, M.M. Efeito do déficit fenológico de água sobre a produção do feijão. **Turrialba**, v.29, n.4, p.269-73, 1979.
- MATSURA, E.E. Eficiência de irrigação e uniformidade de distribuição de água em sistema de irrigação. Piracicaba, 1989. 124 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MIRANDA, N.O.; BELMAR, C. Déficit hídrico y frecuencia de riego en frejol (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agricultura Técnica**, v.37, n.3. 111-7, jul./set. 1977.
- MOREIRA, J. A.; AZEVEDO, J.A.; STONE, L.F.; CAIXETA, T.J. Irrigação. In: ZIMMERMAN, M.J., ed. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1988. p.317-40.
- OLIVEIRA, J.B. de; PRADO, H. do. **Plano cartográfico do Estado de São Paulo: (Guaira)**. São Paulo: SAA, Instituto Agrônômico, 1991. (Escala 1:100.000).
- PASIN, N.H.; SANTOS FILHO, B.G. dos; SANTOS, D.S. dos; MELLO, V.D.C. Desempenho de sementes de feijão provenientes de plantas submetidas a déficit hídrico em dois estádios de crescimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, n.2, p.183 - 92, fev. 1991.
- PAZ, V.P.S. da. Condições ótimas de operação de sistemas de irrigação por aspersão. Piracicaba, 1995. 125 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

- PEREIRA, A.R.; FERRAZ, E.S.B.; REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L. **Estimativa da evapotranspiração e da drenagem profunda em cafezais cultivados em solos podzolizados Lins e Marília**. Piracicaba: CENA, 1974. 13p. (CENA. Boletim Científico, 14).
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; SANTOS, J.M. dos. An analysis of soil-water movement in the field: (II Water balance in a snap bean crop.) Piracicaba: CENA, 1974. 19p. (CENA. Boletim Científico, 22).
- RESENDE, M.; HENDERSON, D.W.; FERERES, E. Frequência de irrigação, desenvolvimento e produção do feijão Kidney. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.16, n.3, p.363-70, maio/jun. 1981.
- ROBINS, J.S.; DOMINGO, C.E. Moisture deficits in relation to the growth and development of dry beans. **Agronomy Journal**, v.48, n.2, p.67-70, 1956.
- SAAD, A. M. Uso do tensiômetro no controle da irrigação por pivô-central em cultura do feijoeiro. Piracicaba, 1991. 144p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- SAAD, A.M.; LIBARDI, P. L. Qualidade da irrigação controlada por tensiômetros em pivô central. **Scientia Agrícola**, v.51, n.3: p.549-55, set./dez. 1994.
- SAKAI, E. Balanço hídrico e energético na cultura irrigada do feijoeiro em latossolo roxo. Piracicaba, 1989. 121p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- SILVEIRA, P.M. da; STONE, L.F. Balanço de água na cultura do feijão em latossolo vermelho-amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.14, n.2, p.111-5, abr. 1979.
- SOLOMON, K.H. Yield related interpretations of irrigation uniformity and efficiency measures. **Irrigation Science**, v.5, p.161-72, 1984.

- STANSELL, J.R.; SMITTLE, D.A. Effects of irrigation regimes on yield and water use of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of American Society for Horticultural Science**, v.105, n.6, p.869-73, 1980.
- STEGMAN, E.C. Irrigation options to avoid critical stress: Irrigation scheduling - some applied concepts In: TAYLOR, H.; JORDAN, W.; SINCLAIR, T.R., ed. **Limitations to efficient water use in crop production**. Madison: ASA, 1983. p.499-517.
- STEGMAN, E.C.; MUSICK, J.I. Irrigation water management. In: JENSEN, M.E., ed. **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1983. p.763-816. (ASAE, Monograph, 3).
- STEWART, J.I.; HAGAN, R. M. Functions to predict effects of crop water deficits. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v.99, n.1R4, p.422-39, 1973.
- TAYLOR, S.A. Managing irrigation water on the farm. **Transactions of ASAE**, St. Joseph. v.8, n.6, p.433-6, 1965.
- TAYLOR, S.A.; ASHCROFT, G.L. **Physical edaphology**: the physics of irrigated and nonirrigated soils San Francisco: W.H. Freeman, 1972. 533 p.
- WALKER, W. R. Explicit sprinkler irrigation uniformity: efficiency model. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v. 105, n. 1R2, p. 129-36, 1979.

APÊNDICE

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO CUSTOS DE PRODUÇÃO

Os custos de produção foram aqui classificados nas tradicionais categorias de Custos Fixos e Custos Variáveis. Os Custos Fixos são aqueles que não estão ligados às decisões de curto prazo sobre a produção a ser realizada. São também chamados de custos inevitáveis, na medida em que o agricultor arque com eles, quer execute ou não o processo de produção. Os Custos Fixos aqui considerados foram:

- a) depreciação;
- b) juros sobre capital operacional;
- c) seguro de máquinas e implementos; e
- d) alojamento para máquinas e implementos.

Por outro lado, os Custos Variáveis estão diretamente ligados à decisão de produção. São dispêndios de caixa efetivos para se realizar a produção agrícola. São despesas como:

- a) mão-de-obra volante;
- b) adubos;
- c) corretivos;
- d) defensivos;
- e) sacaria;
- f) combustíveis e lubrificantes;
- g) energia elétrica;
- h) reparos de máquinas; e
- i) juros sobre capital de giro.

CÁLCULO DOS CUSTOS FIXOS

Como se observa, os Custos Fixos estão ligados à propriedade de máquinas, implementos e benfeitorias. Admitindo-se, então, um número de horas máximo para a vida de tais equipamentos, cada atividade em que atuem os remunerará proporcionalmente, de forma que, ao fim de sua vida útil, todos os seus custos estejam

plenamente pagos. Assim, no presente trabalho, a remuneração destes custos foi rateada pelo número de horas que cada cultura despendeu com cada um destes itens.

Os Custos Fixos foram então calculados quanto aos custos por hora de uso dos equipamentos. Para o cálculo dos Custos Fixos são necessários os seguintes parâmetros:

- a) VN - valor do equipamento novo (em dólar);
- b) v - porcentagem de valor de sucata;
- c) i - taxa anual de juros;
- d) H - número de horas trabalhadas por ano;
- e) V - vida útil em anos;
- f) s - taxa anual de seguro; e
- g) a - taxa anual de alojamento.

A TABELA 1 apresenta o valor desses parâmetros para cada equipamento considerado neste estudo. Com estes parâmetros, definem-se então as fórmulas para o cálculo de cada item de Custos Fixos, que são:

- a) depreciação horária

$$D = \frac{VN \cdot (1 - v)}{H \cdot U} \quad (1)$$

O método de cálculo escolhido para a depreciação foi o da Depreciação Linear. O numerador da expressão mostra a desvalorização (depreciação) do equipamento de um valor inicial VN para um valor de sucata VN.(1-v) ao fim de uma vida útil. A depreciação horária é obtida pela divisão deste pelo número de horas trabalhadas em toda a vida útil do equipamento H.U.

b) juros horários

$$J = \frac{VN.(1+v)}{2H} \quad (2)$$

Os juros são calculados aplicando-se a taxa de juros anual i sobre o valor médio do equipamento $VN.(1+v)/2$. O rateo por hora obtido pela divisão do número de horas anuais H .

c) seguro horário

$$S = \frac{VN.(1+v)}{2H} . s \quad (3)$$

Aqui, aplica-se ao valor médio do equipamento uma alíquota de seguro. O valor desta alíquota foi obtida de manuais editados por empresas produtoras de equipamentos agrícolas (CBT, Müller, New Holland). Na consideração deste custo se faz necessário pressupor que o agricultor tenha uma apólice de seguro para cada equipamento que possua, mas, antes, este custo é um fundo a ser constituído para fazer frente a eventuais sinistros que possam ocorrer com tais equipamentos.

TABELA 1 - Parâmetros usados para cálculos de custo fixo de máquinas e equipamentos.

EQUIPAMENTOS	1 VN (Dólar)	2 H	3 V (Anos)	4 i (%)	5 s (%)	6 a (%)	7 v (%)
Adubadeira 2 linhas	1074.536	160	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Adubadeira 6 linhas	1387.49	160	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Arado 3 discos 26"	980.1018	480	5	6.00	0.75	0.50	25.0
Arado de Aiveca	90.31031	400	5	6.00	0.75	0.50	25.0
Arrancadeira de batatas	1547.543	100	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Batedeira de cereais 10 a 15 sc	1415.366	1200	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Caminhão 140 CV	13610.96	1600	7	6.00	0.75	0.50	25.0
Carreta de 3t c/ carroc, pneu e freios	1654.297	360	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Carreta tanque 2000 l	1460.313	480	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Carregadeira de canas	8929.236	1200	8	6.00	0.75	0.50	25.0
Colheteadeira automotriz de cereais 77 CV	29361.29	480	15	6.00	0.75	0.50	25.0
Colheteadeira automotriz de cereais 117 CV	37945.89	480	15	6.00	0.75	0.50	25.0
Conjunto pulverização c/ barra hidráulica	2382.417	480	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Cultivador 9 enxadas	428.6347	320	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Cultivador c/ adubadeira	963.136	320	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Distribuidor de calcário 550 L	822.8157	160	5	6.00	0.75	0.50	25.0
Enxada rotativa p/ trator	2389.047	480	8	6.00	0.75	0.50	25.0
Escarificador	2389.047	480	8	6.00	0.75	0.50	25.0
Grade 24 discos 18"	812.1664	200	7	6.00	0.75	0.50	25.0
Grade 28 discos 18"	1476.547	200	7	6.00	0.75	0.50	25.0

continua

continuação

EQUIPAMENTOS	1 VN (Dólar)	2 H	3 V (Anos)	4 i (%)	5 s (%)	6 a (%)	7 v (%)
Grade pesada 20 discos 24"	1104.292	180	7	6.00	0.75	0.50	25.0
Grade Rome 14/26"	1761.573	180	7	6.00	0.75	0.50	25.0
Pulverizador acoplado ao trator tanque 2000 L	2637.009	320	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Pulverizador acoplado ao trator c/ mangueira	2197.777	480	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Pulverizador costal motorizado	423.4666	480	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Roadeira	1082.889	400	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Semeadeira/adubadeira 4 linhas	2710.04	480	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Semeadeira/adubadeira 5 linhas	3273.409	480	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Subsolador 2 linhas	657.8036	180	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Plantadeira/adubadeira	131.8113	160	8	6.00	0.75	0.50	25.0
Operação animal	332.4777	1120	10	6.00	0.75	0.50	25.0

TRATORES

EQUIPAMENTOS	1 VN (Dólar)	2 H	3 V (Anos)	4 i (%)	5 s (%)	6 a (%)	7 v (%)
Trator 36 CV	9449.695	1000	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Trator 55 CV	13223.31	1000	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Trator 58 CV	13572.65	1000	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Trator 63 CV	14479.77	1000	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Trator 73 CV	17534.97	1000	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Trator 81 CV	18929.20	1000	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Trator 85 CV	25303.91	1000	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Trator 90 CV	25303.91	1000	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Trator 95 CV	30387.85	1000	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Trator 118 CV	29580.33	1000	10	6.00	0.75	0.50	25.0
Trator 140 CV	40504.17	1000	10	6.00	0.75	0.50	25.0

EQUIPAMENTOS DE IRRIGAÇÃO

EQUIPAMENTOS	1 VN (Dólar)	2 H	3 V (Anos)	4 i (%)	5 s (%)	6 a (%)	7 v (%)
Pivô central 10 torres (4)	109997.2	2000	15	6.00	0.75		25.0
Pivô central 10 torres (6)	87423.57	2000	15	6.00	0.75		25.0
Pivô central 8 torres (8)	63322.56	2000	15	6.00	0.75		25.0
Pivô central 9 torres (9)	127797.9	2000	15	6.00	0.75		25.0
Pivô central 7 torres (10)	76253.8	2000	15	6.00	0.75		25.0
Pivô central 6 torres (11)	72346.44	2000	15	6.00	0.75		25.0

Obs: Os valores entre parênteses nominam diferentes equipamentos de irrigação acompanhados pela pesquisa de campo.

FONTES	LEGENDA
1 - Informações econômicas, 7, 1988	VN: Valor Novo
2 - Idem	H: Horas trabalhadas por ano
3 - Idem	V: Vidas útil
4 - Caderneta de poupança	i: Juros
5 - CBT	s: Seguro
6 - CBT	a: Alojamento
7 - CFP	v: Percentual do valor sucata

d) alojamento horário

$$A = \frac{VN.a}{H} \quad (4)$$

A taxa de alojamento “a” foi obtida de manuais de fabricantes de equipamentos. Estes custos pressupõe que para cada equipamento seja reservada ou construída uma área para seu abrigo.

Cálculo dos Custos Variáveis

Os Custos Variáveis ligados aos insumos (adubos, inseticida, herbicida, etc.) utilizados, foram calculados a partir do vetor de coeficientes técnicos, obtidos através das planilhas aplicadas para os agricultores, multiplicado por um vetor de preços, colhidos do comércio de insumos agrícolas da região de Guaira, SP. Os preços foram cotados em dólar paralelo diário. As TABELAS 2, 3, 4, 5, 6 e 7 apresentam o conjunto de tais preços.

Os preços para mão-de-obra comum e especializada foram calculados a partir de uma média de preços de “diárias” pagas pelos agricultores e anotados nas planilhas a eles aplicadas.

Para os custos variáveis ligados à utilização de equipamentos, os procedimentos foram:

a) para tratores agrícolas e colhedeiras automotrizes - obteve-se o custo operacional a partir de dados para tratores de diversas potências e colhedeiras elaboradas pela CFP, Companhia de Financiamento da Produção, a preços de junho de 1988. Estes custos incluem então a remuneração dos seguintes itens: óleo diesel, óleo de motor, óleo de câmbio, graxa, substituição de filtro de ar, filtro de óleo lubrificante, filtro de óleo de hidráulicos, manutenção e reparos. A TABELA 2 apresenta tais custos, já convertidos em dólar;

*TABELA 2 - Preços de diversos adubos e sementes observados na região de Guaira, SP.
Valores em dólar (período fevereiro a outubro/92).*

ADUBO	UNIDADE	PREÇO
04-20-20	ton	180,10
02-20-10	ton	171,32
04-30-16	ton	245,66
02-30-10	ton	245,00
Ácido Bórico	kg	0,76
Auran	kg	0,16
Br-12	ton	334,12
Calcário	ton	12,77
Cálcio	kg ou L	2,00
Cloreto de Potássio	ton	225,03
Cobre	kg	5,23
Folícen	L	1,23
Fosmag	ton	187,00
Halosais	kg	2,00
KL sais	kg	1,50
MAP	kg	1,28
Nitrato de Potássio	kg	0,65
Nutrimins Feijão	L	1,24
Nitrocálcio	ton	161,28
Nitromicro	L	1,24
Salitre do Chile	ton	320,00
Sulfato de Amônia	ton	152,00
Sulfinito	ton	270,50
Torta de Mamona	ton	110,07
Torton	kg ou L	10,87
Uran (32-00-00)	ton	172,60
Uréia	ton	245,99

SEMENTE	UNIDADE	PREÇO
Feijão	kg	0,58
Tomate	kg	6,58

*TABELA 3 - Preços de diversos inseticidas observadas na região de Guaira, SP.
Valores em dólar (período fevereiro a outubro/92).*

INSETICIDA	UNIDADE	PREÇO
Aldrin	kg	0,54
Azodrin	L	0,85
Baytroide	L	24,13
Benlate	L	21,70
Curacron	kg	11,90
Decis	L	26,43
Dissulfan	L	6,19
Endossulfan	L	6,65
Folidol	L	6,44
Formicida	kg	1,04
Furadan	L	19,90
Furadan	kg	2,30
Gusathion	L	12,33
Hamidop	L	9,09
Tamaron	L	9,47
Temik	kg	7,24
Thiodan	L	6,90

TABELA 4 - Preços de diversos fungicidas observados na região de Guaira, SP. Valores em dólar (período fevereiro a outubro/92).

FUNGICIDA	UNIDADE	PREÇO
<i>Alizan</i>	kg	19,54
<i>Audrin</i>	kg	0,54
<i>Captan</i>	L	6,90
<i>Cercobin</i>	kg	15,50
<i>Cerconil</i>	kg	15,60
<i>Cerconil</i>	L	11,20
<i>Cruzate</i>	kg	9,91
<i>Cupravit</i>	kg	3,56
<i>Daconil</i>	kg	14,10
<i>Daconil</i>	L	9,60
<i>Dacostar</i>	L	9,00
<i>Dütane</i>	kg	4,82
<i>Hokkosuzu</i>	kg	12,78
<i>Manzate</i>	kg	4,40
<i>Ortosside</i>	kg	4,90
<i>PCNB</i>	kg	12,90
<i>Peprosin</i>	kg	5,00
<i>Ridomil</i>	kg	24,50
<i>Rodiuran</i>	kg	7,88
<i>Ronilan</i>	kg	55,00
<i>Rovral</i>	kg	43,70
<i>Tector</i>	kg	9,32
<i>Vanox</i>	L	9,60

TABELA 5 - Preços de diversos acaricidas observados na região de Guaira, SP. Valores em dólar (período fevereiro a outubro/92)

ACARICIDA	UNIDADE	PREÇO
<i>Acardifen</i>	L	6,20
<i>Hossation</i>	L	13,50
<i>Microzol</i>	L	1,20

TABELA 6 - Preços de diversos herbicidas observados na região de Guaira, SP. Valores em dólar (período fevereiro a outubro/92).

HERBICIDAS	UNIDADE	PREÇO
<i>2, 4-D</i>	L	5,88
<i>Basagran</i>	L	17,27
<i>Dual</i>	L	14,70
<i>Flex</i>	L	26,43
<i>Fusilade</i>	L	17,80
<i>Podium</i>	L	30,00
<i>Roundup</i>	L	9,73
<i>Sencor</i>	L	27,14
<i>Terflan</i>	L	6,19
<i>Trifluralina</i>	L	3,82

TABELA 7 - Preços de diversos espalhantes observados na região de Guaira, SP. Valores em dólar (período fevereiro a outubro/92).

ESPALHANTE	UNIDADE	PREÇO
<i>Energic</i>	L	3,42
<i>Haiten</i>	L	3,00
<i>Ihanaguen</i>	L	2,50

TABELA 8- Custo operacional horário de tratores e colhedeira (valores em dólar).

DISCRIMINAÇÃO	50	50 - 60	60 - 70	70 - 80	80 - 100	100	Colhedeira
<i>Óleo diesel</i>	0.7090	1.0639	1.1345	1.2766	1.4195	1.5601	1.7022
<i>Óleo de motor</i>	0.0418	0.0418	0.0835	0.0835	0.0835	0.0917	0.0917
<i>Óleo de câmbio</i>	0.0371	0.0371	0.0461	0.0554	0.0554	0.0648	0.0648
<i>Graxa</i>	0.0308	0.0308	0.0308	0.0308	0.0308	0.0461	0.0461
<i>Filtro de ar</i>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<i>Filtro de combustível</i>	0.0109	0.0109	0.0109	14.6167	0.0109	0.0090	0.0090
<i>Filtro de óleo</i>	0.0414	0.0414	0.0590	0.0590	0.0590	0.0590	0.0590
<i>Filtro hid. trab.</i>	0.0000	0.0496	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<i>Filtro hid. colh.</i>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0296
<i>Manutenção/reparos</i>	0.7113	0.8347	0.8417	0.9276	1.0889	1.5983	6.3937
TOTAL C.O.	1.5823	2.1102	2.2066	17.0497	2.7481	3.4290	8.3961

b) para implementos agrícolas tracionados - exceto o item de reparos e manutenção - todos os outros itens de Custo Variável foram considerados desprezíveis (lavagem e custos de reparos e manutenção). Os custos de reparos e manutenção foram obtidos, conforme sugere Balastreire (1987), a partir de coeficientes calculados para cada tipo de máquina agrícola. Tais coeficientes são obtidos em outros países a partir de pesquisas realizadas com o acompanhamento de amostras de máquinas operando em situações normais. Não se encontrou no Brasil nenhum dado publicado desta natureza. Dessa forma, como praxe, adotaram-se as informações publicadas pela American Society of Agricultural Engineers, em publicações denominadas ASAE- STANDARS (1985). A aplicação de tais coeficientes de manutenção e reparos para a realidade brasileira pode ser objeto de críticas, uma vez que se pressupõe que os padrões de qualidade da manutenção de máquinas no Brasil devem ser inferiores aos EUA. Contudo, a amostras de agricultores aqui considerada é tecnologicamente superior à média brasileira e, portanto, mais próxima das de países desenvolvidos.

Para efeito de comparação, ainda, o cálculo feito a partir do coeficiente norte-americano foi cotejado com cálculo de manutenção e reparos de tratores elaborado pela CFP (TABELA 9). Verificou-se que as diferenças foram pequenas, ficando o cálculo da CFP ora acima, ora abaixo do cálculo norte-americano, dependendo da potência do trator.

Conclui-se que, dada a relevância que a estimativa de custos agrícolas tem para o planejamento público e privado, a melhor maneira de atacar o problema seria a condução de pesquisas sobre manutenção e reparos de implementos por órgãos tais como o Cenea, CFP, ABNT, etc. A TABELA 9 apresenta os coeficientes de manutenção e reparos utilizados neste trabalho. Os cálculos destes custos foram realizados com a seguinte fórmula:

$$R = \frac{VN.r}{H.U.} \quad (5)$$

onde r é o coeficiente de manutenção e reparos.

TABELA 9 - Coeficientes para manutenção e reparos de máquinas e implementos agrícolas.

DISCRIMINAÇÃO	COEFICIENTE REPAROS (%)
<i>Adubadeira</i>	1.20
<i>Arado de disco</i>	6.00
<i>Arado de Aiveca</i>	1.50
<i>Arrancadeira de batatas</i>	7.00
<i>Batedeira de cereais 10 a 15 sacos</i>	6.00
<i>Caminhão 140 CV</i>	1.20
<i>Carreta de 3 ton com carroceria, pneu e freios</i>	3.00
<i>Carreta tanque 2000 L</i>	8.00
<i>Colhetadeira</i>	7.00
<i>Conjunto pulverização com barra hidráulica</i>	6.00
<i>Cultivador</i>	8.00
<i>Cultivador com adubadeira</i>	1.20
<i>Distribuidor de calcário 550 L</i>	1.20
<i>Enxada rotativa para trator</i>	6.00
<i>Escarificador</i>	6.00
<i>Grade</i>	6.00
<i>Grade niveladora</i>	6.00
<i>Grade pesada</i>	6.00
<i>Grade Rome</i>	6.00
<i>Pulverizador acoplado ao trator</i>	6.00
<i>Pulverizador costal motorizado</i>	7.00
<i>Roadeira</i>	6.00
<i>Semeadeira/adubadeira</i>	8.00
<i>Subsolador 2 linhas</i>	1.50
<i>Plantadeira / adubadeira</i>	3.00
<i>Operação animal</i>	1.20
<i>Trator</i>	1.20
<i>Equipamento de irrigação - Pivô central</i>	6.00

FONTE: ASAE - Standarts - EUA.

Assim, os reparos horários R são calculados a partir dos custos de manutenção e reparos dados como uma proporção do equipamento novo $VN. r$, divididos pelo número total de horas $H.U.$;

c) custo variável dos equipamentos de irrigação - para os equipamentos de irrigação, os únicos custos variáveis relevantes são os reparos, a manutenção e o dispêndio com energia para o recalque e o bombeamento de água. Os reparos foram calculados da mesma forma que para outros equipamentos agrícolas. Quanto à energia, no presente estudo somente se defrontou com bombas acionadas por motores elétricos.

Para o cálculo do custo de energia elétrica, foi então considerada a política tarifária vigente na época da coleta de dados. Nas normas desta política são definidos dois tipos de consumidores agrícolas: os do Grupo A, que possuem transformadores com potência acima de 75 KVA; e os do Grupo B, com transformadores de potência menor. Os consumidores do Grupo A, além de pagarem pelo consumo de energia elétrica, pagam, também, pela sua “demanda”.

A média das potências solicitadas pelo consumidor durante um intervalo de tempo, usualmente 15 min., registrados no medidor “demanda” (CESP, 1982). A “demanda” não mede então a energia consumida, mas a maior quantidade de energia que é consumida em um dado tempo.

Assim, para os consumidores do Grupo A, tem-se que o custo de energia elétrica é dado por:

$$CE = td . PA + tca \frac{PN}{f} . H \quad (6)$$

onde:

CE = custo da energia elétrica;

PA = potência ativa do motor elétrico;

PN = potência nominal do motor elétrico;

H = número horas irrigadas;

td = tarifa de demanda;

tca = tarifa de consumo Grupo A;

f = eficiência do motor.

Para os consumidores do Grupo B, o custo da energia elétrica é dado por:

$$CE = tcb \cdot \frac{PN}{f} \cdot H \quad (7)$$

onde: tcb = tarifa de consumo Grupo B.

A potência ativa de cada motor pesquisado foi obtida de TABELA publicada pela CESP (1980), e reproduzida na TABELA 10. As tarifas foram obtidas da CPFL e serão reproduzidas na TABELA 11. No estudo, utilizaram-se as médias das tarifas medidas em termos reais dos meses de jan/88 e dez/88, que serão apontadas naquela tabela.

A TABELA 12 mostra o custo horário total de cada equipamento considerado neste estudo.

A TABELA 13 apresenta as variáveis observadas nos oito casos da cultura do feijão e, a TABELA 14 mostra as variáveis observadas nos 3 casos da cultura do tomate; a TABELA 15 mostra os dados estatísticos dos casos estudados da cultura de feijão.

TABELA 10 - Potências desenvolvidas e consumidas de motores elétricos.

POTÊNCIA DESENVOLVIDA NO MOTOR		POTÊNCIA CONSUMIDA
CV	KW	ATIVA
10	7.36	9.44
12.5	9.2	11.4
15	11	13.5
20	14.7	17.7
25	18.4	21.9
30	22.1	25.7
40	29.4	33.8
50	36.8	41.3
60	44.2	49.6
75	55.2	61.3
100	73.6	81.8
125	92	102
150	110	123
200	147	164
250	184	204
300	221	245

Fonte: CESP, 1980.

TABELA 11 - Tarifas cobradas no ano de 1988, apresentando a média de março a dezembro (em dólar)

MES	GRUPO A		GRUPO B
	DEMANDA KWh	CONSUMO KWh	CONSUMO KWh
3	5.755	0.021	0.038
4	4.651	0.027	0.039
5	3.663	0.031	0.038
6	2.842	0.033	0.037
7	2.155	0.031	0.035
8	2.261	0.033	0.037
9	2.275	0.033	0.037
10	2.271	0.033	0.037
11	2.314	0.034	0.038
12	2.033	0.030	0.033
MÉDIA DE MAR/DEZ	3.022	0.031	0.037

Fonte: CPFL, 1988

Custos Não-Considerados

Alguns custos indiretos não foram considerados. Acredita-se que tal fato comprometa muito pouco os resultados. A seguir, apresentam-se algumas justificativas pela sua não-inclusão, bem como apontam-se formas de estimar tais custos a partir dos resultados:

- a) **custo financeiro** - os juros sobre crédito rural ou capital de giro próprio oferecem dificuldades para seu cálculo. Em primeiro lugar, é bastante variável, para cada agricultor, a composição dos resultados próprios e daqueles provenientes do crédito rural impossibilitando o cálculo de uma remuneração média para ambos. Em segundo lugar, para tomadores de carteiras de bancos privados, surge ainda o mascaramento da reciprocidade da dívida pelo tomador ao banco. Na avaliação de resultados, contudo, pode-se ter uma idéia deste custo comparando-se a Taxa Interna de retorno mensal da Renda Líquida do Agricultor com uma taxa de mercado, por exemplo: caderneta de poupança 0,5% ao mês;

- b) **renda da terra** - aqui, fala-se tanto na renda da terra, sem seu conceito ricardiano de remuneração à fertilidade ou proximidades de mercados, quanto na remuneração do capital imobilizado em terras ⁽¹⁾. A dificuldade em se obterem valores precisos de transações com terras é um dos empecilhos ao cálculo deste item. Seguindo-se o procedimento da CFP, pode-se, como forma de analisar os resultados, acrescentar 20% sobre o valor da produção, a título de remuneração da terra (CFP, 1987; p.16);
- c) **remuneração do empresário** - este item é bastante controverso, pois depende de concepções subjetivas a respeito do custo de oportunidade do trabalho empresarial.
- Analisando-se os resultados, cada leitor terá a sua avaliação a respeito. Cabe lembrar, ainda, que as áreas monitoradas pela presente pesquisa, regra geral, não se constituíam na única fonte de renda dos agricultores estudados;
- d) **comercialização** - nos casos estudados, nenhum dos agricultores fez uso de financiamento público ou privado para a comercialização da safra. Portanto, neste caso não se tem informação sobre tal custo;
- e) **impostos** - a taxação sobre a agricultura oferece grandes dificuldades de mensuração, de um lado, pela diversidade de tratamento tarifário de cada produto; de outro, pela ausência de contabilidade que permita o desconto de impostos pagos na compra de insumos. Acredita-se, contudo, que o item imposto tem um peso relativamente pequeno no processo produtivo.

TABELA 12 - Custo horário para equipamentos estudados (valores em dólar)

DISCRIMINAÇÃO	DEPREC. HORÁRIA D	JUROS HORÁRIO J	SEGURO HORÁRIO A	ALOJ/TO HORÁRIO A	C. HORÁRIO FIXO D+J+S+A	REPAROS R	C. HORÁRIO TOTAL CHF+R	C. OPERACI CD	C. HORÁRIO TRATOR CHF+CO
Adubadeira 2 linhas	0.504	0.252	0.031	0.034	0.821	0.008	0.829		
Adubadeira 6 linhas	0.650	0.325	0.041	0.043	1.060	0.010	1.070		
Arado 3 discos 26"	0.306	0.077	0.010	0.010	0.403	0.025	0.427		
Arado de Aiveca	0.034	0.008	0.001	0.001	0.045	0.001	0.045		
Arrancadeira de batatas	0.645	0.322	0.040	0.043	1.051	0.060	1.111		
Batedeira de cereais 10 a 15 sc	0.088	0.044	0.006	0.006	0.144	0.007	0.151		
Caminhão 140 CV	0.911	0.319	0.040	0.043	1.313	0.015	1.327		
Carreta de 3t c/carroc, pneu e freios	0.345	0.172	0.022	0.023	0.561	0.037	0.590		
Carreta tanque 2000 l	0.228	0.114	0.014	0.015	0.372	0.024	0.396		
Carregadeira de canas	0.698	0.279	0.035	0.037	1.049	0.065	1.114		

continua

⁽¹⁾ Na verdade, tais conceitos são convergentes.

continuação

DISCRIMINAÇÃO	DEPREC. HORÁRIA D	JUROS HORÁRIO J	SEGURO HORÁRIO A	ALOJ/TO HORÁRIO A	C. HORÁRIO FIXO D+J+S+A	REPAROS R	C.HORÁRIO TOTAL CHF+R	C.OPERACI CD	C.HORÁRIO TRATOR CHF+CO
Colheteira automotriz de cereais 77 CV	3.058	2.294	0.287	0.306	5.945	0.285	6.230	8.396	14.341
Colheteira automotriz de cereais 117 CV	3.953	2.965	0.371	0.395	7.683	0.369	8.052	8.396	16.079
Conjunto pulverização c/ barra hidráulica	0.372	0.186	0.023	0.025	0.606	0.030	0.636		
Cultivador 9 enxadas	0.100	0.050	0.006	0.007	0.164	0.011	0.174		
Cultivador c/ adubadeira	0.226	0.113	0.014	0.015	0.368	0.004	0.371		
Distribuidor de calcário 550 L	0.771	0.193	0.024	0.026	1.014	0.012	1.026		
Enxada rotativa p/ trator	0.467	0.187	0.023	0.025	0.701	0.037	0.739		
Grade 24 discos 18"	0.435	0.152	0.019	0.020	0.627	0.035	0.662		
Grade 28 discos 18"	0.791	0.277	0.035	0.037	1.139	0.063	1.203		
Grade pesada 20 discos 24"	0.657	0.230	0.029	0.031	0.947	0.053	0.999		
Grade Rome 14/26"	1.049	0.367	0.046	0.049	1.516	0.084	1.594		
Pulverizador acoplado ao trator tanque 2000 L	0.618	0.309	0.039	0.041	1.007	0.049	1.056		
Pulverizador acoplado ao trator c/ mangueira	0.343	0.172	0.021	0.023	0.559	0.027	0.587		
Pulverizador costal motorizado	0.066	0.033	0.004	0.004	0.108	0.006	0.114		
Roadeira	0.203	0.102	0.013	0.014	0.331	0.016	0.347		
Semeadora/adubadeira 4 linhas	0.423	0.212	0.026	0.028	0.690	0.045	0.735		
Semeadora/adubadeira 5 linhas	0.511	0.256	0.032	0.034	0.833	0.055	0.888		
Subsolador 2 linhas	0.274	0.137	0.017	0.010	0.447	0.005	0.452		
Plantadeira adubadeira	0.077	0.031	0.004	0.004	0.116	0.008	0.124		

TRATORES

DISCRIMINAÇÃO	DEPREC. HORÁRIA D	JUROS HORÁRIO J	SEGURO HORÁRIO A	ALOJ/TO HORÁRIO A	C. HORÁRIO FIXO D+J+S+A	REPAROS R	C.HORÁRIO TOTAL CHF+R	C.OPERACI CD	C.HORÁRIO TRATOR CHF+CO
Trator 36 CV	0.709	0.354	0.044	0.047	1.155	0.011	1.166	1.582	2.737
Trator 55 CV	0.992	0.496	0.062	0.066	1.616	0.016	1.632	2.110	3.726
Trator 58 CV	1.018	0.509	0.064	0.068	1.658	0.016	1.675	2.110	3.768
Trator 63 CV	1.086	0.543	0.068	0.072	1.769	0.017	1.787	2.190	3.960
Trator 73 CV	1.315	0.658	0.082	0.088	2.140	0.021	2.164	2.444	4.587
Trator 81 CV	1.420	0.710	0.089	0.095	2.313	0.023	2.336	2.747	5.060
Trator 85 CV	1.898	0.949	0.119	0.127	3.092	0.030	3.122	2.747	5.839
Trator 90 CV	1.898	0.949	0.119	0.127	3.092	0.030	3.122	2.747	5.839
Trator 95 CV	2.279	1.140	0.142	0.152	3.713	0.036	3.749	2.747	6.460
Trator 118 CV	2.219	1.109	0.139	0.148	3.614	0.035	3.650	2.747	6.361
Trator 140 CV	3.038	1.519	0.190	0.203	4.949	0.049	4.998	3.429	8.378

SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

DISCRIMINAÇÃO	DEPREC. HORÁRIA D	JUROS HORÁRIO J	SEGURO HORÁRIO A	ALOJ/TO HORÁRIO A	C. HORÁRIO FIXO D+J+S+A	REPAROS R	C.HORÁRIO TOTAL CHF+R	C.OPERACI CD	C.HORÁRIO TRATOR CHF+CO
Pivô central 10 torres (4)	2.750	2.062	0.258	0.000	5.070	0.220	5.290		
Pivô central 10 torres (6)	2.186	1.639	0.205	0.000	4.030	0.175	4.205		
Pivô central 8 torres (8)	1.583	1.187	0.148	0.000	2.919	0.127	3.045		
Pivô central 9 torres (9)	3.195	2.396	0.300	0.000	5.891	0.256	6.146		
Pivô central 7 torres (10)	1.906	1.430	0.179	0.000	3.515	0.153	3.667		
Pivô central 6 torres (11)	1.809	1.356	0.170	0.000	3.335	0.145	3.479		

TABELA 13 - Variáveis observadas nos 8 casos da cultura do feijão

PRODUTOR	CÓDIGO	REGIÃO	SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	ÁREA (ha)	CULTURA	PERÍODO	DURAÇÃO DO CICLO (dias)	ESTANDE Nº p/ha	RENDIMENTO		TOTAL DE PRECIPITAÇÃO NO PERÍODO (mm)
									kg/ha	sc/ha	
Antonio	GU01FC	Guaira	Pivô	9.7	Feijão IAC Carioca	29/04 a 04/08	97	129629	2331.96	38.87	50.0
Antonio	GU01FC-B	Guaira	Pivô	9.7	Feijão IAC Carioca	30/04 a 09/08	101	129629	2480.41	41.34	50.0
Antonio	GU01FC-C	Guaira	Pivô	7.3	Feijão IAC Carioca	26/04 a 30/07	94	129629	2104.11	35.07	50.0
Maurício	GU02FC	Guaira	Pivô	33.0	Feijão Cariquinha	24/04 a 14/07	30	200000	1618.18	26.97	161.1
Tersso	GU03FC	Guaira	Pivô	30.0	Feijão Cariquinha	26/05 a 04/09	99	283018	1980.79	33.01	0.0
Kendi	GU04FC	Guaira	Pivô	17.0	Feijão Cariquinha	15/05 a 20/08	96	196428	2170.59	36.18	0.0
Claudio	CB01FC	Casa Branca	Pivô	30.0	Feijão Cariquinha	08/06 a 07/09	91	240000	2220.00	37.00	0.0
Gerardus	CB02FC	Casa Branca	Pivô	12.0	Feijão Cariquinha	16/05 a 20/08	95	260000	2220.00	37.00	59.0

continuação

PRODUTOR	TOTAL DE LÂMINA APLICADA (mm)	CUSTO TOTAL DE PRODUÇÃO	CUSTO VARIÁVEL		CUSTO FIXO		CUSTO COM INSUMO		CUSTO COM MÁQ. E EQUIP.		RECEITA LÍQUIDA US\$
			%	US\$	%	US\$	CUSTO POR ha US\$	%	US\$	%	
Antonio	263.50	7040.29	81.81	4861.10	16.76	995.95	566.96	43.77	3089.81	25.64	4501.03
Antonio	263.50	7982.78	81.20	6482.28	18.20	1500.50	882.97	45.07	3597.94	24.72	4625.42
Antonio	202.74	5098.60	87.54	4463.35	12.46	635.25	698.44	56.44	2877.49	24.04	2627.85
Maurício	79.10	12989.30	93.38	12128.79	6.62	860.51	393.62	73.47	9548.81	10.61	12346.21
Tersso	279.40	14369.00	80.86	11619.02	19.14	2749.98	475.79	38.43	5521.30	13.91	18920.98
Kendi	190.23	9029.03	85.11	7684.73	14.89	1344.30	531.12	53.47	4827.77	19.63	10580.77
Claudio	222.00	15624.01	79.37	12400.48	20.63	3223.53	520.80	39.40	6155.23	28.54	28840.02
Gerardus	80.00	5751.58	92.07	5295.22	7.93	456.36	479.30	60.27	3466.72	23.36	10227.02

continuação

PRODUTOR	TIR custo		CUSTO COM IRRIGAÇÃO		CUSTO COM ENERGIA ELÉTRICA		CUSTO FIXO DE IRRIGAÇÃO		HORAS IRRIGADAS S	CUSTO p/h IRRIGADA	VAZÃO (m³/h)	CUSTO p/1000 m³	MÃO DE OBRA JORNADA	RECEITA BRUTA US\$
	TOTAL %	VARIÁVEL %	%	US\$	%	US\$	%	US\$						
Antonio	16.26	23.07	20.75	1534.70	68.73	1054.32	29.90	460.08	142.00	10.81	180.00	60.00	161.00	10442.90
Antonio	16.31	23.16	19.46	1553.37	67.91	1054.95	30.81	478.54	142.00	10.94	180.00	60.77	155.12	11107.70
Antonio	14.10	17.69	9.25	471.42	94.01	443.17	5.76	27.14	74.00	6.37	201.00	31.67	103.12	7091.20
Maurício	34.58	37.76	8.75	1136.88	63.00	716.27	35.80	407.68	79.10	11.60	266.00	43.53	289.00	24475.00
Tersso	29.43	38.19	39.06	5521.30	61.69	3462.27	36.66	2057.44	616.00	9.11	137.00	66.50	334.12	29910.00
Kendi	42.03	52.63	20.86	1883.51	59.94	1128.96	38.40	723.24	147.00	12.81	220.00	58.24	169.00	18265.50
Claudio	30.13	38.89	26.46	4133.39	57.38	2371.82	40.85	1683.31	333.00	12.41	200.00	62.00	270.50	37240.50
Gerardus	56.61	63.58	12.43	714.69	97.44	696.36	2.46	17.60	48.00	14.89	200.00	74.45	69.37	15522.24

continua

continuação

PRODUTOR	PRODUÇÃO TOTAL (saca)	PREÇO DA SACA (US\$/sc)	DEFASAGEM P/ PREÇO MÉDIO (%)	LUCRO TOTAL (US\$)	LUCRO POR ha (US\$/ha)	LUCRO POR sc (US\$/se)
Antonio	377	27.70	33.00	3045.05	313.92	8.08
Antonio	401	27.70	33.00	3124.92	322.16	7.79
Antonio	256	27.70	33.00	1992.60	272.95	7.78
Maurício	890	27.50	32.30	11485.70	348.05	12.90
Tersso	997	30.00	44.37	15541.00	514.00	15.59
Kendi	615	29.70	42.93	9236.47	543.32	15.02
Claudio	1110	33.55	61.45	21616.49	720.55	19.47
Gerardus	444	34.96	68.24	9770.66	814.22	22.00

TABELA 14 - Variáveis observadas nos três casos da cultura do tomate.

PRODUTOR	CÓDIGO	REGIÃO	SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	ÁREA (ha)	CULTURA	PERÍODO	DURAÇÃO CICLOS (dias)	RENDIMENTO (ton/ha)	TOTAL DE LÂMINA APLICADA (mm)	CUSTO TOTAL DE PRODUÇÃO (US\$)	CUSTO VARIÁVEL (%)	CUSTO VARIÁVEL (US\$)	CUSTO FIXO (%)	CUSTO FIXO (US\$)
MAURÍCIO	GU01TO	Guaira	Pivô	22.0	Tomate ind.	23/04 a 27/08	129	62.16	333.34	33927.53	92.67	33148.96	7.33	2778.58
VILMAR	GU02TO	Guaira	Pivô	12.0	Tomate ind.	02/04 a 16/08	137	69.42	603.45	21234.93	91.67	19465.88	8.33	1769.05
JOEL	GU03TO	Guaira	Pivô	16.9	Tomate ind.	07/05 a 27/08	108	57.02	270.29	19716.70	84.13	16586.74	15.80	3129.96
MÉDIA							124.67	62.87	402.36	24959.72		23067.19		2559.20
DESVIO							12.23	5.09	144.50	6371.42		7225.14		576.84
C.V. (%)							9.81	8.09	35.91	25.53		31.32		22.54

PRODUTOR	HORAS IRRIGADAS (h)	CUSTO p/h IRRIGADA (US\$/h)	VAZÃO (m³)	CUSTO POR 1000 m³ (US\$/1000 m³)	MÃO DE OBRA JORNADA (8 h)	% DE MÃO DE OBRA	CUSTO COM MÃO DE OBRA (US\$)	RECEITA BRUTA (US\$)	PRODUÇÃO TOTAL (ton)	PREÇO DA TONELADA (US\$/ton)	LUCRO TOTAL (US\$)	LUCRO POR ha (US\$/ha)	LUCRO POR TON. (US\$/ton.)
MAURÍCIO	276.00	9.19	266.50	34.50	1513.50	12.78	4763.65	64027.29	1367.52	46.82	26099.76	1186.35	19.08
VILMAR	243.00	12.74	298.00	42.74	902.00	13.62	2892.6	39003.40	833.04	46.82	17768.47	1480.70	21.33
JOEL	571.00	4.99	80.00	62.40	1022.50	16.34	3281.31	45121.37	936.64	46.82	25404.67	1503.23	26.36
MÉDIA	363.33	8.97	214.83	46.55	1146.00		3645.85	49384.02	1045.73	46.82	2390.97	1390.09	22.26
DESVIO	147.46	3.17	96.20	11.70	264.48		806.17	10651.34	231.43	0.00	3774.26	144.36	3.04
C.V. (%)	40.59	35.30	44.78	25.14	23.08		22.11	21.57	22.13	0.00	16.35	10.37	13.67

PRODUTOR	CUSTO COM INSUMO			CUSTO COM MÁQUINA E EQUIPAMENTOS			TIR CUSTO		CUSTO COM IRRIGAÇÃO		CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA		CUSTO FIXO DA IRRIGAÇÃO	
	CUSTO POR ha (US\$/ha)	CUSTO POR TON. (US\$/TON.)	%	US\$	%	US\$	RECEITA LÍQUIDA US\$	TOTAL %	VARIÁVEL %	%	US\$	% DO TOTAL	% DA IRRIGAÇÃO	US\$
MAURÍCIO	1723.90	27.73	73.55	27897.11	5.30	2007.20	28878.33	27.98	25.46	6.69	2536.14	3.17	42.42	55.19
VILMAR	1769.58	25.49	64.78	13756.71	7.04	1490.40	19537.52	32.13	27.91	14.58	3095.25	8.52	58.47	39.80
JOEL	1166.67	15.80	55.52	10946.20	11.13	2191.64	28534.63	43.56	35.81	14.46	2850.69	4.38	30.30	66.80
MÉDIA	1553.38	23.01		17533.34		1896.41	26650.16				2827.36			
DESVIO	274.08	5.18		7417.57		296.80	4324.57				405.55			
C.V.	17.64	22.50		42.31		15.65	16.86				3.09			19.02

continua

continuação

PRODUTOR	CUSTO POR 1000 m ³ (US\$/1000 m ³)	MÃO DE OBRA JORNADA (8 h)	% DE MÃO DE OBRA	CUSTO COM MÃO DE OBRA (US\$)	RECEITA BRUTA (US\$)	PRODUÇÃO TOTAL (SACA)	PREÇO DA SACA (US\$/sc)	DEFASAGEM P/ PREÇO MÉDIO (%)	LUCRO TOTAL (US\$)	LUCRO POR Ha (US\$/ha)	LUCRO POR SACA (US\$/sc)
Antonio	60.00	161.00	7.03	520.10	10442.90	377	27.70	33.00	3043.05	313.92	8.08
Antonio	60.77	155.12	6.29	501.23	11107.70	401	27.70	33.00	3124.92	322.16	7.79
Antonio	31.69	103.12	6.54	333.27	7091.20	256	27.70	33.00	1992.60	272.95	7.78
Maurício	43.53	289.00	7.16	930.39	24475.00	890	27.50	32.30	11485.70	348.05	12.90
Terso	66.50	384.12	8.60	1236.43	29910.00	997	30.00	44.37	15541.00	514.00	15.59
Kendi	58.24	169.00	6.03	544.64	18265.50	615	29.70	42.93	9236.47	543.32	15.02
Claudio	62.00	270.50	5.61	876.07	27240.50	1110	33.55	61.45	21616.47	720.55	19.47
Gerardus	74.45	69.37	6.54	333.27	15522.24	444	34.96	68.24	9770.66	814.22	22.00

TABELA 15 - Estatística dos casos estudados da cultura do feijão.

VARIÁVEL	SISTEMA	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIACÃO	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO
Participação do custo de irrigação (%)	Pivô central	19.63	9.39	47.83	8.75	39.06
Custo unitário de irrigação (US\$/1000 m ³)	Pivô central	57.15	12.58	22.02	31.69	74.45
Participação da energia elétrica na irrigação (%)	Pivô central	71.26	14.58	20.46	57.38	97.44
Lâmina total aplicada (mm)	Pivô central	197.56	74.10	37.51	79.10	279.40
Rendimento (kg/ha)	Pivô central	2140.76	241.19	11.27	1618.18	2480.41
Participação da mão de obra (%)	Pivô central	6.73	0.85	12.64	5.61	8.60
Participação de máquinas e equipamentos (%)	Pivô central	21.31	5.77	27.08	10.61	28.54
Participação de insumos (%)	Pivô central	51.29	11.21	21.86	38.43	73.47
Participação da energia elétrica no total (%)	Pivô central	13.29	5.08	38.27	5.51	24.10
Custo por saca de feijão (US\$/sc)	Pivô central	15.64	2.52	16.12	12.95	19.92

A TABELA 16 apresenta o cronograma de aplicações dos defensivos utilizados no feijoeiro.

TABELA 16 - Cronograma de aplicação de defensivos do feijoeiro.

Meses												
	Maio				Junho				Julho			
dias	1 a 7	8 a15	16a23	24 a 31	1 a 7	8 a15	16a23	24 a 30	1 a 7	8 a15	16a23	24 a 31
Tamaron ¹			xxxx		xxxx	xxxx		xxxx		xxxx		
Manzate ¹						xxxx						
Cercobin ¹						xxxx		xxxx	xxxx			
Vanox ¹								xxxx	xxxx			
Cobre									xxxx			xxxx
Thiodan ¹									xxxx		xxxx	
Cerconil ¹										xxxx	xxxx	xxxx
Acardafon ¹												xxxx

¹ A citação durante o texto de marcas e/ou produtos comerciais não configura recomendação do autor.

As dosagens foram de: 60 ml de Tamaron, 120 ml de Vanox, 25 ml de Cercobin, 20 g de Cobre, 2 kg de Manzate, 0,413 kg de Cercobin em 20 litros de água. Na área do experimento foram distribuídos sempre cerca de 41,3 litros dessa solução.