

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

**Variações na produção em Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)
através da irrigação por aspersão em três Fases de seu ciclo
vegetativo.**



JOSÉ ANTONIO RISPOLI GONÇALVES

DEDALUS - Acervo - EESC



31100008626

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. ARTHUR MATTOS

SÃO CARLOS
ESTADO DE SÃO PAULO
1999

Class.	TESE-EESC
Cutt.	2570
Tombo	0092100

3 LL 00008626

S/S 1084428

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

G635v Gonçalves, José Antonio Rispoli
Variações na produção em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) através da irrigação por aspersão em três fases de seu ciclo vegetativo / José Antonio Rispoli Gonçalves. -- São Carlos, 1999.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1999.
Área: Hidráulica e Saneamento.
Orientador: Prof. Dr. Arthur Mattos.

1. Irrigação. 2. Otimização. 3. Produção.
4. Aspersão. 5. Feijão. I. Título.

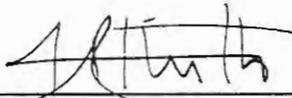
FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Engenheiro **JOSÉ ANTONIO RISPOLI GONÇALVES**

Dissertação defendida e aprovada em 04-10-1999
pela Comissão Julgadora:



Prof. Associado **EDUARDO CLETO PIRES (Substituto)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



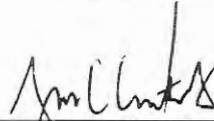
Prof. Associado **ANTONIO MAROZZI RIGHETTO**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **EDSON JOSÉ DE ARRUDA LEME**
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)



Prof. Associado **EDUARDO CLETO PIRES**
Coordenador da Área de Hidráulica e Saneamento



JOSÉ CARLOS A CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

Aos meus pais,
pelo incentivo e ajuda

À EESC-USP pela oportunidade de realizar esta pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Arthur Mattos, pela amizade, dedicação e ajuda.

À EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
UEPAE - pela cooperação durante o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Prof. Dr. Antonio Marozzi Righetto pela amizade.

Ao Prof. Dr. Eduardo Cleto Pires pela amizade e cooperação.

À todas as pessoas do CRHEA-USP que contribuíram durante o desenvolvimento da pesquisa.

À Secretaria do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC-USP.

Sumário:

<u>Lista de Figuras</u>	i
<u>Lista de Tabelas</u>	ii
<u>Lista de Gráficos</u>	iv
<u>Lista de Quadros</u>	vi
<u>Resumo</u>	vii
<u>Abstract</u>	viii
I. <u>Introdução</u>	001
II. <u>Revisão Bibliográfica</u>	004
III. <u>Materiais e Métodos</u>	028
IV. <u>Resultados e Discussão</u>	051
V. <u>Conclusão</u>	096
VI. <u>Sugestão para experimentos futuros</u>	097
<u>Anexos :</u>	
- Tabelas 30a., 30b., 31 e 32.	098
- Fotografias dos Tratamentos.	102

Lista das Figuras

Figura 01 - Diagrama esquemático de uma argila 2:1.....	10
Figura 02 - Croqui do Triângulo da USDA para a determinação das Classes Texturais de um solo.....	11
Figura 03 - Diagrama esquemático do Ciclo Hidrológico.....	14
Figura 04 - Tipos de Estrutura de um solo.....	16
Figura 05 - Medidores de Umidade do solo.....	18
Figura 06 - Extrator de Membrana.....	19
Figura 07 - Diagrama esquemático dos Tratamentos com suas res- tivas fases de irrigação.....	29
Figura 08 - Diagrama esquemático da medição da Cobertura vege- tal.....	37
Figura 09 - Croqui do CRHEA- USP.....	45
Figura 10.1 - Croqui da área experimental.....	46
Figura 10.2 - Croqui da área experimental (cont.).....	47
Figura 11 - Croqui da instalação do experimento.....	48
Figura 12 - Diagrama esquemático do Lisímetro e linhas da cultura instalada.....	49
Figura 13 - Diagrama da coleta das amostras de cobertura vegetal.....	50

Lista de Tabelas

Tabela 01 - Porcentagem de água em alguns órgãos vegetais.....	06
Tabela 02 - Valores de θ e volumes de água correspondentes.....	33
Tabela 03 - Resultados da análise química do solo.....	35
Tabela 04 - Umidade (%) versus Potencial Matricial (atm) do solo.....	39
Tabela 05 - Valores encontrados para a Cobertura vegetal.....	51
Tabela 06 - Pesos (g) dos tratamentos secos ao ar.....	53
Tabela 07 - Pesos (g) obtidos no Tratamento OOO após secagem em estufa.....	55
Tabela 08 - Pesos (g) obtidos no Tratamento IOI após secagem em estufa.....	56
Tabela 09 - Pesos (g) obtidos no Tratamento IIO após secagem em estufa.....	57
Tabela 10 - Pesos (g) obtidos no Tratamento OIO após secagem em estufa.....	58
Tabela 11 - Pesos (g) obtidos no Tratamento III após secagem em estufa.....	59
Tabela 12 - Pesos (g) obtidos no Tratamento OOI após secagem em estufa.....	60
Tabela 13 - Pesos (g) obtidos no Tratamento OII após secagem em estufa.....	61
Tabela 14 - Pesos (g) obtidos no Tratamento IOO após secagem em estufa.....	62
Tabela 15 - Medidas tensiométricas (mmHg) obtidas no Lisímetro.....	63
Tabela 16 - Leituras obtidas nos Tensiômetros nas duas primeiras semanas.....	64
Tabela 17 - Diferenças tensiométricas observadas durante a 1a. Fase de desenvolvimento da cultura no Lisímetro.....	65
Tabela 18 - Diferenças tensiométricas observadas durante a 2a. Fase de desenvolvimento da cultura no Lisímetro.....	68
Tabela 19 - Diferenças tensiométricas observadas durante a 3a. Fase de desenvolvimento da cultura no Lisímetro.....	71

Tabela 20 - Médias dos valores de θ , leituras e umidades obtidas no Lisímetro.....	74
Tabela 21 - Peso (em gramas) das partes da cultura colhidas no Lisímetro.....	76
Tabela 22 - Produção dos Tratamentos, em gramas.....	77
Tabela 23 - Valores de produção nos blocos, em gramas, nas 1a. e 2a. Fases do desenvolvimento da cultura com irrigação (I) e sem irrigação (O).....	80
Tabela 24 - Valores de produção nos blocos, em gramas, nas 1a. e 3a. Fases do desenvolvimento da cultura com irrigação (I) e sem irrigação (O).....	82
Tabela 25 - Valores de produção nos blocos, em gramas, nas 2a. e 3a. Fases do desenvolvimento da cultura com irrigação (I) e sem irrigação (O).....	84
Tabela 26 - Valores de produção estimada, em Kg/ha.....	86
Tabela 27 - Aumentos ou diminuições nos rendimentos em função da irrigação em três Fases de desenvolvimento.....	87
Tabela 28 - Quantidade de água aplicada aplicada nos Tratamentos.....	89
Tabela 29 - Quantidade de água aplicada, Produção dos Tratamentos e a relação Produção/Ym.....	91
Tabela 30.a - Valores de Umidade (%) e Tensão Matricial (mmHg) obtidos na cultura instalada no Lisímetro.....	98
Tabela 30.b - Valores de Umidade (%) e Tensão Matricial (mmHg) obtidos na cultura instalada no Lisímetro.....	99
Tabela 31 - Alturas médias de chuva, em mm.....	100
Tabela 32 - Valores obtidos em laboratório para a determinação da curva leitura (Ohm) versus Umidade (%) solo.....	101

Lista de Gráficos

Gráfico 01 - Cobertura vegetal dos Tratamentos.....	52
Gráfico 02 - Produção (g) das parcelas dos Tratamentos.....	54
Gráfico 03 - Produção (g) das parcelas do Tratamento OOO.....	55
Gráfico 04 - Produção (g) das parcelas do Tratamento IOI.....	56
Gráfico 05 - Produção (g) das parcelas do Tratamento IOO.....	57
Gráfico 06 - Produção (g) das parcelas do Tratamento OIO.....	58
Gráfico 07 - Produção (g) das parcelas do Tratamento III.....	59
Gráfico 08 - Produção (g) das parcelas do Tratamento OOI.....	60
Gráfico 09 - Produção (g) das parcelas do Tratamento OII.....	61
Gráfico 10 - Produção (g) das parcelas do Tratamento IOO.....	62
Gráfico 11 - Valores tensiométricos (mmHg) em função da profundidade (cm).....	63
Gráfico 12 - Valores tensiométricos (mmHg) em função da profundidade (cm).....	64
Gráfico 13 - Diferenças tensiométricas observadas no Lisímetro durante a 1ª Fase à profundidade P ₁	66
Gráfico 14 - Diferenças tensiométricas observadas no Lisímetro durante a 1ª Fase à profundidade P ₂	66
Gráfico 15 - Diferenças tensiométricas observadas no Lisímetro durante a 1ª Fase à profundidade P ₃	67
Gráfico 16 - Diferenças tensiométricas observadas no Lisímetro durante a 1ª Fase à profundidade P ₄	67
Gráfico 17 - Diferenças tensiométricas observadas no Lisímetro durante a 2ª Fase à profundidade P ₁	69
Gráfico 18 - Diferenças tensiométricas observadas no Lisímetro durante a 2ª Fase à profundidade P ₂	69
Gráfico 19 - Diferenças tensiométricas observadas no Lisímetro durante a 2ª Fase à profundidade P ₃	70
Gráfico 20 - Diferenças tensiométricas observadas no Lisímetro durante a 2ª Fase à profundidade P ₄	70

Gráfico 21- Diferenças tensiométricas observadas no Lisímetro durante a 3ª Fase à profundidade P1.....	72
Gráfico 22 - Diferenças tensiométricas observadas no Lisímetro durante a 3ª Fase à profundidade P2.....	72
Gráfico 23 - Diferenças tensiométricas observadas no Lisímetro durante a 3ª Fase à profundidade P3.....	73
Gráfico 24 - Diferenças tensiométricas observadas no Lisímetro durante a 3ª Fase à profundidade P4.....	73
Gráfico 25 - Valores de leitura (em escala logarítmica) versus θ %.....	74
Gráfico 26 - Valores de leitura (em escala logarítmica) versus U %.....	75
Gráfico 27 - Valores de produção (g) obtidos no Lisímetro.....	77
Gráfico 28 - Produção total (g) dos Tratamentos.....	79
Gráfico 29a. - Produção com e sem irrigação na 1a. Fase de desenvolvimento.....	81
Gráfico 29b. - Produção com e sem irrigação na 2a. Fase de desenvolvimento.....	82
Gráfico 30a. - Produção com e sem irrigação na 1a. Fase de desenvolvimento.....	83
Gráfico 30b. - Produção com e sem irrigação na 3a. Fase de desenvolvimento.....	84
Gráfico 31a. - Produção com e sem irrigação na 2a. Fase de desenvolvimento.....	85
Gráfico 31b. - Produção com e sem irrigação na 3a. Fase de desenvolvimento.....	86
Gráfico 32 - Estimativa de produção dos Tratamentos.....	87
Gráfico 33 - Aumentos ou reduções na produção em função da irrigação nas três Fases de desenvolvimento.....	88
Gráfico 34 - Quantidades totais de água aplicada nos Tratamentos.....	90
Gráfico 35 - Quantidades de água aplicada nos Tratamentos durante as Fases de desenvolvimento da cultura.....	90
Gráfico 36 - Produção dos Tratamentos e quantidade de água aplicada (mm).....	92
Gráfico 37 - Produção dos Tratamentos (em escala logarítmica) e a relação Produção/ Y_m	92

Lista de Quadros

Quadro 1 - Importância ecológica da água.....	05
Quadro 2 - Resultado da Análise de Variância dos Tratamentos.....	78
Quadro 3 - Valores encontrados para a obtenção do cálculo do Experimento Fatorial 2 ³	80
Quadro 4 - Análise de Variância para a produção nos blocos nas 1a. e 2a. Fases de desenvolvimento da cultura com irrigação (I) e sem irrigação (O).....	81
Quadro 5 - Análise de Variância para a produção nos blocos nas 1a. e 3a. Fases de desenvolvimento da cultura com irrigação (I) e sem irrigação (O).....	83
Quadro 6 - Análise de Variância para a produção nos blocos nas 2a. e 3a. Fases de desenvolvimento da cultura com irrigação (I) e sem irrigação (O).....	85

Resumo:

Foi instalada numa área experimental localizada no CHREA-USP, no município de Itirapina, Estado de São Paulo, próximo ao reservatório do Broa, um experimento visando estudar as variações na produção de Feijão (*Phaseolus vulgaris* L., cv. carioca) através da irrigação por aspersão em três Fases do seu desenvolvimento. Para isto, montou-se um ensaio fatorial consistindo de oito (8) tratamentos com dez (10) repetições cada um.

A análise estatística dos dados encontrados sugerem uma grande importância da irrigação por aspersão nas três fases estudadas da cultura do feijão. Entretanto, o maior valor refere-se à irrigação na primeira e segunda fases de seu desenvolvimento. A terceira fase, apesar de responder à irrigação, não promoveu bom resultado. Assim, a irrigação nas três fases (III) produziu 1.566 Kg/ha, enquanto que a sem irrigação (OOO) foi de 718 Kg/ha.

A análise também mostrou pouca importância para as interações da irrigação entre as fases, sugerindo a existência de um efeito aditivo.

Abstract:

An experiment was installed in the Experimental Area located at CRHEA-USP, municipal district of Itirapina, State of São Paulo, near Broa reservoir.

The purpose of this experiment was to determine the variations in the development of the bean (*Phaseolus vulgaris* L., cv. carioca) through the sprinkler irrigation during three steps of this development. For this, it was assembled a factorial formulation consisted of eight treatments with ten repetition each one.

The Statistics analysis of the data achieved suggests special importance of sprinkler irrigation during the three steps of development of the bean. However, the main value is related during the irrigation in the first and second steps of the development. The third step, despite of responding to irrigation, did not provide good crop. Thus, the irrigation in three steps (III) provided a production of 1,566 Kg/ha, while without irrigation (OOO) it was about 718 Kg/ha.

The analysis also suggests less importance to interactions of the irrigation treatment among the steps, indicating the existence of an adding effect.

I. Introdução e Objetivos:

I.1. Introdução:

A irrigação é uma prática tecnológica que surgiu desde o nascimento da humanidade. Desde os primórdios da humanidade, o homem viu a necessidade de adicionar água às culturas visando minimizar os efeitos das variações climáticas nos rendimentos de suas plantações. Assim, tornou-se uma prática agrícola desde 5000 A.C. praticada ao longo das margens de rios, como o Nilo, após a construção de diques. O desenvolvimento de represas e de máquinas elevatórias de água permitiram a irrigação de solos muito acima dos níveis dos rios ou de suas áreas de inundação. Há vestígios destas estruturas no Egito, Babilônia, China, Fenícia, Índia e Estados Unidos.

Os sistemas modernos de irrigação são baseados em duas inovações da Engenharia: represamento da água e máquinas bombeadoras de água. O represamento de água consiste em se desviar o curso da corrente de água e armazená-la para o posterior uso; os elevadores de água foram desenvolvidos para elevar a água diretamente das correntes ou canais para irrigar áreas mais altas. Um exemplo clássico destes elevadores de água é o Parafuso de Arquimedes que consistia, basicamente, de um parafuso dentro de um cilindro de madeira inclinado mergulhado na corrente; a Roda Persa consistia de uma série de baldes acoplados a uma corrente e suportados por uma estrutura conveniente que verticalmente elevava a água.

Os sistemas de irrigação são basicamente de dois tipos: de superfície e os sistemas de distribuição através de condutos fechados. O último permite suprir água uniformemente e manter o solo com um nível de umidade desejado. Dentro deste sistema está o de Aspersão.

Os problemas associados com o uso (mau uso) da irrigação são o da acumulação de sal na superfície e as perdas de água por percolação. O primeiro fenômeno ocorre porque os sais dissolvidos em pequenas quantidades na água, após a evaporação ou consumo pelas plantas, acabam se acumulando na superfície; a água em excesso percola para o aquífero subterrâneo. Tanto um com o outro são causados por uma drenagem ineficiente ou manejo inadequado.

A irrigação é utilizada em todos os continentes. As áreas irrigadas no

mundo são de, aproximadamente, 250 milhões de ha, o que representa cerca de 17% de toda a terra agricultável. Adicionalmente, sabe-se que uma área irrigada pode produzir o dobro de alimentos que uma outra de mesma fertilidade, porém não irrigada.

Segundo a FAO (1997), o Brasil ocupa o 2º lugar na produção mundial de Feijão com uma produção de 3,0 milhões de toneladas, sendo apenas superado pela Índia (4,9 milhões de toneladas). Apesar de ser o 2º maior produtor do mundo, toda a produção está voltada para o mercado interno e, convém ressaltar que a produtividade do Feijão, em nosso país, manteve-se estável nos períodos de 1990 a 1994 com 2725 t/ha e de 1995 a 1998 com 2748 t/ha, observando-se uma variação de 0,5%, segundo o IBGE. Pode-se afirmar que o desempenho das lavouras voltadas para o mercado interno é atribuído à política econômica em vigor no país, uma vez que têm sido prejudicadas pela abertura econômica que estimula a entrada de produtos agrícolas estrangeiros (muitos deles subsidiados pelos seus governos), pela valorização do câmbio (R\$ / US\$) que barateia os produtos importados e pelas altas taxas de juros praticadas em nosso país; assim, enquanto nosso produto agrícola suporta uma taxa de juros próxima a 50% ao ano, importadores de produtos similares se beneficiam de créditos com taxas de 7% ao ano. Deste modo, esses fatores obrigam a redução do preço do produto no mercado e, em conseqüência, a produção é reduzida e a importação aumentada, gerando um maior desemprego rural.

Como todos os sistemas de irrigação a alta pressão utilizam de alguma forma de energia, geralmente a elétrica, em nosso país, o que acarreta um custo a mais na produção, o seu uso de maneira racional pode influir numa redução do custo de produção da cultura implicando numa maior competitividade no mercado global.

1.2. Objetivos:

Os objetivos deste trabalho são os seguintes:

- verificar em quais estádios ou fases de desenvolvimento, a irrigação assume seu papel mais importante na produção da cultura;
- observar o comportamento do dossel da cultura nos diversos tratamentos realizados;
- determinar a produção da cultura e o comportamento do perfil de umidade do solo no Lísímetro; e
- correlacionar as fases de irrigação com a produção obtida.

II. Revisão Bibliográfica:

Entende-se por irrigação a aplicação de água com o intuito de fornecer ao vegetal a quantidade requerida para o seu desenvolvimento satisfatório. Entretanto, não se trata apenas de fornecer água a cultura em qualquer quantidade nem em qualquer época. Assim, deve-se levar em consideração alguns parâmetros relacionados com o próprio vegetal quanto às suas necessidades hídricas nos seus estágios de desenvolvimento, como as características do solo, com a disponibilidade de água e energia elétrica, etc.

Para realizar um bom projeto de irrigação é preciso ter-se em mãos os dados climáticos da região para que se possa avaliar a disponibilidade de água para as plantas; as características do solo são importantes porque determinarão a quantidade de água que o solo poderá reter, evitando-se, assim, o desperdício tanto de energia quanto de água.

O dimensionamento do sistema de irrigação está relacionado com a parte hidráulica, pois uma vez determinada a quantidade de água necessária através do balanço hídrico, deve-se dimensionar todo o sistema que se constitui, basicamente, pela bomba hidráulica e pelas tubulações que conduzirão o líquido até os aspersores. Neste dimensionamento são levados em consideração altura geométrica da área a ser irrigada, o volume a ser bombeado, bem como as perdas de carga nos tubos e conexões.

Obviamente, a quantidade de água requerida pela cultura varia em função da época do ano e do estágio de desenvolvimento da cultura. Assim, nas épocas secas do ano, a quantidade requerida absoluta é maior em função da evapotranspiração; por outro lado, à medida que o vegetal se desenvolve vai aumentando sua área verde possibilitando uma redução na parcela de evaporação do balanço hídrico, o que significa uma redução no volume de água a ser usado. Esta redução neste volume pode significar uma boa economia dos insumos - água e energia elétrica - visto que há estudos para a implantação do sistema de pagamento pelo uso da água. Apesar da energia elétrica possuir uma tarifação menor para a área rural, sua economia pode representar um menor custo e, conseqüentemente, o produtor poderá ter um lucro maior.

Outro aspecto extremamente importante é o manejo da aduba-

ção em áreas irrigadas. Se a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) for baixa, a quantidade de adubo aplicado deverá ser reduzida por aplicação, porém com maior número de aplicações. Agindo-se desta maneira, além de não haver perda de fertilizante, ocorrerá uma proteção aos mananciais de água.

II.1. Importância da água para os vegetais:

II.1.1. Ecológica:

A importância ecológica da água na vida vegetal pode ser mostrada pelo quadro abaixo:

Quadro 1: Importância ecológica da água.



II.1.2. Fisiológica:

II.1.2.1. Internos:

- absorção de água.
- subida da seiva.
- transpiração.
- equilíbrio aquoso interno que reflete sobre o potencial aquoso, turgescência e na abertura dos estômatos.

II.1.2.2. Externos:

- tamanho das células e órgãos.
- peso seco.
- suculência.
- classes e quantidades de diversos compostos produzidos e acumulados.
- na proporção entre raízes e parte aérea.
- no crescimento vegetativo e reprodutivo.

O crescimento das plantas é controlado pelos coeficientes de divisão e crescimento das células, pelo abastecimento de compostos orgânicos e inorgânicos necessários para a síntese do protoplasma e novas paredes celulares. O desenvolvimento das células depende de pelo menos um grau mínimo de turgescência, alargamento do caule e folhas, processos que são controlados e limitados pelo déficit de água

A diminuição do conteúdo de água reduz o coeficiente de fotossíntese e, geralmente, também o da respiração.

Em resumo, a diminuição do conteúdo hídrico é acompanhado pela perda da turgescência, cessa o crescimento da célula, fecham-se os estômatos, reduzindo a fotossíntese e interferindo nos processos metabólicos básicos.

Tabela 1.: Porcentagem de água em alguns órgãos de vegetais.

Parte do vegetal	% de água	
	máxima	mínima
raízes	93,0 (cevada)	71,0 (girassol)
caules	88,0 (aspargos)	55,0 (pinus)
folhas	94,8 (alface)	77,0 (milho)
frutos	94,1 (tomate)	84,0 (maçã)
sementes	84,8 (milho tenro)	11,0 (milho seco)

Assim, pode-se dizer que a água, no vegetal, é usada como elemento essencial do protoplasma, como dissolvente orgânico e inorgânico, como reativo e na manutenção da turgescência.

II.1.3. Propriedades da água:

- valor específico elevado;
- usada como padrão de medição de calor;
- calor de evaporação e de fusão elevados:
 - de evaporação: 540 cal/g a 100° C .
 - de fusão: 80 cal/g.
- transparente à radiação visível;
- possui viscosidade e tensão superficial grandes devido às elevadas forças coesivas existentes nas moléculas.

Observa-se que o elevado valor do calor de evaporação da água possui efeito refrescante, reduzindo a temperatura do ambiente, e sua fusão provoca o aquecimento.

Pela sua transparência possibilita a fotossíntese das algas.

II.1.4. A água celular:

II.1.4.1. Déficit de pressão de difusão (DPD):

O DPD da água em uma célula ou em uma solução é definida como a quantidade em que sua pressão de difusão é mais baixa que a da água para a mesma temperatura e pressão atmosférica.

$$DPD = PO - PT \quad \triangleleft \text{ para a célula}$$

onde,

PO é a pressão osmótica e

PT é a pressão de turgescência dentro da célula.

II.1.4.2. Potencial da água celular:

Em condições de equilíbrio isotérmico, os fatores interinos nas relações da água celular podem ser resumidos através da equação:

$$\Psi_{\text{célula}} = \Psi_s + \Psi_p + \Psi_m$$

onde,

$\Psi_{\text{célula}}$ = potencial de água na célula,

Ψ_s = efeito dos solutos na solução da célula,

Ψ_p = expressa as forças de pressão que atuam sobre as células, geralmente positivas, e

Ψ_m = expressa o efeito dos colóides e superfícies que fixam a água na célula, geralmente negativos.

No xilema, vaso vegetal de transporte da seiva bruta, Ψ_p pode ser negativo durante a transpiração.

Salvo um tecido muito seco ou células que possuam pequenos vacúolos, Ψ_m é muito pequeno em relação a Ψ_p e Ψ_s , sendo que a equação anterior passa a ser escrita da seguinte forma:

$$\Psi_{\text{célula}} = \Psi_s + \Psi_p$$

Deste modo, quando $\Psi_s = \Psi_p$, o potencial hídrico da célula é zero, ou inversamente, quando p se reduz a zero, na plasmólise, $\Psi_{\text{célula}} = \Psi_s$.

II.1.4.3. Movimento da água em solutos e plantas:

A água e os solutos nas células encontram-se em movimento contínuo dentro das células, de uma célula para outra e de tecido a tecido.

As forças implicadas no movimento da água e dos solutos podem ser classificadas em: a) movimento passivo por difusão ou fluxo de massa e b) transporte ativo que depende de gasto de energia.

II.1.4.3.1. Movimento passivo:

Este tipo de movimento segue as Leis da Física onde o deslocamento ocorre segundo gradiente de energia ou potencial decrescentes; se os gradientes de potencial de pressão ou pressão hidrostática constituem-se na força propulsora, o movimento denomina-se de massivo; se de potencial total, denomina-se de difusão.

II.1.4.3.1.1. Fluxo massivo:

É produzido quando algum agente externo exerce uma força sobre a substância em movimento de maneira que as moléculas tendem a mover-se em massa numa mesma direção. Temos, por exemplo, o fluxo de água através da gravidade ou de bombeamento para uma região mais elevada. A água e os solutos movem-se através do xilema das plantas em forma de fluxo massivo quando por uma pressão hidrostática ou gradiente de potencial de pressão que se estendem desde as raízes até as folhas.

II.1.4.3.1.2. Difusão:

Trata-se de um movimento desordenado de moléculas, íons ou partículas coloidais causado pela sua própria energia cinética. Os exemplos mais conhecidos de difusão são o da evaporação dos líquidos, a osmose e a embebição. O tratamento matemático da difusão é feito através da Lei de Fick:

$$\frac{dm}{dt} = - D \cdot A \cdot \frac{dc}{dx}, \text{ onde}$$

$\frac{dm}{dt}$ = quantidade de substância movida por unidade de tempo;

D = coeficiente de difusão que varia de acordo com a substância;

A = área sobre a qual esta se produzindo a difusão e

$\frac{dc}{dx}$ = diferença de concentração (força impulsora) sobre a distância onde ela ocorre.

II.1.4.3.1.3. Movimento osmótico da água:

O movimento de água de uma célula para a outra pode ser definido como osmose. Assim, define-se a osmose como a difusão através de uma membrana causado por uma diferença de potencial químico.

II.2. O Solo:

II.2.1. Composição:

É constituído de quatro componentes principais em proporções variáveis: a mineral, a matéria orgânica morta, a solução do solo e o ar; os componentes mineral e a matéria orgânica morta constituem o que denominamos de matriz sólida. Além destes quatro elementos, o solo ainda contém muitos organismos vivos tais como, bactérias, fungos, protozoários, insetos e pequenos animais que afetam direta ou indiretamente a estrutura do solo e o desenvolvimento das plantas.

A propriedade mais importante da matriz sólida é a sua natureza fragmentada das partículas. Assim, o espaço poroso forma um sistema contínuo, porém geometricamente complexo que, em geral, constitui de 30 a 60 % de seu volume total. Este espaço pode estar totalmente cheio de água (solos saturados) ou de ar (solos secos). A capacidade de campo dos solos agrícolas está em torno de 40 a 60 % deste espaço poroso.

As características principais de um solo dependem principalmente de sua textura, da distribuição do tamanho das partículas minerais, da estrutura (organização das partículas), das classes dos minerais argilosos presentes e do tipo de íons intercambiáveis adsorvidos por eles e da quantidade de matéria orgânica presente.

II.2.2. A fração argilosa:

Esta fração proporciona a maior parte da superfície interna do solo e, por isso, controla suas propriedades mais importantes. Basicamente, há três tipos de minerais argilosos presentes em um solo: caolinita, montmorilonita e ilita.

A Caolinita é composta de lâminas de silício e alumínio na proporção de 1:1. Estas lâminas formam retículos rígidos de maneira que há pouca variação de volume em função da hidratação.

Na Montmorilonita, cuja proporção é de 2:1 (duas lâminas de silício para uma de alumínio), há grande aumento de volume quando ocorre a hidratação.

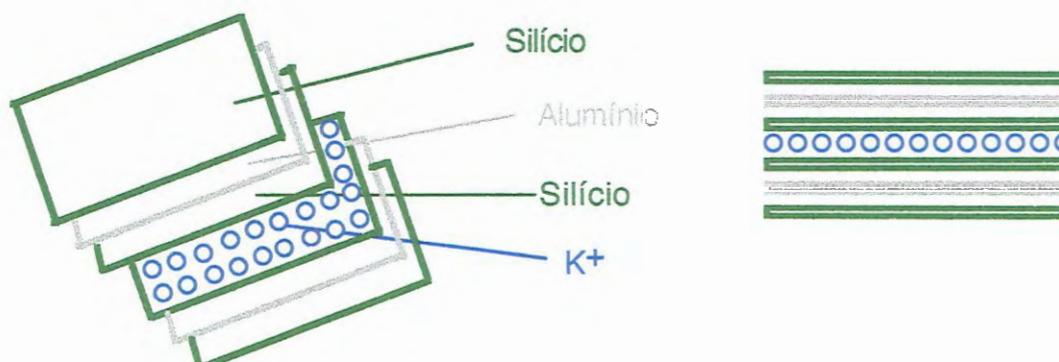


Figura 1. Diagrama esquemático de uma argila 2:1.

As micelas de argila possuem carga negativa causadas principalmente pela substituição dos íons Alumínio e Silício por outros cátions dentro do retículo cristalino. A intensidade desta carga negativa define a capacidade de troca catiônica de um solo.

A matéria orgânica coloidal possui propriedades semelhantes às das argilas.

II.2.3. A textura do solo:

A textura de um solo é determinada baseando-se nas quantidades de areia, silte e argila que predominam em sua fração sólida. Sua determinação é baseada no Triângulo da USDA:

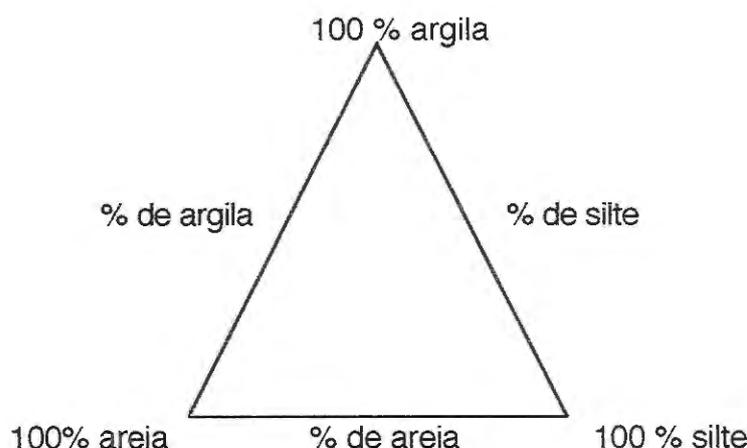


Figura 2: Croqui do Triângulo da USDA para determinação das classes texturais de um solo.

II.3. Retenção de água pelo solo:

O conteúdo hídrico de um solo é definido como a quantidade de água perdida após o aquecimento a 105° C. É expresso como o peso unitário da água pelo peso da amostra de solo.

II.3.1. Classificação da água no solo:

O potencial da água em um solo pode ser definido como composto por campos de força internos como, a matriz porosa, as forças osmóticas associadas à dissolução dos solutos e solução do solo, as forças externas como, a da gravidade, e também a qualquer componente de pressão associado ao solo.

$$\Psi_{\text{solo}} = \Psi_m + \Psi_p + \Psi_s + \Psi_g$$

II.3.2. A Capacidade de Campo:

Define-se a Capacidade de Campo de um solo como a quantidade de água remanescente após a saturação da amostra. Esta situação ocorre, geralmente, de 1 a 3 dias após a saturação. É, também, denominada de limite superior de armazenamento de água pelo solo.

II.3.3. Ponto de Murchamento Permanente:

É o limite mais baixo do armazenamento de água de um solo à partir do qual as plantas não conseguem sobreviver. Este limite é de aproximadamente (-) 15 bar.

II.4. Movimento de água em um solo:

II.4.1. Infiltração:

Trata-se do movimento descendente da água em um solo, sendo influenciado por diversos fatores: o conteúdo hídrico inicial, a permeabilidade superficial, as características internas do solo (como, por exemplo, o espaço poroso), o grau de expansão dos colóides e da matéria orgânica, a duração da precipitação e as respectivas temperaturas do solo e da água.

Assim, reduz-se a infiltração com o aumento com o aumento hídrico inicial do solo porque a diferença de potencial através da frente de molhamento é reduzida, além de que a hidratação e expansão das partículas de argila reduzem a área de entrada de água. A infiltração também é reduzida em solos que possuem zonas de baixa permeabilidade devido à compactação.

II.4.2. Movimento da água líquida dentro do solo:

II.4.2.1. Fluxo saturado:

Para este tipo de movimento da água num solo, utiliza-se a Lei de Darcy:

$$V = - K \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta Z}, \text{ onde}$$

V = velocidade do fluxo (cm/s),
 K = condutividade hidráulica (cm/s),
 ϕ = potencial hídrico total (cm de água) e
 Z = profundidade (cm).

II.4.2.2. Fluxo não saturado:

À medida que a infiltração vai ocorrendo, os poros maiores ficam totalmente cheios de água e contribuição devido à carga hidráulica ou componente gravitacional vai se tornando menos importante enquanto que o potencial matricial (Ψ_m) cresce em importância. O efeito da pressão é, geralmente, insignificante devidos aos espaços de ar e o potencial devido aos efeitos dos solutos não afeta o gradiente de potencial, exceto se ocorrer uma concentração anormal de algum sal no solo. Assim, pode-se também aplicar a Lei de Darcy considerando-se K como função do conteúdo hídrico.

II.4.2.3. Movimento do vapor de água:

Quando o potencial hídrico do solo estiver ao redor de (-) 15 bar, a continuidade da forma líquida é destituída e a água move-se na forma de vapor.

II.5. Equilíbrio da água em um solo:

A equação que envolve o equilíbrio hídrico em um solo pode ser mostrada da seguinte maneira:

$$\Delta A = P - (S + D + E)$$

onde:

ΔA = variação do armazenamento da água no solo,
 P = precipitação,
 S = escoamento superficial,
 D = drenagem profunda, e
 E = evaporação ou evapotranspiração.

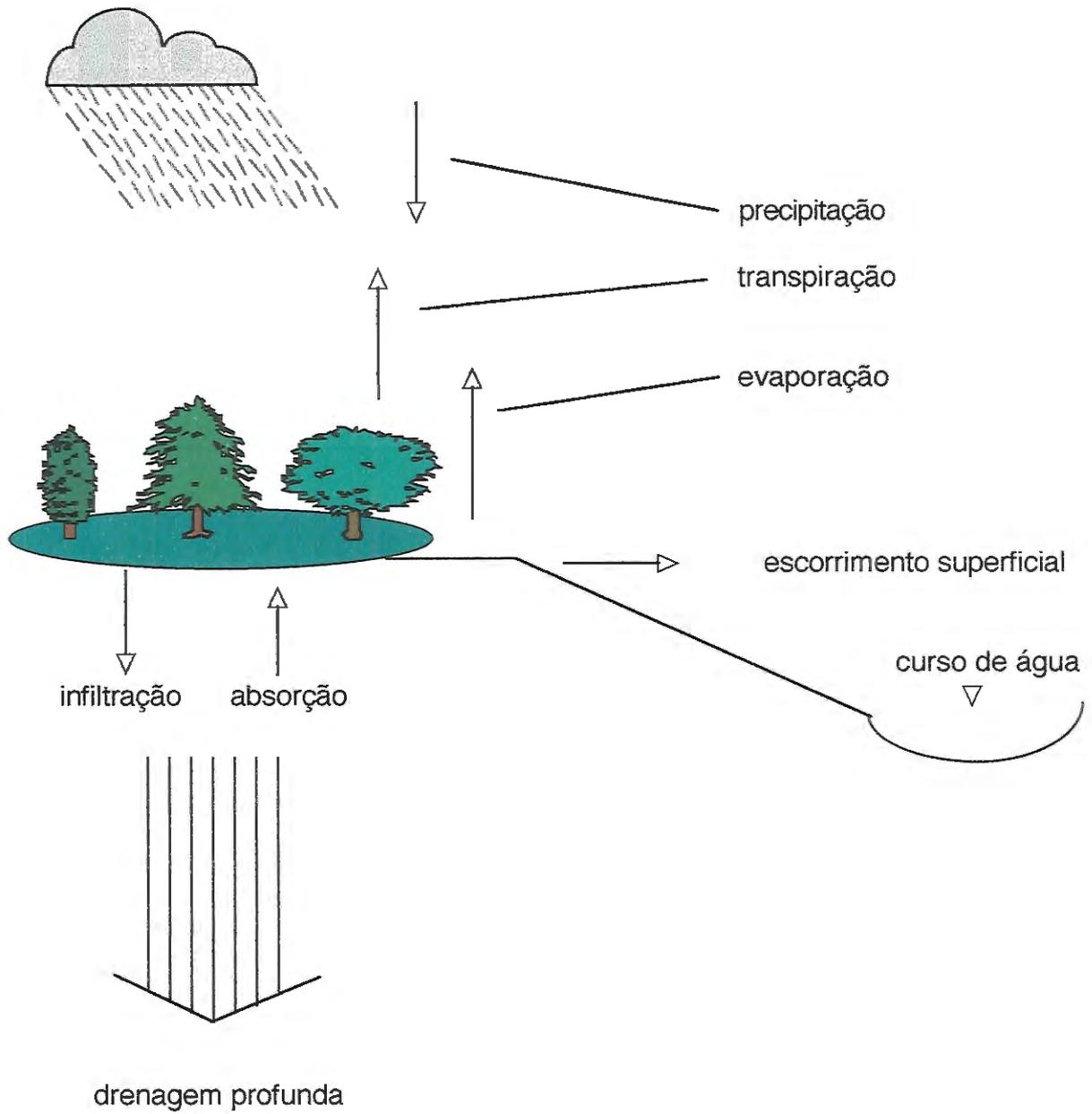


Figura 3 : Diagrama esquemático do Ciclo Hidrológico.

II.3. A umidade do solo:

O solo é um complexo de partículas minerais e orgânicas distribuídas em aglomerados que formam a sua estrutura, contendo ar, água e solutos, itens essenciais para o desenvolvimento dos vegetais. As partículas minerais formaram-se pela meteorização das rochas e têm como componentes principais, a sílica e silicatos, que incorporam outros elementos químicos como potássio, cálcio e fósforo.

A matéria orgânica origina-se de resíduos de plantas e animais, sendo que nos climas úmidos, o solo pode conter grande quantidade deste material; nos climas áridos, seu pequeno teor deve-se à escassa vida vegetal e animal. A matéria orgânica tem a função, muito importante, de fornecer nutrientes às plantas, alimento para os microorganismos, melhoramento e estabilização dos solos, além de estar relacionada com o aumento da capacidade de retenção de água no solo.

II.3.1. O comportamento da umidade no solo:

A chuva ou irrigação saturam a camada superficial do solo, removendo o ar e deixando os poros cheios de água. Esta se movimenta verticalmente sob a ação da gravidade e das forças capilares, sendo que este deslocamento continua mesmo com a suspensão do fornecimento hídrico. Entretanto, a drenagem não será completa pois ocorrerá uma força denominada de tensão superficial; assim, observa-se que a força necessária para a remoção desta água é inversamente proporcional ao diâmetro do tubo. Assim, aplicando-se uma pequena força, haverá a sucção da água apenas dos canais maiores. A textura e estrutura do solo, bem como o sistema radicular das plantas determinarão como a água será retirada do solo.

II.3.1.1. Determinação da umidade do solo:

Normalmente, o teor de umidade de um solo é definido em porcentagem com base em peso seco (Ps). Tomando-se o peso da amostra úmida (Pu) em quantidades significativas que podem variar de 10 a 200 g em mas-

sa (variação essa que é diretamente proporcional à precisão dos cálculos), subtrai-se dele o valor do peso seco que é obtido com a amostra submetida à estufa (105 a 110° C) até atingir peso constante.

$$a\% = \frac{P_u - P_s}{P_s} \cdot 100$$

Pode-se também expressar o teor de umidade com base em volume (θ), que é a relação entre o volume de água da amostra e o volume de solo considerado, ou seja:

$$\theta = \frac{P_a}{V_s} = \frac{\text{massa de água}}{\text{volume de solo}} \cdot 100$$

Como a densidade da água é igual a 1g/cm³, no sistema CGS, o numerador pode ser dado em volume, logo:

$$\theta = \frac{\text{volume de água}}{\text{volume de solo}} = V/V_s$$

Pode-se demonstrar que:

$$\theta = a\% \cdot D_a \text{ , onde:}$$

D_a = a densidade aparente do solo.

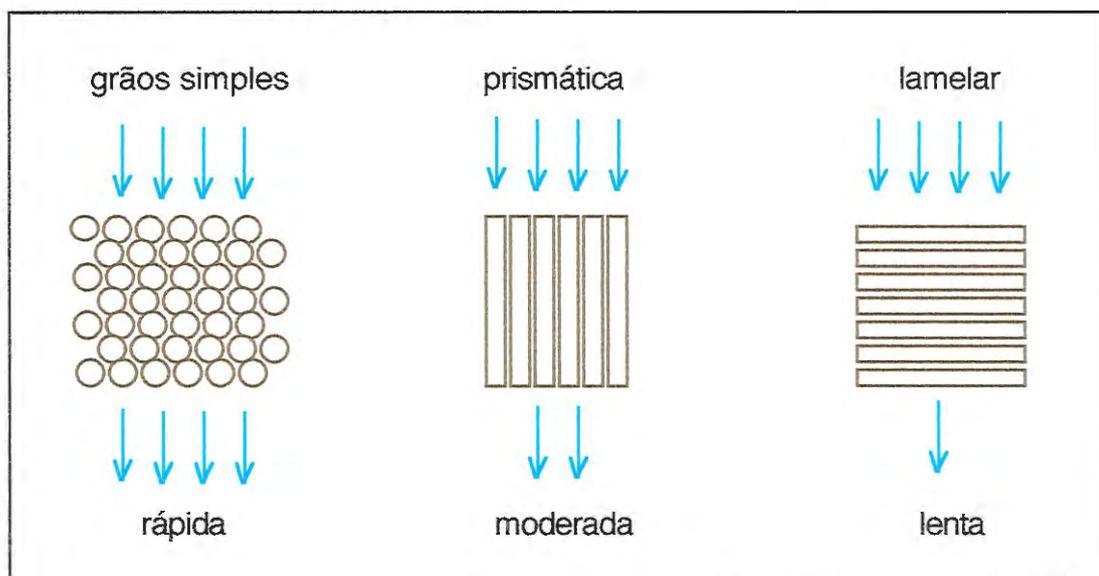


Figura 4: Tipos de estrutura do solo.

Conforme observa Moura (1982), o feijoeiro pode ser grandemente afetado pelos fatores climáticos e edáficos, sendo que a água exerce uma influência decisiva na produtividade, pois tanto o excesso quanto a falta podem prejudicar a fixação das vagens.

Gepts & Fernandes (1982) identificam dez etapas ontogenéticas relativas ao desenvolvimento do feijoeiro, sendo cinco delas altamente sensíveis ao deficit hídrico.

Analogamente, Garrido et al. (1979) constataram uma perda correspondente a 58 % quando a limitação hídrica ocorreu no período efetivo de formação das vagens.

Silva (1982) verificou que todos os componentes da produção foram afetados pela inundação do sistema radicular. Assim, no período do florescimento, o encharcamento por 2, 4 e 6 dias, acarretaram, respectivamente, reduções de produção correspondentes a 48%, 57% e 68%.

II.1.3. As características da umidade e suas implicações:

A água movimenta-se no solo entre dois pontos quaisquer apenas se houver uma força ou gradiente entre eles, sendo que o sentido do movimento vai do potencial negativo mais baixo para o mais alto. Num solo, os potenciais que atuam são divididos em:

- matricial que é devido às forças capilares;
- osmóticos, resultantes dos sais dissolvidos na água;
- o gravitacional e o potencial devidos à posição ocupada pela água em relação a um nível base.

Assim, verifica-se que o movimento da água para as raízes depende do potencial da planta que deverá ser menor que o da solução do solo, deste modo, os sais acumulados na região das raízes aumentam o potencial quando comparado com o do solo resultando num movimento da água para as plantas, ou inversamente, quanto mais concentrada for a solução do solo, o gradiente de potencial e a intensidade de movimento da água será menor.

Outro mecanismo responsável pela movimentação da água para as plantas é o da transpiração onde, à medida que a planta transpira, a turgescência das folhas diminuem, aumentando assim o poder de absorção de suas células; este fenômeno ocorre em cadeia, célula a célula até o solo. Deste modo,

a redução da transpiração, do crescimento celular e da planta cosntituem conseqüências da insuficiência hídrica. Outro fator relacionado com este fenômeno é devido à retenção de umidade pelas altas tensões que ocorrem no solo.

II.1.4. Métodos para se determinar a curva características de umidade:

Para se determinar a curva característica de umidade de um solo utiliza-se o Tensiômetro ou o Extrator de Membrana. No primeiro, uma amostra saturada de solo é colocada num funil de Büchner de vidro e placa porosa (conforme figura 2) sendo, então, submetido a uma sucção e, quando ocorrer o equilíbrio, ou seja, o nível da água se estabiliza, a amostra é removida e pesada; no segundo - o Extrator de Membrana - que possui um campo de ação bem maior que o anterior, ou seja, enquanto o primeiro atua entre 0 a 0,8 bar, este entre 0 e 100 bar.

Neste, as amostras de solo saturadas são colocadas no extrator sobre uma membrana permeável à água e impermeável ao ar (conforme figura abaixo); assim, o solo saturado é submetido a uma pressão de ar e quando cessar a saída de água, a pressão do ar será equivalente à da sucção do solo.

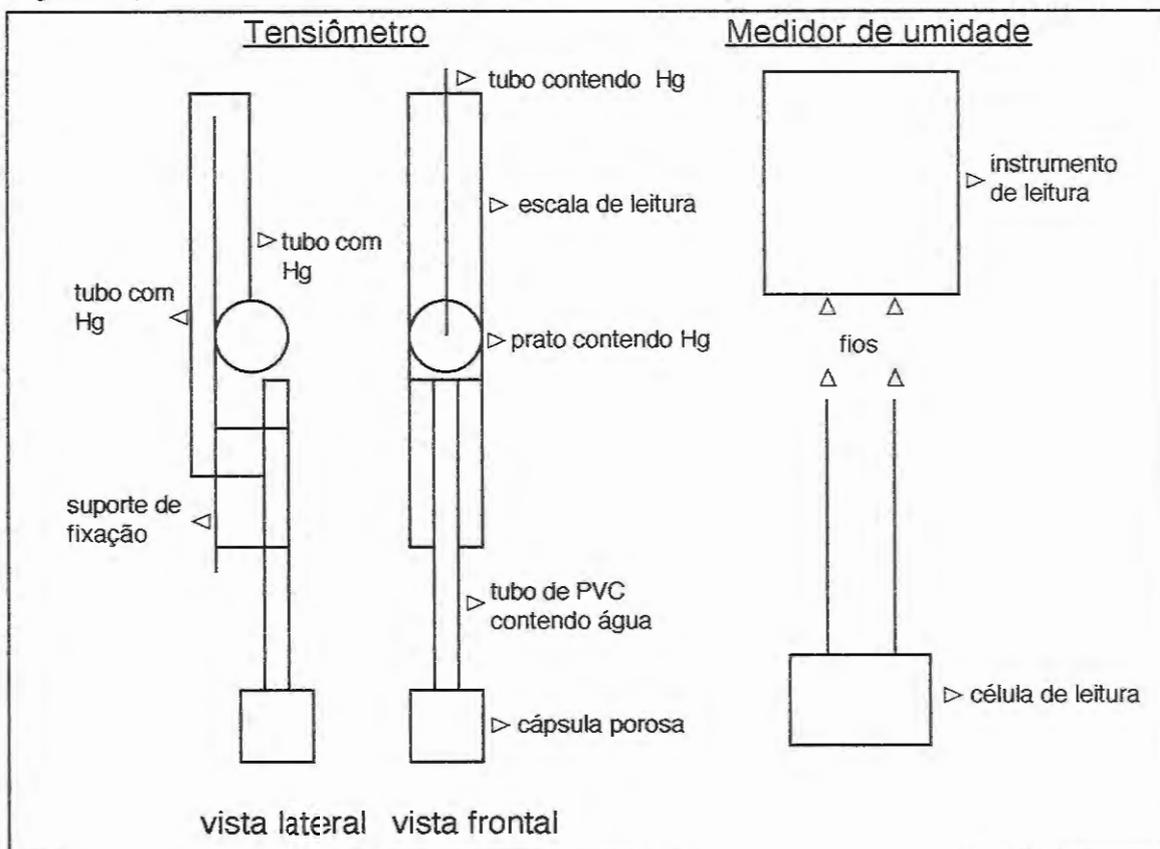


Figura 5. Medidores de umidade do solo.

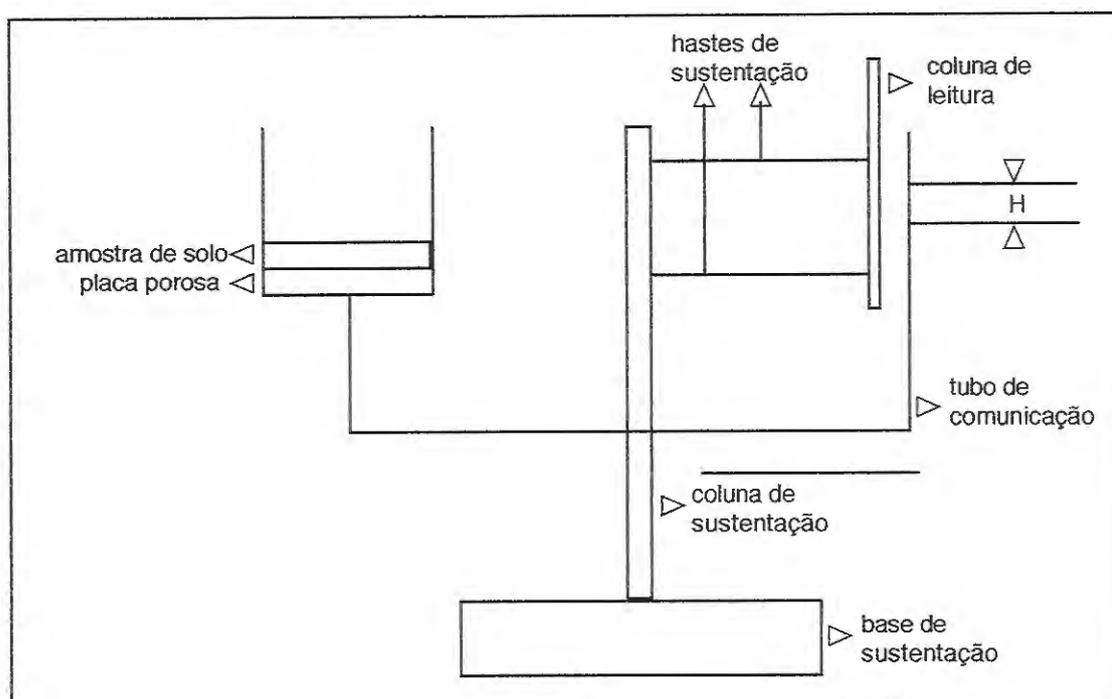


Figura 6: Extrator de Membrana.

II.1.5. A Capacidade de Campo:

A Capacidade de Campo é a máxima quantidade de água que um solo pode reter. Para a sua determinação, adiciona-se água ao solo até próximo à saturação, deixando-o drenar por dois ou três dias. A seguir, tiram-se amostras do perfil e determina-se a porcentagem de umidade pela secagem, em estufa, da amostra em mantida a uma temperatura de 105.°C. Sua determinação é fornecida pela seguinte equação:

$$\text{Capacidade de Campo (CC)} = \frac{\text{perda de peso}}{\text{peso seco final}} \cdot 100$$

onde:

a perda de peso = peso inicial - peso final.

II.1.6. O Ponto de Murchamento Permanente:

O Ponto de Murchamento Permanente é aquele corresponden-

te à umidade remanescente das amostras de solo submetidas à pressão de 15 bares. Há dois métodos para se determinar este ponto: o rápido, onde se utiliza o extrator de membrana, sendo considerado o ponto correspondente à umidade remanescente nas amostras submetidas à pressão de 15 bares; o outro, é semear as plantas em vaso e deixá-las se desenvolver até apresentarem de 3 a 4 pares de folhas e, então, suspende-se a irrigação e, quando apresentarem sintomas de murchamento são levadas para uma câmara de saturação onde permanecem por um certo período (uma noite) e, se os sintomas de murchamento desaparecerem significa que o Ponto de Murchamento Permanente não ocorreu, sendo este procedimento repetido até não se recuperarem mais, determinando-se assim esta porcentagem de umidade, através de pesagens das amostras de solo.

11.2. O balanço de água:

O estudo da umidade disponível para uma cultura é realizado através do balanço de água que representa a soma de todas as quantidades de água que entram e que saem de um volume de solo em um determinado intervalo de tempo. Este balanço no sistema segue a Lei da Conservação da Massa, sendo que está intimamente ligado ao balanço de Energia.

Assim, um balanço de água na zona radicular requer a determinação sistemática das entradas e saídas de água de um solo. As entradas são representadas pela precipitação e irrigação, enquanto que as saídas são representadas pela evapotranspiração, a percolação e o escoamento superficial.

A equação geral para a estimativa de um balanço de água num solo ou quantidade de água contida na zona radicular, num intervalo Δt é:

$$\Delta a_j = P_j + I_j - ETa_j - PP_j - ES_j ,$$

onde, Δa é a variação de umidade, P é a precipitação, I é a irrigação, ETa é a evapotranspiração atual, PP é a percolação profunda e ES é o escoamento superficial. A variação de umidade de um solo Δa_j a uma profundidade L é
 $\Delta a = (\theta_{t_j} - \theta_{t_{j-1}}) \cdot L$, onde θ_{t_j} e $\theta_{t_{j-1}}$ representam a média num perfil de solo de comprimento L nos

tempos t_i e t_{i-1} .

No planejamento e programação de uma irrigação, usa-se o seguinte modelo:

$$D_i = D_{i-1} + ET_i - P_i - IR_i \pm DR_i ,$$

onde, D_i é a depleção de água no solo no dia i , D_{i-1} é a depleção no dia $i-1$, ET é a evapotranspiração, P é a altura da precipitação efetiva, IR_i é a lâmina líquida de irrigação e DR_i é a perda devido à drenagem profunda (com sinal positivo) ou fluxo ascendente (com sinal negativo).

Nos EUA, um modelo de programação largamente usado pelos serviços de irrigação da USDA é a equação geral do Balanço Hídrico modificada por JENSEN et al. (1971):

$$D = \sum_{i=1}^N (ET - P_e - IR + WD)_i ,$$

onde D é a depleção de água na zona radicular, em mm, P_e é a precipitação efetiva, IR é a irrigação líquida, WD é a drenagem profunda ou fluxo ascendente de água para zona radicular e i é o intervalo de tempo considerado.

STEGMAN et al. (1983) recomendam uma equação modificada da anterior:

$$D_i = D_{i-1} + (ET - P_e - IR)_i ,$$

onde os termos apresentados possuem o mesmo significado dos anteriores.

KINCAID & HEERMANN (1974) apresentaram um modelo para a programação da irrigação no tempo que, além de incluir a equação do balanço de água, usa também o coeficiente cultural (K_c):

$$D_{p_i} = D_{p_{i-1}} + E_{Tp} \cdot K_c + E_{Tr} - R_i ,$$

onde, D_{p_i} e $D_{p_{i-1}}$ são a depleção da umidade do solo nos dias i e $i-1$, E_{Tp} é evapotranspiração potencial, K_c é o coeficiente cultural determinado pelo estágio de crescimento do vegetal, E_{Tr} é a evaporação adicional da água no solo após a irrigação e precipitação, e R_i é a soma da irrigação e precipitação para o dia i . O termo E_{Tr} é determinado pela seguinte equação:

$$E_{Tr} = K_r \cdot (0,9 - K_c) \cdot E_{Tp},$$

onde K_r assume valores de 0,8 , 0,5 , 0,3 e 0,0 , respectivamente, para o primeiro, segundo , terceiro e quarto dias seguintes à irrigação ou precipitação.

No Brasil, muitos autores usam a equação geral do balanço de água no solo com ou sem alterações para a determinação da evapotranspiração atual de uma cultura. Assim, BERNARDO & HILL (1978) desenvolveram um método para a determinação da irrigação complementar nos seguintes termos:

$$DSW (i,j) = DSW (i, j-1) - K \cdot E_{Tp} + DRF ,$$

onde, $DSW (i,j)$ e $DSW (i, j-1)$ representam a água disponível no solo i nos dias j e $j-1$, K é um coeficiente de conversão da evapotranspiração poten-

cial ETP e DRF é a precipitação dependente para um solo i .

II.3. A Função de Produção:

A aplicação da técnica de maximização econômica deve levar não só em consideração o fator produção, mas um conhecimento relacionado entre a produtividade e o uso da água pela planta. Estas informações são geralmente obtidas da experimentação em campo. Assim, a função de produção será incompleta se não levar-se em consideração os aspectos água-planta.

Vários pesquisadores desenvolveram trabalhos para a determinação da relação entre água e produtividade das culturas. Desde o início deste século, autores como BRIGGS & SHANTZ (1913), HISSELBACH (1916) e DILMAN (1931) fizeram experimentos envolvendo a evaporação da água pelo solo e a transpiração das plantas. De WIT (1958), analisando estes trabalhos concluiu que a relação entre a transpiração das plantas e a necessidade de água depende das diferentes culturas e independe relativamente da fertilidade do solo, condições de clima e tamanho das plantas.

Tais observações levaram-no a montar a seguinte equação:

$$Y = m \cdot T / E_o ,$$

onde Y é a produção de matéria seca, T é a transpiração, m é um fator que depende da cultura (sendo variável de ano para ano) e E_o é a evaporação da água em uma superfície livre.

Há modelos fisiológicos que levam em consideração os aspectos prejudiciais durante as fases de desenvolvimento da cultura em três principais categorias: morfológica, fisiológica e ontogênica. Notou-se que uma importante consequência em função do déficit de água é a redução da área foliar.

HSIAO et all. (1976) classificaram a severidade do déficit de água em dois níveis: muito fraco implicando no fechamento dos estômatos e inibindo a fotossíntese a ponto de afetar outros parâmetros como a assimilação total de gás carbônico, e severo cujo resultado é a queda do potencial de água na planta

abaixo do nível limite e permitindo o fechamento dos estômatos e reduzindo de forma permanente a assimilação de CO₂. Este mesmo autor, em 1973, observou, também que o déficit de água é mais crítico nas fases de crescimento, polinização e fixação dos frutos.

GARRIDO et al. (1979) constatou uma perda correspondente a 58% na produção em razão da limitação hídrica ter ocorrido no período efetivo da formação das vagens.

Os modelos semi-empíricos, usualmente, são caracterizados pela relação entre a produtividade da cultura e o teor ou tensão de umidade no solo, a transpiração ou a evapotranspiração e a quantidade de água aplicada pela irrigação. Segundo GRIMES et al. (1970), o efeito do déficit de água na produtividade é função da intensidade e duração do mesmo, do estágio de desenvolvimento da planta submetida a este déficit e da própria natureza das plantas.

STEGMAN et al. (1980) , analisando a relação entre produtividade e evapotranspiração em diferentes períodos de crescimento do milho, verificou-se que a produtividade máxima geralmente é obtida com uma irrigação em todo o seu ciclo ou no estágio de maturação onde se encontrou a evapotranspiração máxima.

STEWART et al. (1976), analisando modelos baseados na produtividade em função da evapotranspiração ou transpiração, evidenciou no milho, sorgo, feijão e alfafa que, quando a redução sequencial da evapotranspiração é ótima, a relação entre a redução da produtividade e o déficit de evapotranspiração sazonal é bem representada por uma reta. Estes mesmos autores, em 1977, formularam um modelo de função de produção (S) como sendo:

$$1 - Y_a / Y_b = \beta \cdot (1 - E_{Ta} / E_{Tm}) ,$$

onde, Y_a e Y_b são as produtividades atual e máxima, E_{Ta} e E_{Tm} são a evapotranspiração atual e máxima, e β é um fator de sensibilidade da cultura ao déficit de água ou taxa de redução da produtividade representada pelo declive da reta.

DOORENBOS & KASSAM (1979), utilizaram este mesmo modelo para quantificar a relação entre produtividade e água sob a seguinte forma:

$$1 - Y_a / Y_m = k_y \cdot (1 - ET_a / ET_m),$$

onde mudou-se apenas o índice b para m e β por k_y .

BLANK (1975) desenvolveu um modelo denominado de aditivo e que é representado pela equação abaixo:

$$Y_a = \sum_{i=1}^n A_j \cdot \frac{(ET_a)_i}{(ET_m)_i},$$

onde A_j é um fator que representa a sensibilidade da cultura.

A_j origina-se da seguinte relação:

$$\sum_{i=1}^n A_j = 1,$$

onde n representa o número de estágios de desenvolvimento considerados em todo o ciclo da cultura.

JENSEN (1968) desenvolveu o primeiro modelo multiplicativo para simular a função de produção. Dividiu o ciclo da cultura em diferentes estágios com a evapotranspiração tendo em cada estágio um único efeito da produtividade. Assim, tem-se:

$$Y_a / Y_m = \prod_{i=1}^n (ET_a / ET_m)_i,$$

onde Ω_i é o índice de sensibilidade da cultura ao déficit de água no estágio i de crescimento.

II.4. Efeitos da irrigação na cultura do feijoeiro:

O feijoeiro é uma planta muito sensível à falta de água em todas as suas fases de desenvolvimento. Diversos autores como MAGALHÃES e MILLAR (1978), GARRIDO et al. (1979) observaram que a falta de água na cultura acarreta grandes prejuízos, assim, se faltar água após o plantio, a germinação será prejudicada e o ciclo atrasado, se na época do desenvolvimento vegetativo, as plantas não se desenvolveram bem ocorrendo a competição com as ervas daninhas e, por fim, se faltar na época do florescimento e desenvolvimento das vagens, haverá queda das flores e pouco crescimento das vagens.

BLACK et al. (1970) utilizando-se de lisímetro, determinou que durante os 62 dias iniciais da cultura do feijoeiro, foram consumidos 170 mm de água com uma evapotranspiração média de 2,74 mm/dia.

REICHARDT et al. (1974) estudando o balanço hídrico da cultura do feijoeiro, determinou uma evapotranspiração média para os 48 dias de ciclo estudados de 3,45 mm/dia num total de 165 mm.

LUCHIARI (1978) efetuando um balanço hídrico na cultura do feijoeiro em Piracicaba (SP), determinou uma evapotranspiração média de 3,06 mm/dia e um coeficiente cultural (K_c) de 0,88.

II.5. Efeitos da adubação e da Calagem na cultura do Feijoeiro:

A adubação, quando baseada nas necessidades da cultura e no tipo de solo proporcionam um maior aproveitamento do adubo inorgânico, evitando-se assim o lixiviamento com a conseqüente poluição das águas subterrâneas, bem como um melhor desenvolvimento da cultura.

A toxidez do Alumínio ocasiona alterações acentuadas no desenvolvimento, crescimento e funcionamento do sistema radicular, sendo este efeito aumentado em condições de pH do solo com valores inferiores a 5,5. A neutralização deste elemento tóxico às plantas é realizada através da adição de calcáreo,

preferencialmente o dolomítico, pois além de corrigir a acidez do solo fornece o elemento Magnésio. A faixa recomendada de pH para a cultura está entre 5,7 e 6,5, tolerando valores variáveis entre 4,2 e 8,7, segundo recomenda diversos autores. Em solos com pH inferior a 5,7, verifica-se a diminuição dos nódulos radiculares mesmo com a aplicação de Molibdênio.

Outro fator extremamente importante para o bom desenvolvimento da cultura é a quantidade elevada de matéria orgânica, segundo MIYASAKA et al (1967). Além de proporcionar estes efeitos, a matéria orgânica propicia melhoras estruturais no solo.

III. Materiais e Métodos:

III.1. Características da planta:

O Feijoeiro comum é uma planta sazonal, herbácea, pubescente, com folhas trifoliadas e ciclo vegetativo entre 70 e 120 dias, podendo apresentar, em termos ontogenéticos, dois tipos de hábitos de crescimento: o determinado que se caracteriza pela presença de inflorescência terminal no talo principal e b) crescimento indeterminado caracterizado pela continuidade da emissão de ramos vegetativos (crescimento) mesmo após a floração. Seu sistema radicular apresenta natureza pivotante e distribuição superficial (80 a 90% das raízes encontram-se localizadas nos primeiros 20 cm do solo), embora possa atingir uma profundidade de 1 m. Alguns fatores relacionados com as características do solo, tais como estrutura, porosidade, capacidade de retenção de água, temperatura, fertilidade, acidez, concentração de alumínio e manganês, presença de matéria orgânica e camadas de compactação de sub-superfície, podem influenciar significativamente na conformação, tamanho e distribuição do sistema radicular.

O feijoeiro comum, por ser uma planta "C₃", apresenta consideráveis limitações quando cultivada em regiões tropicais e subtropicais, principalmente relacionadas com os processos de fotossíntese, respiração, aproveitamento de água, competitividade, saturação lumínica e fotorrespiração.

O desenvolvimento do feijoeiro compreende, basicamente, duas fases distintas e sucessivas, denominadas de Fase Vegetativa e Fase Reprodutiva, diferenciadas, entre si, pela manifestação de diferentes eventos bioquímicos, morfológicos e fisiológicos. A Fase Vegetativa tem seu início caracterizado pelo desdobramento das folhas primárias prosseguindo até o aparecimento dos primeiros botões florais; tal fase é favorecida pela ocorrência de temperaturas moderadamente elevadas, adequada disponibilidade hídrica e abundante luminosidade. A Fase Reprodutiva se transcorre desde a emissão dos botões florais até o pleno enchimento das vagens e maturação dos grãos, sendo notório a sensibilidade a déficits ou excessos de umidade.

Para este experimento dividiu-se todo o ciclo da cultura em três fases: a primeira, consistiu da germinação das sementes até o aparecimento do botão floral; a segunda, do botão floral até o surgimento das vagens e o terceira, do início da formação das vagens até a maturação das mesmas. Esquemáticamente, temos:

		Fases		
		1	2	3
T r a t a m e n t o s	000			
	00I			
	0II			
	0IO			
	I00			
	I0I			
	IIO			
	III			

Figura 7: Diagrama esquemático dos tratamentos com suas respectivas fases de irrigação.

Ainda, independente da tecnologia aplicada, o período de tempo e as condições climáticas em que a cultura permanece no campo definem-se como preponderantes fatores de produção. Dentre os elementos de clima conhecidos, a temperatura e a precipitação pluvial tem sido os mais utilizados para se avaliar a viabilidade e a estação para a implantação das mais diversas culturas.

A água é definida como um dos mais importantes elementos na seleção do tipo de vegetação observada em uma região. Assim, as deficiências hídricas iniciais podem afetar sensivelmente o processo germinativo comprometendo, desta forma, o estabelecimento da cultura, e sua deficiência posterior poderá paralisar o crescimento, bem como retardar o desenvolvimento reprodutivo da planta. Deste modo, o feijoeiro comum é considerado uma espécie pouco tolerante à seca em decorrência de suas limitações anátomo-fisiológicas e pela baixa capacidade geral de recuperação às condições de estresse hídrico. Sendo assim, a cultura exige um mínimo de 300 mm de precipitação para que produza razoavelmente, sem a necessidade de irrigação, apesar de tal limitação encontrar-se mais diretamente relacionada com a distribuição total das chuvas ocorridas no período. Um estresse hídrico próximo ou anterior ao florescimento pode ocasionar severa redução do crescimento vegetativo, limitando a produção total, assim, tais períodos de uma semana de duração por ocasião da floração poderão reduzir a produção em torno de 48%.

III.2. As medidas de evapotranspiração:

A evapotranspiração de uma cultura num determinado estágio de seu desenvolvimento é dado pela expressão:

$$ET_C = ET_0 \cdot K_C$$

onde,

ET_C é a evapotranspiração da cultura,

ET_0 é a evapotranspiração de referência e

K_C é o coeficiente cultural que depende do estágio de desenvolvimento do vegetal.

O coeficiente K_C pode ser estimado através da seguinte expressão matemática:

$$K_C = K_{cb} \cdot K_a + K_s$$

onde,

K_{cb} é o coeficiente basal da cultura,

K_a é um coeficiente que depende da umidade do solo e

K_s é um coeficiente que avalia a evaporação da água no solo logo após uma chuva ou irrigação.

O coeficiente basal da cultura - K_{cb} - pode ser obtido à partir de:

$$K_{cb} = (T_p / ET_0) / K_a$$

onde,

T_p é o consumo de água da cultura em questão obtido no lisímetro de nível constante (mm/dia),

ET_0 é a evapotranspiração de referência calculada pela fórmula de Penmann (mm/dia) e

K_a é um coeficiente que depende da umidade do solo (q).

O coeficiente K_s , que depende da umidade do solo, só deve ser considerado até o terceiro após a irrigação porque após este período a evaporação da água no solo não ocorrerá mais.

III.3. Capacidade de armazenamento de água de um solo:

A capacidade de armazenamento de água de um solo próximo às raízes pode ser obtido pela seguinte equação:

$$CAD = (CC - PMP) \cdot RD \cdot 1000$$

onde,

CC = capacidade de campo, em (cm^3/cm^3),

PMP = ponto de murchamento permanente, em (cm^3/cm^3) e

RD = profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (m).

A profundidade do sistema radicular cresce linearmente em função do tempo, à partir de uma profundidade mínima especificada (profundidade de desenvolvimento) até uma profundidade máxima coincidente à data de cobertura vegetal efetiva do terreno pela cultura.

III.4. A evapotranspiração de referência (ET_0):

A determinação da evapotranspiração de referência (ET_0) é baseada unicamente nas culturas de alfafa e grama, e será determinada pela Equação de Penmann modificada. Esta equação, de acordo com Burman et alli (1983), é a que melhor fornece resultados coerentes com um nível de precisão adequado e é expressa como:

$$ET_0 = (\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}) \cdot (R_n + G) + (\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}) \cdot 0,27 \cdot W_f (e_a - e_d),$$

onde

ET_0 = evapotransp. de referência ($\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{dia}$),

Δ = declividade da curva de pressão de vapor versus temperatura ($\text{mb}/^\circ\text{C}$),

γ = constante psicrométrica ($\text{mb}/^\circ\text{C}$),

R_n = radiação líquida ($\text{cal} / \text{cm}^2 \cdot \text{dia}$),

G = fluxo de calor do solo para a superfície, em $\text{cal} / \text{cm}^2 \cdot \text{dia}$,

W_f é uma função adimensional do vento,

$(e_a - e_d)$ é o déficit diário de pressão de vapor, em mb, e

0,27 é uma constante de proporcionalidade.

III.5. Cultivo no Lisímetro:

Plantou-se Lisímetro localizado próximo à Estação Meteorológica do CRHEA-USP, com solo retirado do próprio campo experimental devidamente

te corrigido e adubado, 04 linhas da cultura de feijão sob as mesmas condições da área experimental porém deixando este solo próximo à capacidade de campo com o intuito de se obter o valor de Y_m (rendimento máximo). Em cada linha da cultura instalou-se, de um lado, tensiômetro a diferentes profundidades (10, 20, 35 e 50 cm) e, de outro lado, células medidoras de umidade às mesmas profundidades com a finalidade de se observar a relação entre a tensão de umidade do solo - medida diretamente pelos tensiômetros - e a porcentagem de umidade do solo correspondente.

Define-se rendimento máximo (Y_m) aquele se obtém numa condição onde não haja limitação de alguns fatores como água, nutrientes, pragas e doenças durante todo o período até o seu amadurecimento.

III.5.1.Determinação da curva de calibração do aparelho:

Para a determinação da curva de calibração do aparelho medidor de umidade SOILTEST, modelo MC - 305 B, nº série 9246, montou-se em laboratório uma bateria de testes que consistiu basicamente das seguintes etapas:

- confecção de 06 cilindros de PVC DE 4" de diâmetro por 12 cm de altura,
- separação do solo através de duas peneiras : a 1ª de malha de 4,76 mm e a 2ª de 1,19 mm,
- secagem, do solo, em estufa a 110° C, por 24 h,
- enchimento dos cilindros com um volume conhecido e determinado,
- adição de volumes de água determinados por θ ,
- colocação da células de leitura em cada um dos cilindros para a posterior leitura no dia seguinte,
- proteção da amostras com uma película plástica para se evitar a evaporação,
- leitura dos valores de resistência elétrica (Ω) obtidos pelo aparelho analógico,
- colocação das amostras para secagem em estufa por 24 h, a 110° C, e
- pesagem das amostras para a obtenção da umidade.

III.5.2. Determinação dos volumes de água pelo índice θ :

Baseado na equação abaixo calculou-se os volumes de água correspondentes para cada valor de θ , sabendo-se que o volume padrão de solo foi de 0,843 l. Assim, têm-se:

$$\theta = \frac{V_a}{V_s}$$

onde:

V_a = volume de água

V_s = volume de solo.

Tabela 2: Valores de θ e volumes de água correspondentes.

θ (%)	2,50	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00
V_a (ml)	21,00	42,00	44,10	46,20	48,30	50,40	52,50	54,60	57,60	58,80
θ (%)	7,50	10,00	12,50	15,00	17,50	20,00	22,50	25,00	27,50	
V_a (ml)	63,00	84,00	105,00	126,00	147,00	168,00	189,00	210,00	231,00	

III.5. Localização Geográfica:

Este experimento foi realizado no Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da USP (CRHEA - USP) localizado às margens da Represa do Broa, no município de Itirapina (SP) que apresenta as seguintes características geográficas:

- Latitude: 22° 01' 22" S.
- Longitude: 43° 57' 38" W.
- Altitude: 733 m.

III.3. Procedimentos iniciais:

III.3.1. Avaliação das características da área:

III.2.1.1. Topográfica:

Inicialmente fez-se um levantamento plani-altimétrico da área em questão e conclui-se que haveria necessidade de curvas de nível em razão da média declividade (de 8 a 10%). Estas curvas foram elaboradas de acordo com a recomendação do IAC levando-se em consideração as características físicas como textura e estrutura, bem como o tipo de cobertura vegetal que iria ser implantada no local.

III.2.1.2. Fertilidade:

Para a determinação do estado químico do solo procedeu-se de maneira análoga à citada no item III.4.2. cujo resultado recomendou a aplicação de calcário dolomítico na proporção de 2.000 Kg/ha. A aplicação foi efetuada através de um aplicador mecanizado de calcário.

III.3.2. Avaliação das necessidades nutricionais e de água da cultura:

III.3.2.1. Necessidades Nutricionais:

As necessidades da cultura foram baseadas em informações técnicas editadas pelo IAC e baseadas no resultado na análise de solo descrita no item III.4.2.

III.3.2.2. Necessidades hídricas:

As necessidades hídricas foram determinadas através do levantamento mostrado no item III.7.

III.4. Procedimentos Agrícolas:

III.4.1. Preparo do solo:

O preparo do solo consistiu, basicamente, de uma grada

gem pesada cruzada no terreno da área experimental com o intuito de destorroar o terreno e eliminar as touceiras de capim que ali estavam e de outra leve para nivelá-lo.

III.4.2. Adubação:

As amostras de de solo da área experimental foram coletadas pelo sistema de amostras compostas, ou seja, percorre-se a área experimental em zig-zag coletando amostras simples que, por fim, são transformadas em uma única amostra. Convém esclarecer que toda a área experimental foi dividida em três setores, a saber: a) setor 1, composto pelas amostras retiradas na parte mais baixa do terreno, b) setor 2, pelas amostras obtidas na parte intermediária e c) setor 3, pelas obtidas na parte mais alta.

Nestas amostras assim obtidas procedeu as análises químicas convencionais para a determinação dos elementos nelas contidos:

Tabela 3 : Resultados da análise química do solo.

	<u>pH</u>	<u>M.O.</u>	<u>P</u>	K	Ca	Mg	(H+Al)	Al	CTC	S	V%	(Ca+Mg)/K	
	H ₂ O	CaCl ₂	g/dm ³	mg/dm ³									
setor 1:	5,0	5,0	27,0	3	1,1	10	6	40	0	57	17	30	14,5
setor 2:	6,0	5,1	31,0	3	1,3	15	6	38	0	60	22	37	16,2
setor 3:	6,1	5,1	29,0	3	1,6	15	6	36	0	59	23	39	13,1

onde k, Ca, Mg, (H+Al), CTC e S são fornecidos em mmol/dm³.

Estes valores foram obtidos após a calagem feita mediante procedimento idêntico ao citado porém, realizado no ano anterior.

Tendo-se estes resultados foi recomendado, de acordo com o Instituto Agrônômico de Campinas, a aplicação de 70 Kg de P₂O₅ (ou seja, 350 Kg/ha de superfosfato simples), 30 Kg de K₂O (ou seja, 50 Kg/ha de KCl) e 10 Kg de N (ou seja, 50 Kg/ha de sulfato de amônio).

III.4.3. Semeadura:

Utilizou-se a semeadura mecanizada com uma distância de 0,60 m entre linhas e 10 plantas por metro linear. Para este procedimento utilizou-se um trator da Marca CBT, modelo 8240 e uma plantadeira Jumil, modelo JL 2611 SH com capacidade de plantio de 06 linhas, aplicando de 10 a 12 sementes e 41,66 g do adubo recomendado por metro linear percorrido.

A semente utilizada foi a do Feijão IAC, variedade carioca, fornecida pela Casa da Agricultura local.

III.5. Determinação da Matéria Seca:

A água contida nos alimentos encontra-se sob as seguintes formas: livre, de estrutura e de constituição. A água livre é aquela que não se encontra ligada a nenhuma estrutura molecular dentro das células, isto é, encontra-se em estado livre e é relativamente simples de ser eliminada. Constitui a maior fração de água encontrada nos alimentos.

As demais formas de água existentes são denominadas de estrutural e de constituição que não apresentam valores no aspecto prático pelos baixos teores com que estão presentes.

A determinação da umidade pode ser feita por dois processos: pelo processo indireto e pelo direto. No indireto, o que se determina é a matéria seca, admitindo-se que a perda de peso corresponda ao peso da água perdida; na realidade, outras substâncias voláteis, além da água, também são perdidas o que ocasiona algum erro. Em geral, o processo consiste de duas fases: secagem prévia ou pré-secagem e a secagem definitiva. Na pré-secagem, a temperatura utilizada é de $60^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ para se evitar a perda por volatilização ou alteração de outros nutrientes e deve ser feita, de preferência, em estufa com circulação forçada de ar por um período de 2 a 3 dias. No processo denominado de direto, a amostra é submetida à destilação com tolueno, em aparelho especial, composto de condensador e tubo receptor com escala graduada para a medição do volume de água despreendida pela amostra.

A secagem definitiva é realizada em estufa numa temperatura de 105.0°C durante 4 horas (LENKEIT & BECKER, 1956). Este tipo de determinação é muito importante para a verificação da matéria seca para rações fareladas, grãos de cereais, etc.

III.6 . Avaliação da cobertura vegetal:

Fez-se, no início do florescimento da cultura, uma medição da cobertura vegetal dos tratamentos. Para esta operação utilizou-se de uma trena de aço de 5 m de comprimento com a qual media-se a distância não coberta do solo pelo dossel da cultura e, por diferença, a coberta. Esquemáticamente, têm-se:

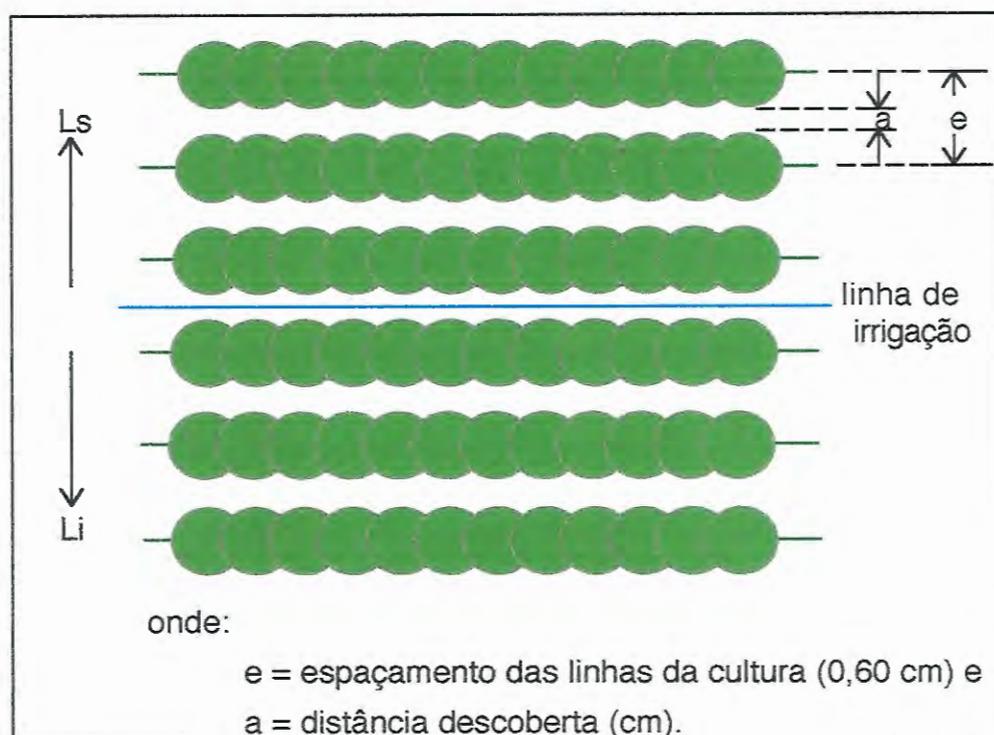


Figura 8: Diagrama esquemático da medição da cobertura vegetal.

III.7. Delineamento Experimental:

O Delineamento Experimental utilizado consistiu num Fatorial 2^3 . Nesta proposição tem-se a condição de analisar estatisticamente todas as interações que ocorrem, o que possibilita a obtenção dos efeitos únicos de cada tratamento ou das suas respectivas interações.

Deste modo, foram implantados 8 tratamentos com 10 repetições cada um.

Os tratamentos foram assim designados:

- com irrigação em todos os estágios de desenvolvimento: III
- com irrigação em apenas dois estágios de desenvolvimento:

- dois estágios consecutivos: IIO e OII
- um estágio alternado: IOI
- sem irrigação em todos os estágios de desenvolvimento: 000
- sem irrigação em apenas dois estágios de desenvolvimento:
 - dois estágios consecutivos: 00I e IO0
 - um estágio alternado: 0IO

A análise de variância foi baseada na proposta do Prof. Frederico Pimentel Gomes (1984) em seu livro intitulado " A Estatística Moderna na Pesquisa Agropecuária".

III.7. Projeto de irrigação:

- 1- Área a ser irrigada: 3,0 ha
- 2- Energia : elétrica
- 3- Irrigação : por aspersão
- 4- Tipo: Convencional semi-portátil
- 5- Cultivo: Feijão
 - Potencial Matricial : -0,8 bar
 - Prof. das raízes: 37,5 cm
 - Altura da planta: 50,0 cm
 - Consumo : 4,0 mm/dia
- 6- Manancial de água:
 - Tipo: reservatório c/ capacidade inteiramente disponível.
 - Qualidade: boa.
- 7- Solo :
 - natureza: argilo-arenoso.
 - capacidade de infiltração: 12 mm/h
 - a tabela com as características do solo relacionando a porcentagem de umidade versus o potencial matricial, determinados em laboratório, estão contidos na tabela abaixo:

Tabela 4: Umidade (%) versus potencial matricial (atm) do solo.

Φ (%)	31,14	28,43	27,37	24,59	23,15	19,83
Ψ (atm)	0,1	0,3	0,5	0,7	1	15
		Δ CC				Δ PMP

densidade aparente ($\delta_a = 1,55 \text{ g/cm}^3$)

8- Aspersor:

- NAAN modelo 233 / 31
- Rosca : 3/4"
- Bocal : 4,9 mm
- Pressão de serviço : 30 m.c.a
- Vazão : 1,64 m³/h
- Diâmetro de alcance : 32 m
- Espaçamento: 12 x 18 m
- Intensidade de aplicação:

$$I = \frac{Q}{A} = \frac{1,64}{12 \cdot 18} = 0,0076 \text{ m/h}$$

$$I = 7,6 \text{ mm/h}$$

- Espaçamento entre linhas: 30 m

9) Cálculo da água disponível:

Baseado na curva característica do solo, temos:

- CC : 0,3 atm = 28,43%
- PMP : 15 atm = 19,83%
- $\delta_a = 1,55/\text{cm}^3$
- h_f : 80% da prof. das raízes = (0,8 . 37,5 = 30 m)

$$-H = CAD = \frac{CC - PMP}{10} \cdot \delta_a \cdot h_f$$

$$CAD = 40,0 \text{ mm}$$

10) Cálculo da reserva de água:

$$-R = \frac{Uc - PMP}{10} \cdot (\delta_a \cdot hf) = 19,39 \text{ mm.}$$

onde,

Uc = Potencial Matricial, cujo valor é - 0,8 bar ou 24 atm.

11) Lâmina hídrica líquida:

$$-Hi = H - R$$

$$-Hi = 20,61 \text{ mm}$$

12) Turno de irrigação

$$-Ti = \frac{Hi}{C}, \text{ onde } C \text{ (consumo de água/dia)} = 4 \text{ mm/dia}$$

$$-Ti = 5,16 \text{ dias (5 dias)}$$

13) Lâmina bruta:

$$-Hb = \frac{Hi}{Ei}, \text{ onde } Ei \text{ (rendimento)} = 0,65 \text{ a } 0,85 = 0,70$$

$$-Hb = 29,4 \text{ mm}$$

14) Escolha do aspersor (conforme disposto no item 8):

-NAAN: modelo 233/31

-Rosca: 3/4"

-Bocal: 4,9 mm

-Pressão de serviço: 30 m.c.a (3,0 atm)

-Vazão: 1,64 m³/h

-Diâmetro de alcance: 32,0 m (raio = 16,0 m)

-Espaçamento: 12 x 18

-Espaçamento entre linhas: 30,0 m

-Capacidade de precipitação:

$$I = \frac{Q}{A} = \frac{1,64}{12 \times 18} = 0,00076 \text{ m/h} = 7,6 \text{ mm/h}$$

15) Padrões de Projeto:

15.1) Linha lateral superior:

-afastamento = $0,5 \cdot 16 = 8,0 \text{ m}$

15.2) Linhas laterais:

-afastamento superior = 16,0 m

-afastamento inferior = 20,0 m

15.3) Números de Aspersores:

-espaçamento entre os aspersores = 12 m

-comprimento lateral = 48 m

15.4) Projeto (Figs. 4.1, 4.2 e 5):

-comprimento da linha principal = 420 m

-comprimento da linha lateral = 48 m

-número de aspersores = 04

16) Vazão:

- $Q = n \cdot q$

onde,

$n = n^\circ$ de aspersores e

$q =$ vazão de cada aspersor.

- $Q = 4 \times 1,64$

- $Q = 6,56 \text{ m}^3/\text{h}$

17) Perda de carga na linha lateral:

-comprimento da linha lateral = 48m

-diâmetro = 50,0 mm (adotado)

-velocidade = 0.46m/s..... < 2,0 m/s (satisfaz)

17.1) Perda de carga Hazen-Williams:

$$-v = 0,355 \times C \times D^{0,63} \times J^{0,54}$$

onde,

J = perda de carga unitária (m/m)

$h_f = J \cdot L$, sendo J = 0,0066 m/m e L = 48m.

$h_f = 0,32$ m.c.a.

17.2) Distribuição em marcha:

$$-h_f \text{ total} = h_f \cdot F$$

onde,

F = Fator de Christiansen cujo valor é de 0,469.

$-h_f \text{ total} = 0,1501$ m.c.a.

Obs.: a perda de carga na lateral deve ser inferior a 0,20 da pressão de serviço (Ps) do aspersor.

$$-P_s = 30 \text{ m.c.a}$$

$$-\text{Perda de carga} = 0,2 \cdot 30 = 6 \text{ m.c.a.}$$

$$-0,1501 < 6 \text{ m.c.a}$$

17.3) Característica da linha lateral:

-Comprimento = 98,0 m

-Diâmetro interno = 50 mm

-Natureza da tubulação: PVC

-Tipo de acoplamento: rápido

-Perda de carga (h_f) = 0,1501 m

17.4) Pressão:

17.4.1) Pressão no início da linha lateral:

$$-P_{in} = P_s \pm h_f + h_t$$

$$-P_{in} = 30 \pm 0,1501 + 1 = 31,11 \text{ m.c.a.}$$

$$-h_t = \text{altura do tubo na subida} = 1,0 \text{ m}$$

17.4.2) Pressão no final da linha lateral:

$$-P_{fin} = P_s \pm h_f + h_t$$

$$-P_{fin} = 30 \pm 0,1501 + 1 = 30,96 \text{ m.c.a.}$$

18) Dimensionamento da linha principal:

$$-\text{vazão (Q)} = 6,56 \text{ m}^3/\text{h} \quad (0,00182 \text{ m}^3/\text{s})$$

$$-\text{comprimento} = 420 \text{ m}$$

-utilizando-se da Fórmula de Bresser ($D = K \cdot Q^{0,5}$) e considerando-se a $v = 1,57 \text{ m/s}$ e o coeficiente da velocidade do líquido de 0,90, encontramos um diâmetro (D) = 0,038 m, chamado de diâmetro econômico da tubulação, e portanto, adotou-se o diâmetro comercial de 50 mm.

18.1) Característica da linha principal:

$$-\text{comprimento} = 420,0 \text{ m}$$

$$-\text{diâmetro interno} = 50 \text{ mm}$$

$$-\text{velocidade do líquido} = 1,87 \text{ m/s}$$

$$-\text{Coef. de atrito} = 130$$

$$-\text{perda de carga unitária} = 0,0857 \text{ m/m}$$

18.2) Perda de carga na linha principal:

$$-h_f = 36,0 \text{ m.c.a}$$

obs.: Apesar da perda de carga ser relativamente grande, esta é a solução mais econômica, entretanto, faz-se necessário o uso de válvulas redutoras de pressão.

19) Cálculo do tempo de irrigação (t_i):

$$t_i = \frac{H_b}{I}, \text{ onde } H_b = 29,4 \text{ mm e } I = 7,6 \text{ mm/h}$$

$$- t_i = 3,87 \text{ h} = 3 \text{ h e } 52 \text{ m}$$

20) Cálculo do regime de Trabalho (RT):

$$-RT = \frac{T_t}{T_i}$$

onde,

$$-T_t = NP \cdot T_i$$

sendo,

NP = número total de posições (16) e

T_i = turno de rega (5)

$$-T_t = 16 \cdot 3,87 = 61,92 \text{ h}$$

$$-RT = 12,8 \text{ horas (48 minutos de rega para cada linha lateral)}$$

21) Cálculo da área irrigada:

-diâmetro do aspersor = 32 m

-área de irrigação unitária = 804,25 m²

-Total de aspersores = 32

-área total = 2,57 ha

21) Cálculo da altura manométrica:

-desnível geométrico da recalque = 26,0 m.

-perda de carga na linha principal = 36,0 m.c.a.

-pressão início da lateral = 31,1 m.c.a.

-outras perdas (5%) = 4,6 m

-total = 97,8 m.c.a.

22) Escolha do conjunto motor-bomba:

De acordo com o valor da altura manométrica e a vazão requerida pelo sistema, consultou-se o catálogo do fabricante e conclui-se que o conjunto deveria ser constituído por uma bomba KS-ETANO-RM-G-50-200 com diâmetro do rotor de 190 mm, com um rendimento aproximado de 46%, necessitando de uma rotação de 3500 rpm, necessitando de um motor elétrico trifásico (380 v) com uma potência de 10 cv, da marca WEG, com rendimento de aproximadamente 84%.

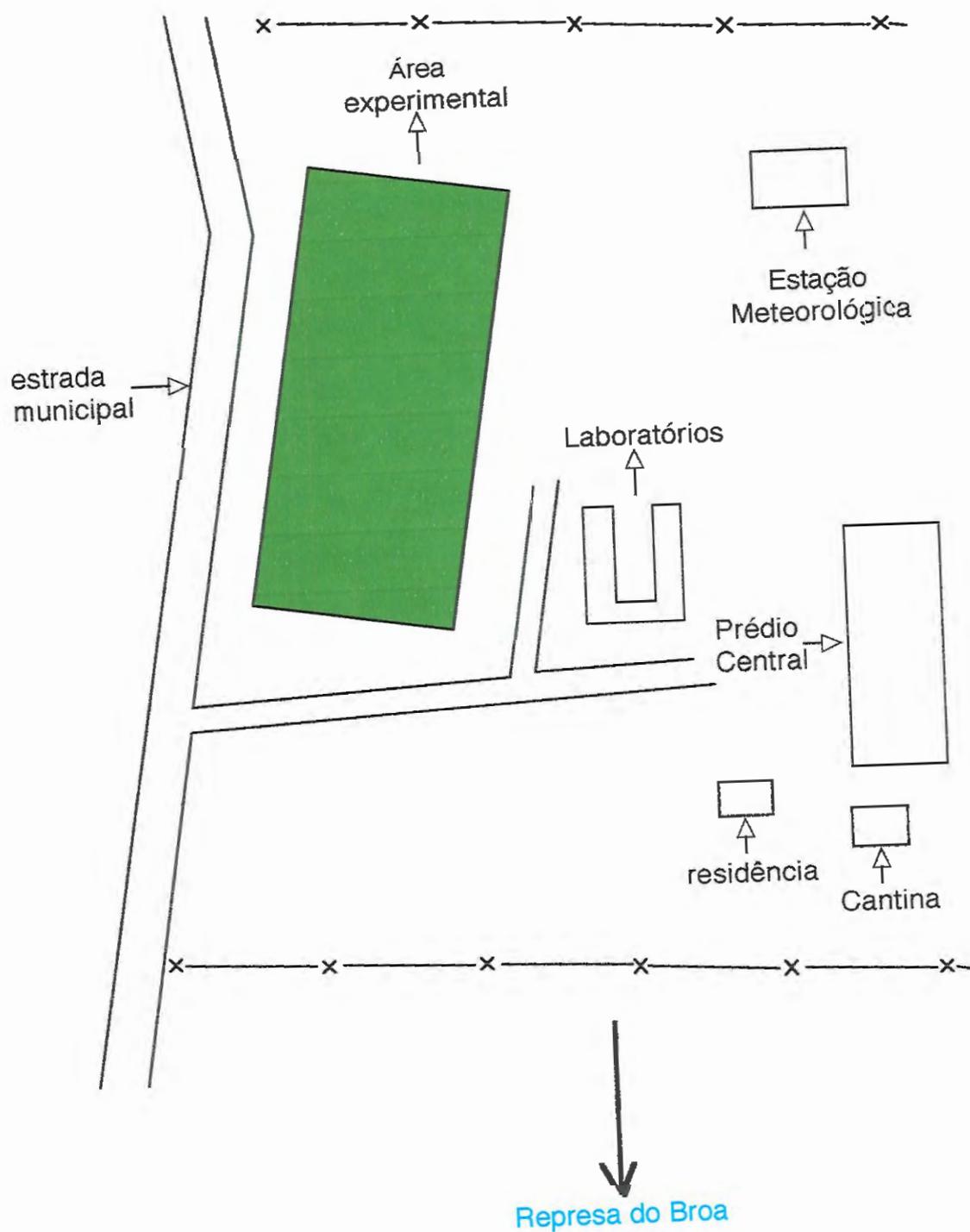
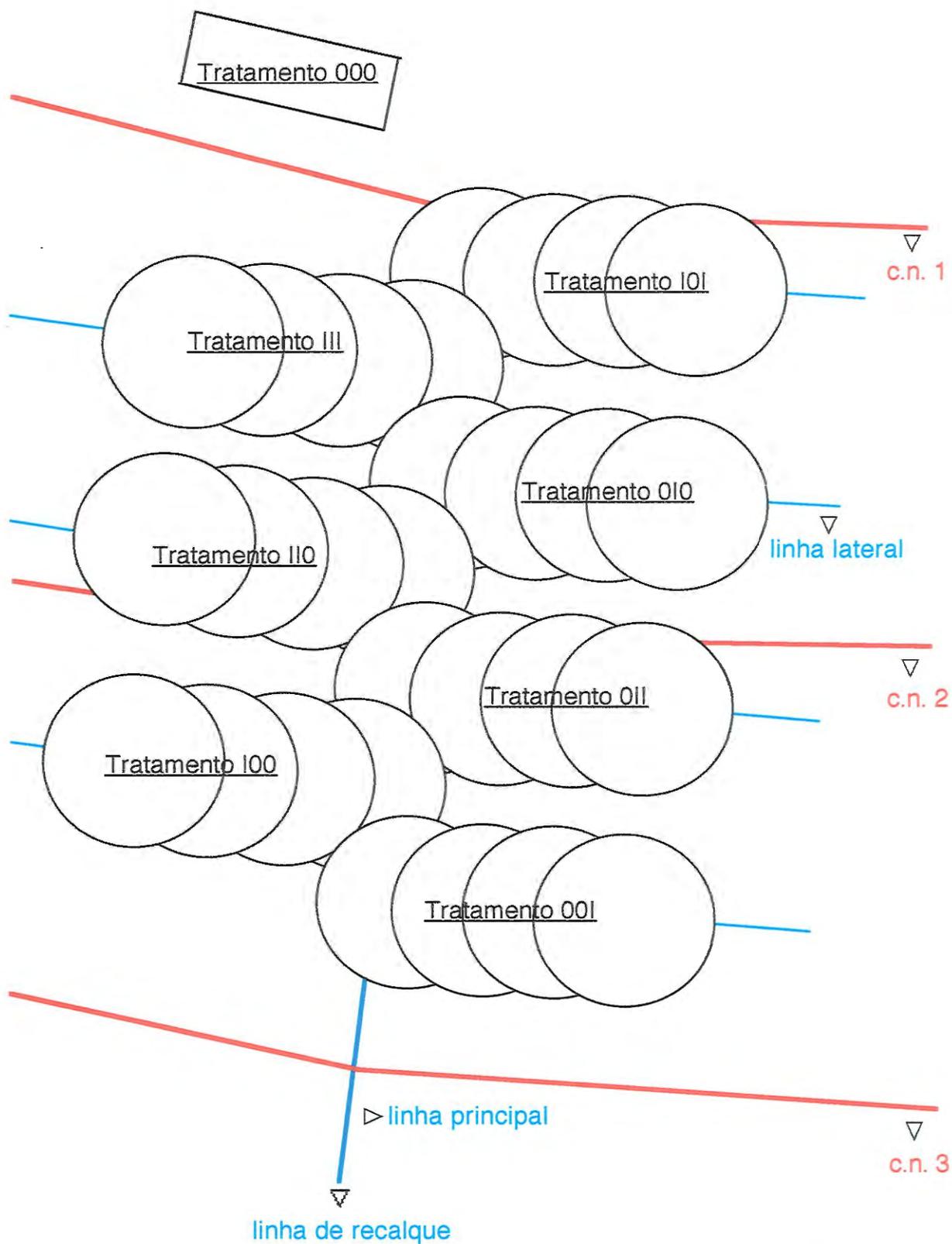
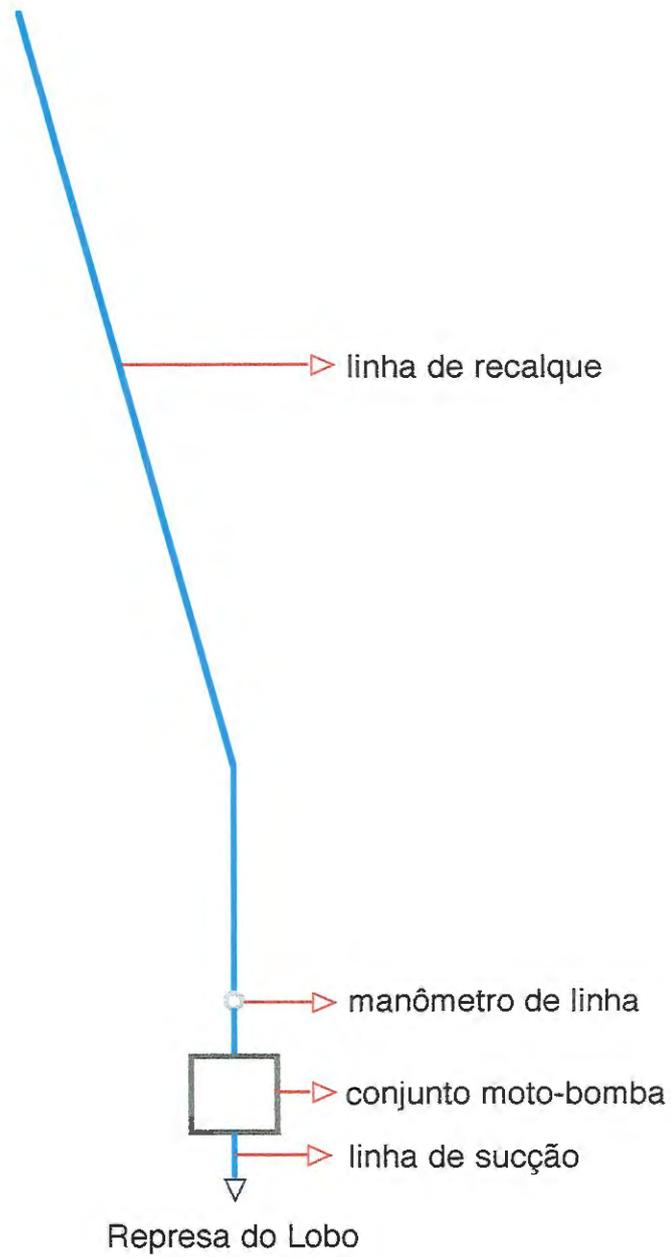


Figura 9. Croqui do CRHEA-USP.



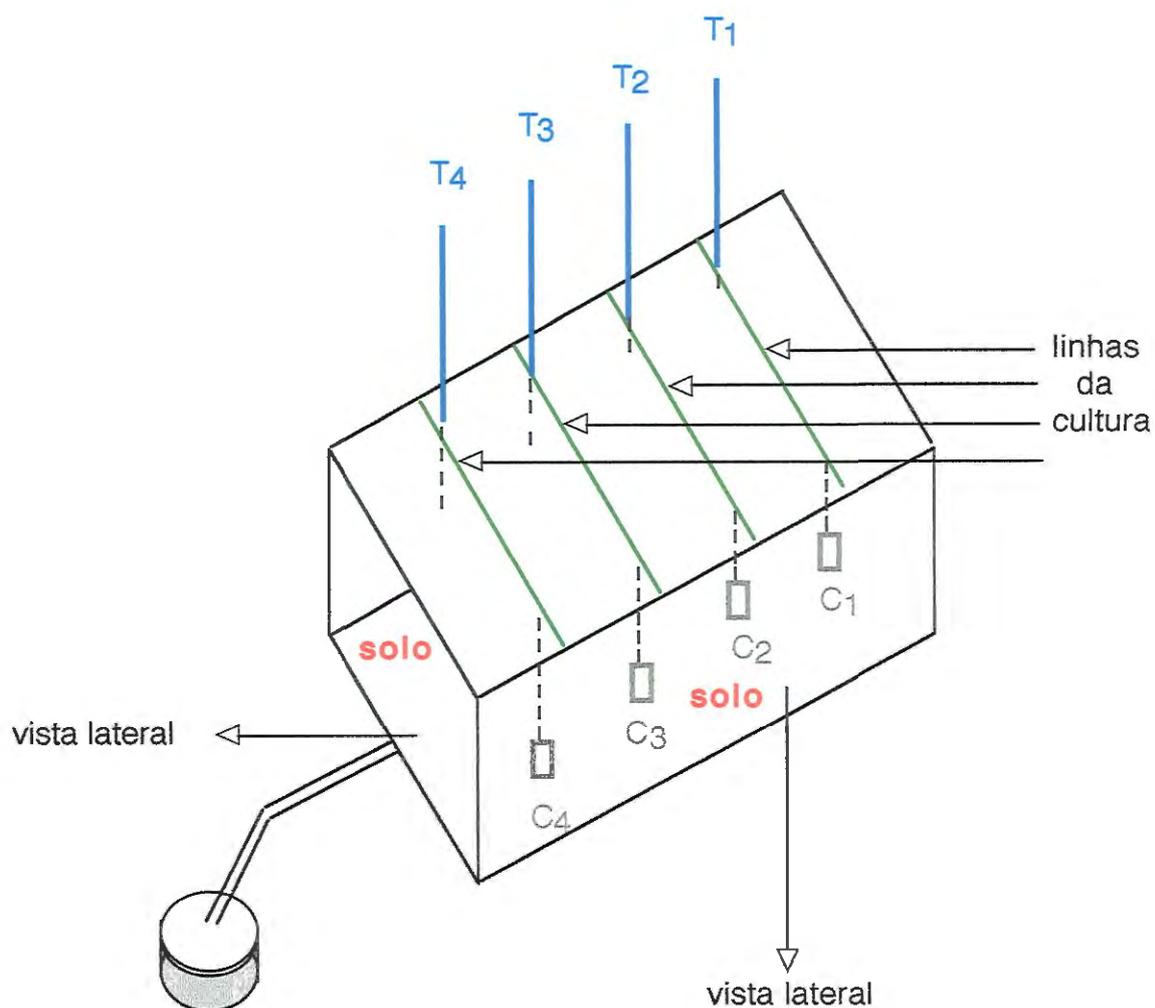
esc.: 1:1000

Figura 10.1. Croqui da área experimental.



Esc.: 1 : 3000

Figura 10.2. Croqui da área experimental (cont.)



onde:

-T1, T2, T3 e T4 referem-se aos tensiômetros instalados, respectivamente a 10, 20, 35 e 55 cm abaixo da linha do solo.

-C1, C2, C3 e C4 referem-se as células de medição da umidade do solo, respectivamente a 10, 20, 35 e 55 cm.

Figura 12. Diagrama esquemático do Lisímetro e linhas da cultura instaladas.

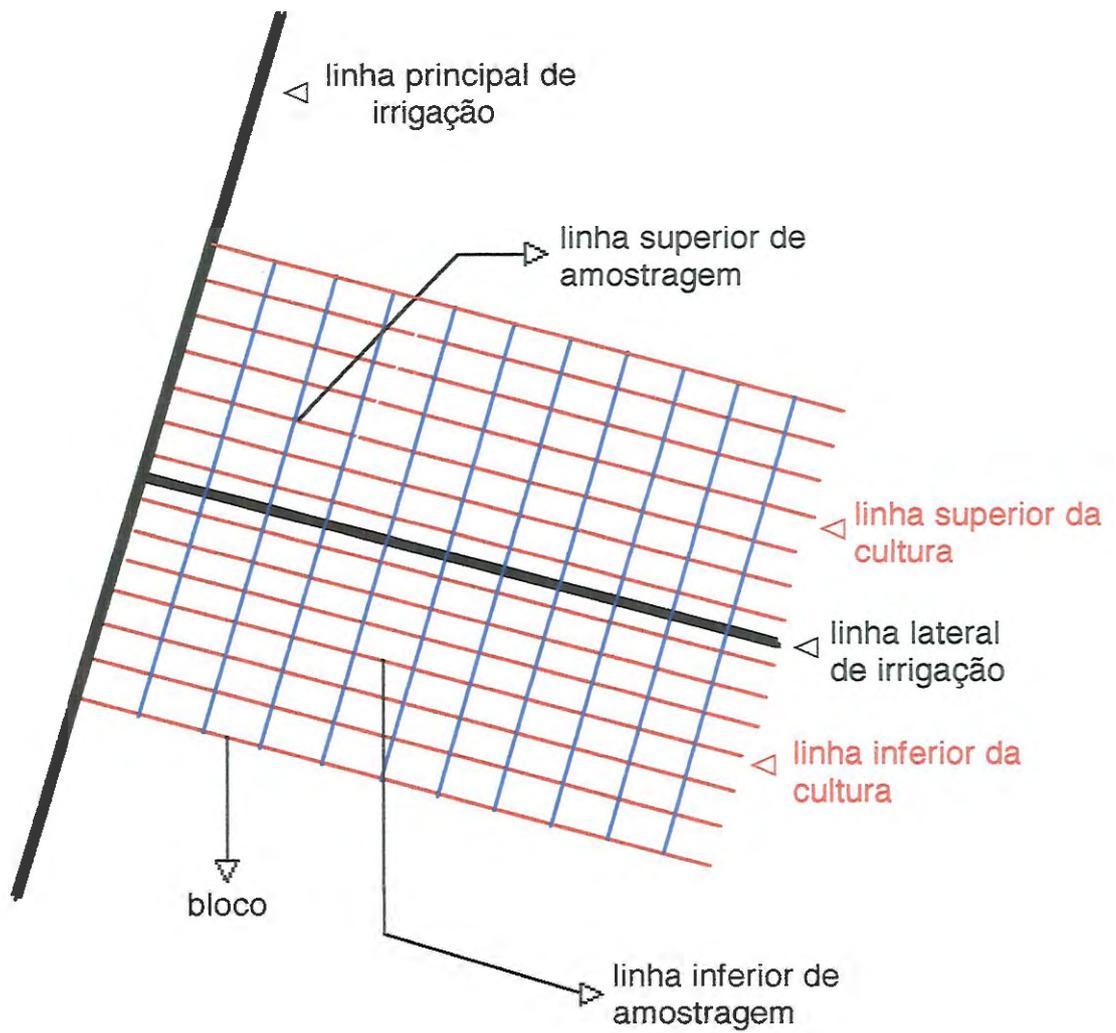


Figura 13. Diagrama da coleta das amostras de cobertura vegetal.



IV. Resultados e Discussão:

IV.1.1. Cobertura vegetal:

Os valores encontrados para a cobertura vegetal conforme o ítem anterior estão dispostos na tabela abaixo.

Tabela 5. Valores encontrados para a cobertura vegetal.

Tratam.	linhas	repetições										cobertura (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
000	Ls	20	19	24	20	22	23	21	21	25	24	38
	Li	18	18	18	18	21	22	24	24	23	22	38
100	Ls	28	20	32	31	30	32	33	40	30	35	38
	Li	28	20	27	21	24	34	33	35	33	25	38
001	Ls	24	23	25	24	25	24	25	26	27	22	39
	Li	26	26	22	24	24	23	23	24	24	23	39
011	Ls	22	20	21	22	24	24	23	25	23	24	41
	Li	32	27	29	30	33	32	30	30	26	28	43
010	Ls	16	18	18	18	22	24	24	28	27	28	42
	Li	16	18	18	16	22	20	24	28	27	28	42
101	Ls	26	28	27	27	27	29	29	29	26	26	50
	Li	27	25	20	27	26	27	24	22	27	27	42
110	Ls	32	32	33	30	34	30	33	30	28	30	50
	Li	34	32	28	32	31	31	32	38	38	36	50
111	Ls	42	40	34	38	39	33	31	30	36	36	60
	Li	36	36	34	27	36	30	31	30	42	42	50

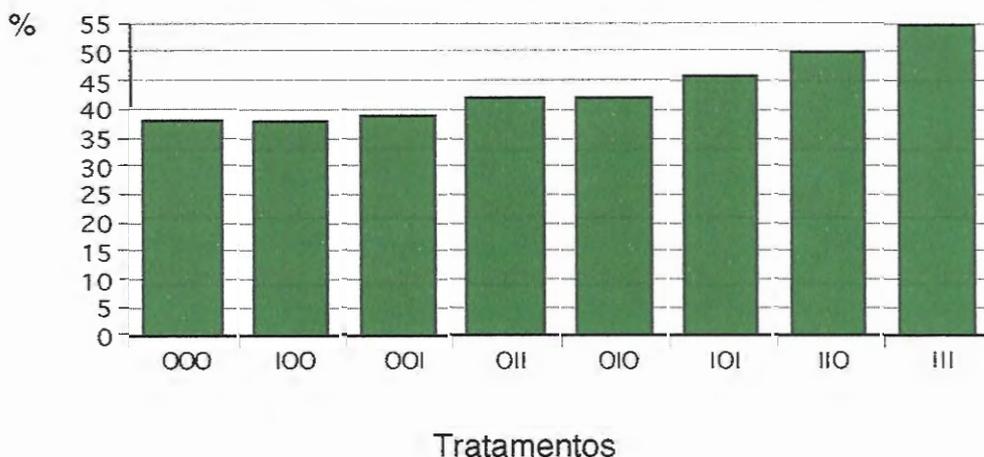
Para a obtenção dos resultados acima mostrados, procedeu-se da seguinte maneira: escolheu-se, ao acaso, uma dentre doze (12) entrelinhas da cultura, tanto abaixo (Li) como acima (Ls) da linha de irrigação, mostrado na figura 13, onde se procederam as medições para a determinação da área coberta pela cultura no início do florescimento. Os valores inseridos em repetições estão em centímetros e referem-se ao valor da cobertura vegetal entre as linhas.

Observa-se, pelos resultados obtidos, que o tratamento III (irrigação nas três fases) foi o que apresentou maior dossel, seguido pelo IIO e IOI; os tratamentos OIO e OII praticamente não apresentaram diferenças; o dossel apresentado pelos tratamentos IOO, OOO e o OOI não diferiram entre si.

Pode-se inferir que o tratamento que recebeu irrigação apenas na 1a. fase não apresentou diferença com aquele que a recebeu na última ou não recebeu. Os tratamentos que receberam irrigações em fases alternadas, como o IOI e o OIO diferiram pouco entre si. Dentre aqueles que receberam irrigações em duas fases consecutivas (IIO e OII), o primeiro apresentou um dossel 8 % maior que o segundo. Quando comparamos o tratamento III com os demais verifica-se que sua cobertura vegetal foi maior em relação a todos os outros tratamentos, a saber: 31 % ao OOO, 29 % ao OOI, 24 % ao OII, 24 % ao OIO, 31 % ao IOO, 16 % ao IOI e 5 % ao IIO.

A cobertura vegetal apresenta grande importância agrônômica pois quanto mais uniforme e rapidamente ocorre, há um melhor controle das ervas daninhas e, portanto, uma menor competição com os nutrientes e água para a cultura acarretando, além disso, numa economia adicional referente aos tratamentos culturais (aplicação de herbicidas, capinas); por outro lado, a redução das ervas daninhas leva a um melhor controle fitossanitário da cultura.

Gráfico 1. Cobertura vegetal dos tratamentos.



IV.1.2. Peso dos grão:

IV.1.2.1. Colheita dos grãos:

A colheita foi realizada através do arranquio das plantas que compunham a parcela (12 por 1,5 m) sendo, portanto, um total de 10 repetições para cada tratamento; estas plantas foram secas à sombra por certo período até a secagem total; as sementes foram debulhadas das vagens manualmente, pesadas e ensacadas para a posterior secagem em estufa a 105° C. Esta operação foi realizada na Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - localizada na Fazenda Canchim, neste município. Os resultados destas duas pesagens estão contidos na tabela abaixo:

Tabela 6: Peso (g) dos Tratamentos secos ao ar.

	Tratamentos							
Repet.	OOO	IOO	IOI	IIO	OIO	III	OOI	OII
1	1040	1840	2145	1460	1750	2800	1440	1540
2	1020	1680	1850	1685	1540	2600	1040	1640
3	1120	1450	1845	1480	1745	2480	1020	1660
4	900	1600	1680	1660	1600	1880	1120	1520
5	860	1560	1825	2170	1520	1860	1100	1960
6	1000	1620	1430	2315	1580	1800	820	1620
7	1120	1750	1600	2315	1800	1740	1020	1580
8	840	2000	1410	2145	1840	1700	1040	1540
9	1000	1700	1900	1910	1740	1780	1260	1560
10	980	1800	2270	1840	1720	1820	1340	1640
média	988	1697	1795.5	1898	1683.5	2046	1120	1626
σ	92.2	146.1	264.2	309	107.6	390.1	171.3	120.7

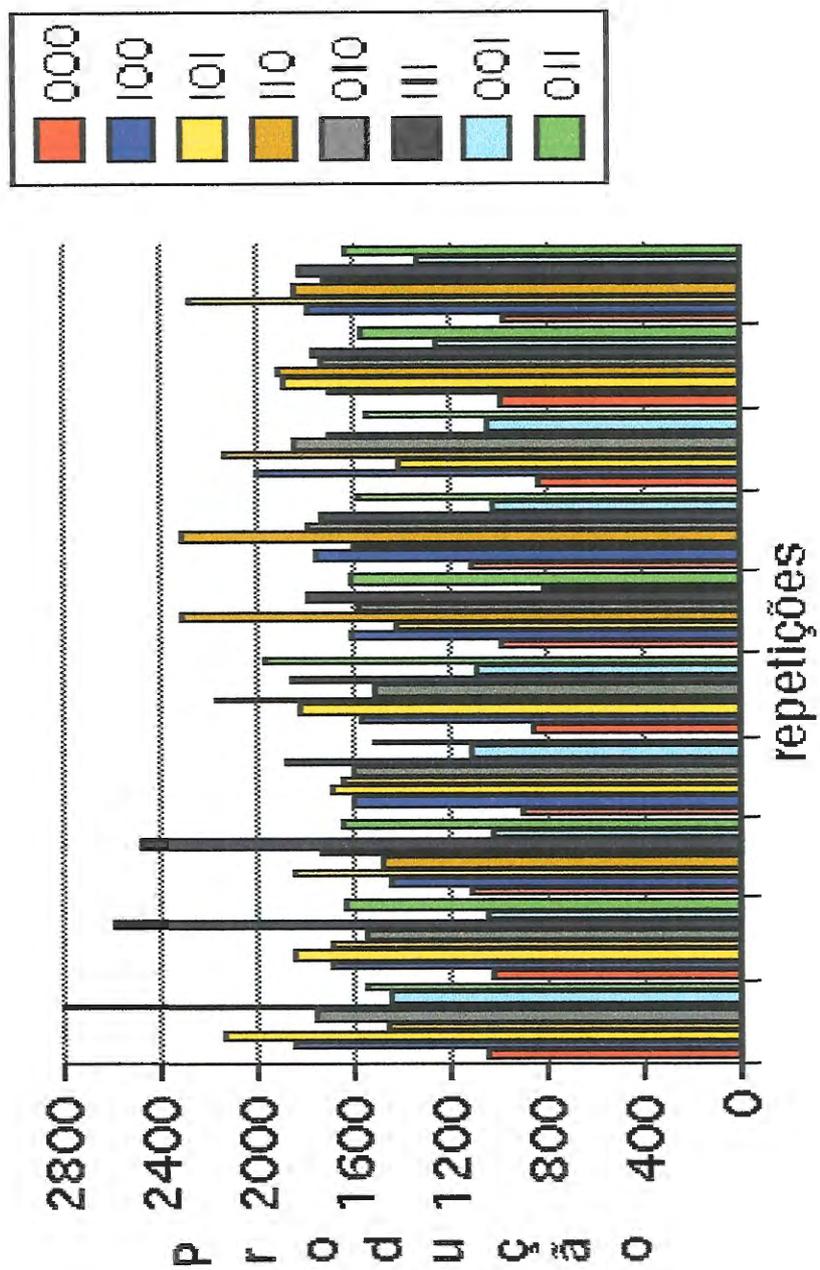


Gráfico 2. Produção (g) das parcelas dos tratamentos.

Tabela 7. Pesos (g) obtidos no Tratamento OOO após secagem em estufa:

repetições	Peso Total	Peso Seco	Peso água
1	1040	913	127
2	1020	888	132
3	1120	978	142
4	900	789	111
5	860	749	111
6	1000	863	137
7	1120	980	140
8	840	727	113
9	1000	872	128
10	980	856	124
média	988	861.5	126.5
σ	92.2	81.9	11.1

Gráfico 3. Produção (g) das parcelas do Tratamento OOO.

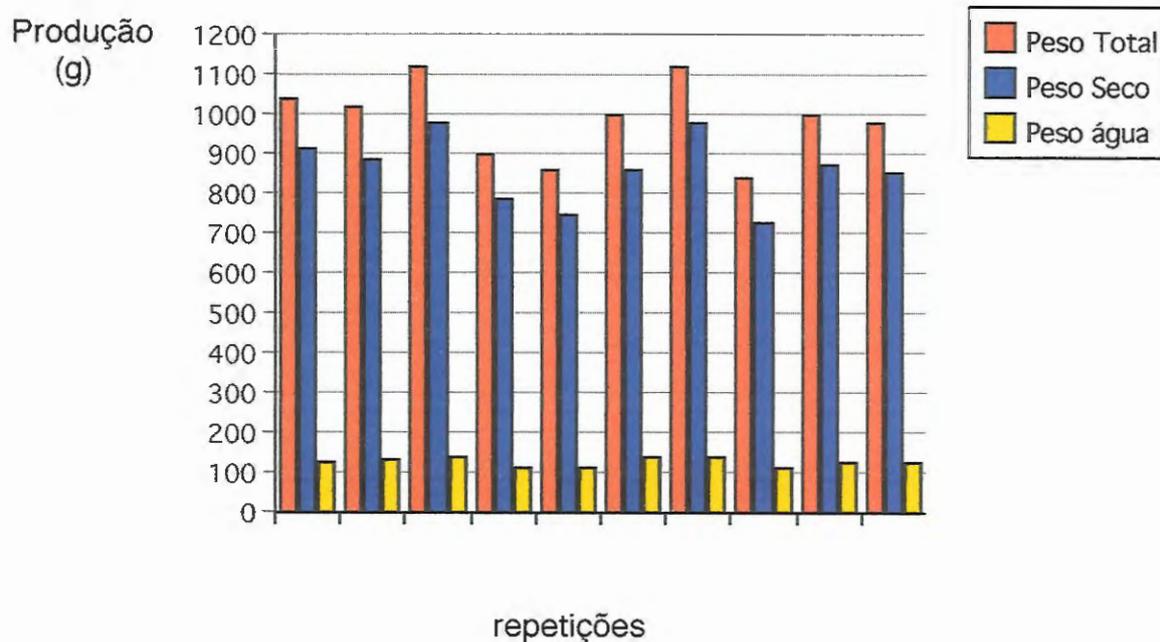


Tabela 8. Pesos (g) obtidos no Tratamento IOI após secagem em estufa:

repetições	Peso Total	Peso Seco	Peso água
1	2145	2010	135
2	1850	1730	120
3	1845	1719	126
4	1680	1567	113
5	1825	1708	117
6	1430	1337	93
7	1600	1501	99
8	1410	1323	87
9	1900	1769	131
10	2270	2116	154
média	1975.5	1678	117.5
σ	264.2	245.3	19.5

Gráfico 4. Produção (g) das parcelas do Tratamento IOI.

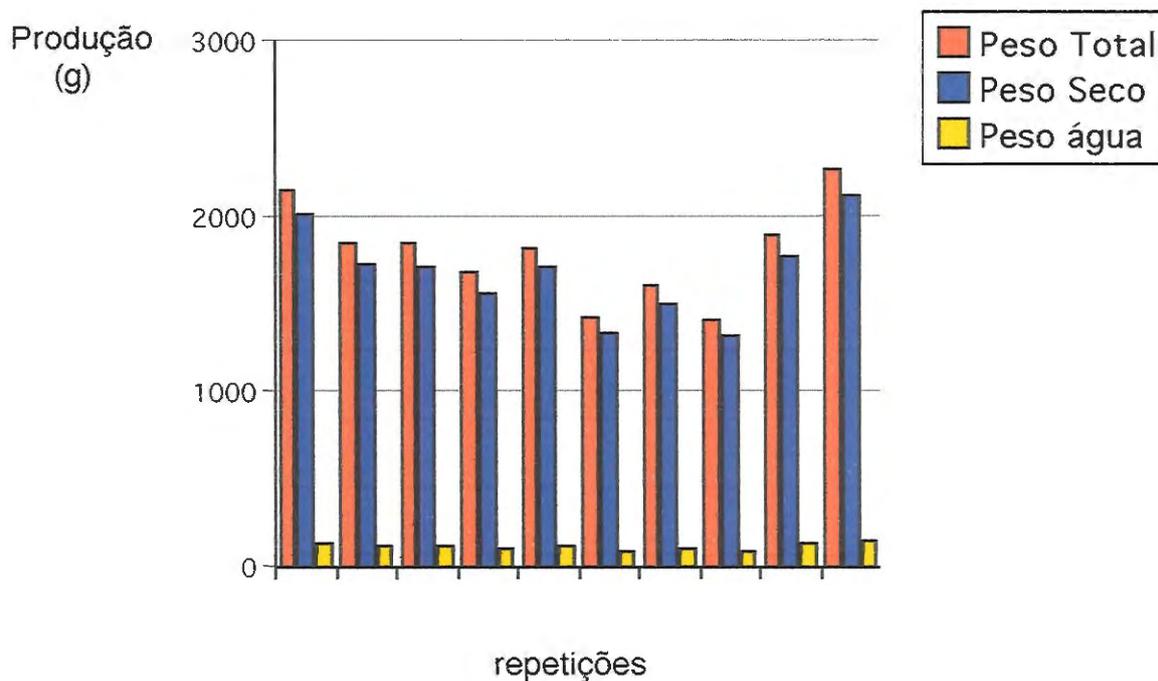


Tabela 9. Pesos (g) obtidos no Tratamento IIO após secagem em estufa:

repetições	Peso Total	Peso Seco	Peso água
1	1460	1375	85
2	1685	1579	106
3	1480	1385	95
4	1660	1560	100
5	2170	2042	128
6	2315	2178	137
7	2315	2197	118
8	2145	2033	112
9	1910	1807	103
10	1840	1742	98
média	1898	1789.8	108.2
σ	309	295.8	15

Gráfico 5. Produção (g) das parcelas do Tratamento IIO.

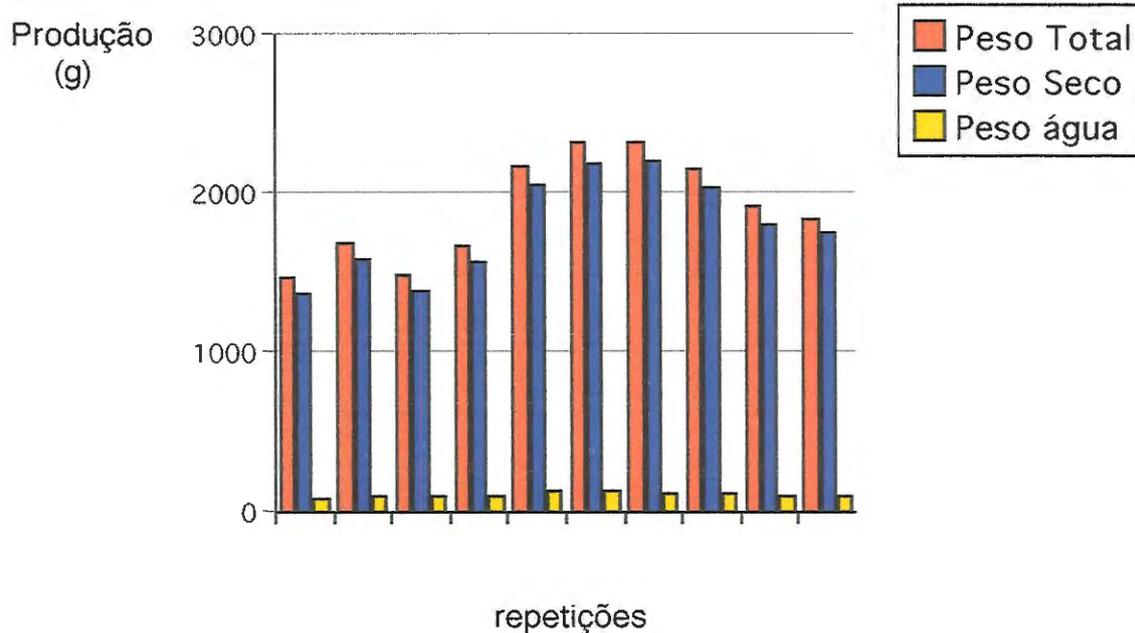


Tabela 10. Pesos (g) obtidos no Tratamento OIO após secagem em estufa:

repetições	Peso total	Peso seco	Peso água
1	1750	1654	96
2	1540	1455	85
3	1745	1645	100
4	1600	1512	88
5	1520	1427	93
6	1580	1495	85
7	1800	1703	97
8	1840	1748	92
9	1740	1646	94
10	1720	1634	86
média	1683.5	1591.9	91.6
σ	107.6	104.8	5.1

Gráfico 6. Produção (g) das parcelas do Tratamento OIO:

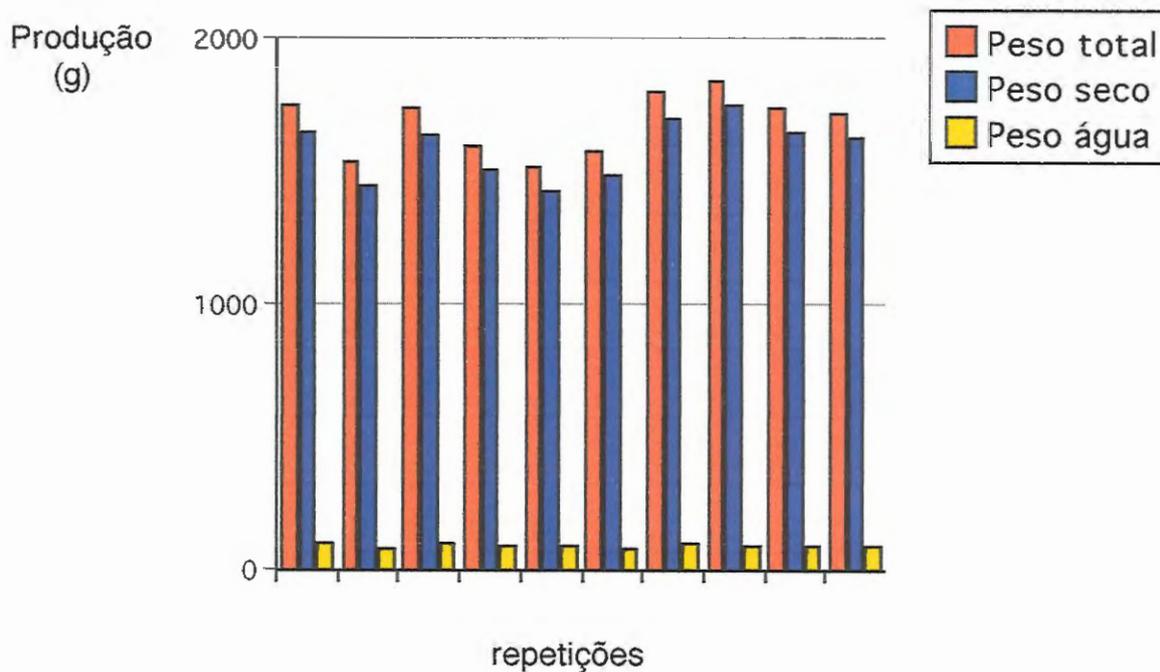


Tabela 11. Pesos (g) obtidos no Tratamento III após secagem em estufa:

repetições	Peso total	Peso seco	peso água
1	2800	2607	193
2	2600	2392	208
3	2480	2294	186
4	1880	1745	135
5	1860	1706	154
6	1800	1649	151
7	1740	1573	167
8	1700	1562	138
9	1780	1616	164
10	1820	1651	169
média	2046	1879.5	166.5
σ	390.1	371.7	22.4

Gráfico 7. Produção (g) das parcelas do Tratamento III.

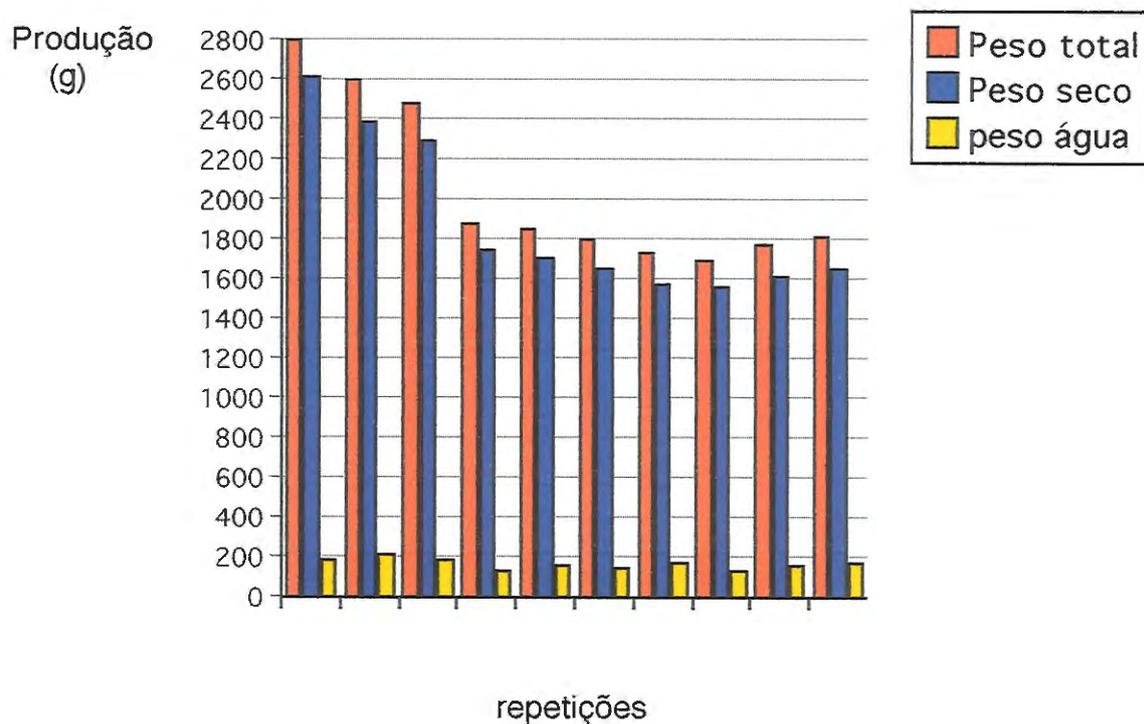


Tabela 12. Pesos (g) obtidos no Tratamento OOI após secagem em estufa:

repetições	Peso total	Peso seco	Peso água
1	1440	1323	117
2	1040	947	93
3	1020	931	89
4	1120	1024	96
5	1100	992	108
6	820	749	71
7	1020	928	92
8	1040	935	105
9	1260	1147	113
10	1340	1222	118
média	1120	1019.8	100.2
σ	171.3	158.8	14

Gráfico 8. Produção (g) das parcelas do Tratamento OOI.

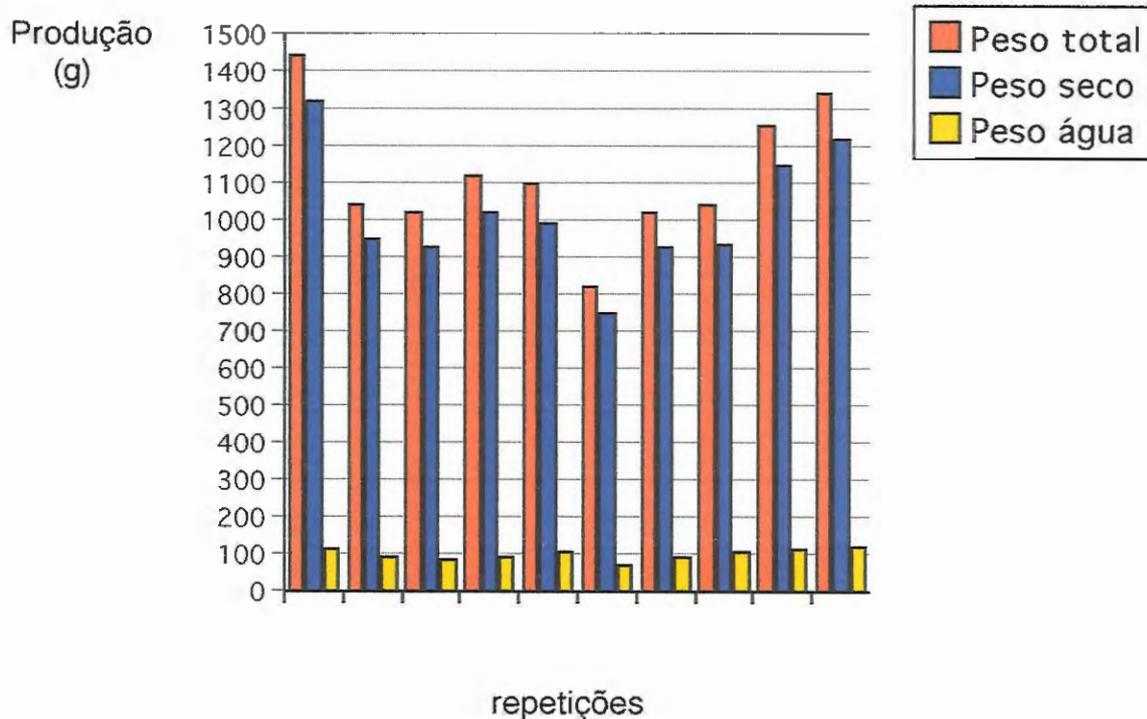


Tabela 13. Pesos (g) obtidos no Tratamento OII após secagem em estufa:

repetições	Peso total	Peso seco	Peso água
1	1540	1420	120
2	1640	1522	118
3	1660	1537	123
4	1520	1398	122
5	1960	1823	137
6	1620	1487	133
7	1580	1442	158
8	1540	1417	123
9	1560	1438	122
10	1640	1510	130
média	1626	1499.4	128.6
σ	120.7	117.2	11.4

Gráfico 9. Produção (g) das parcelas do Tratamento OII.

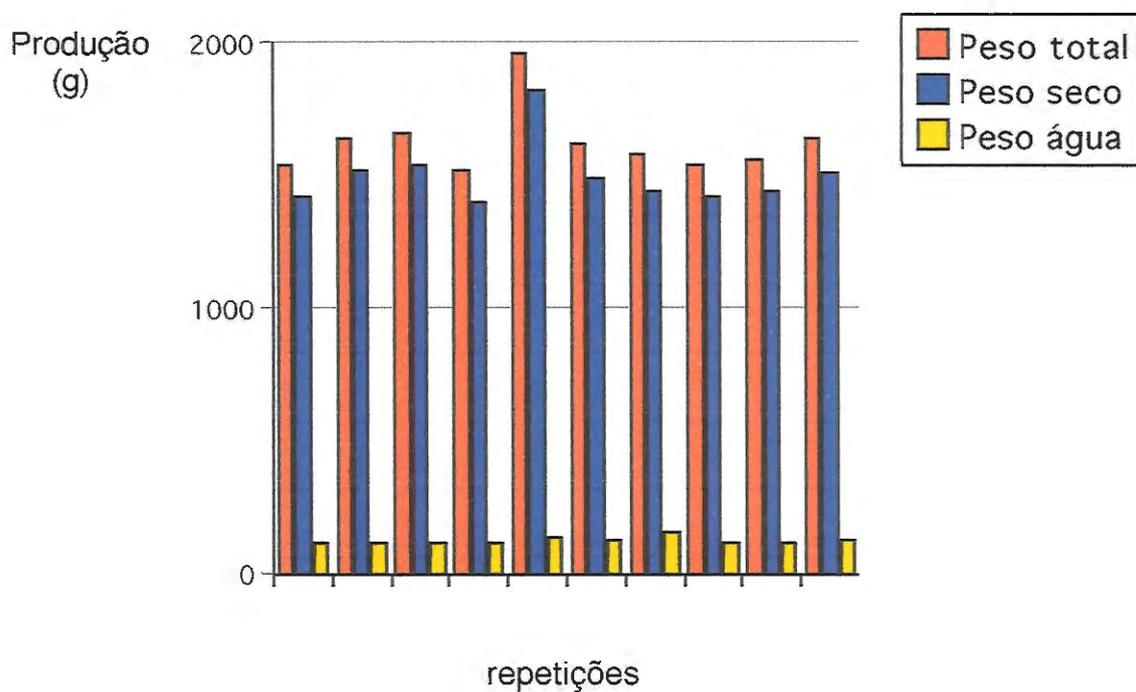
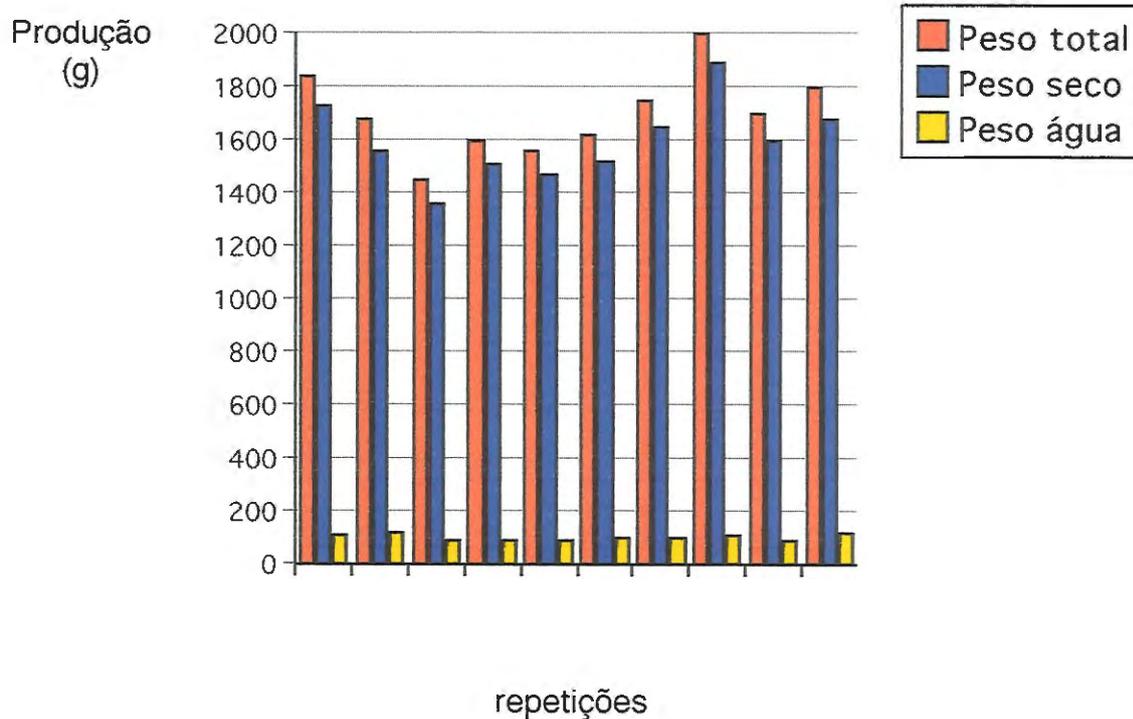


Tabela 14. Pesos (g) obtidos no Tratamento IOO após secagem em estufa:

repetições	Peso total	Peso seco	Peso água
1	1840	1730	110
2	1680	1564	116
3	1450	1359	91
4	1600	1509	91
5	1560	1466	94
6	1620	1518	102
7	1750	1654	96
8	2000	1890	110
9	1700	1605	95
10	1800	1681	119
média	1700	1597.6	102.4
σ	148.7	142.4	10

Gráfico 10. Produção (g) das parcelas do Tratamento IOO.

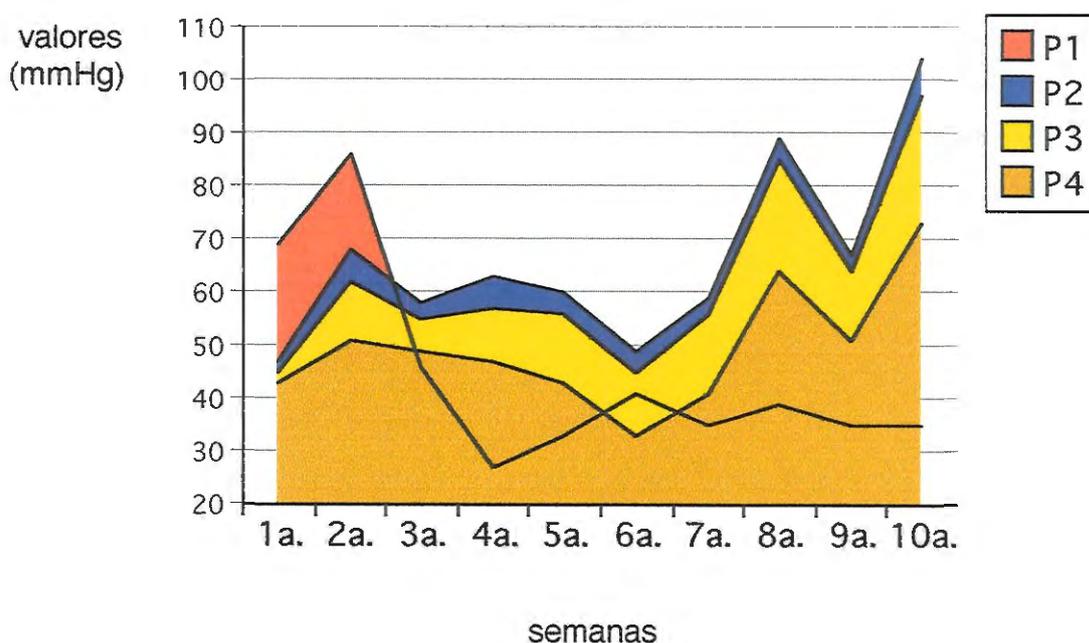


IV.1.3. Médias semanais na leitura dos Tensiômetros colocados no Lisímetro:

Tabela 15: Medidas tensiométricas (mm Hg) obtidas no Lisímetro.

semanas	Profundidades (em cm)			
	P1	P2	P3	P4
1a.	69	47	45	43
2a.	86	68	62	51
3a.	46	58	55	49
4a.	27	63	57	47
5a.	33	60	56	43
6a.	41	49	45	33
7a.	35	59	56	41
8a.	39	89	85	64
9a.	35	67	64	51
10a.	35	104	97	73

Gráfico 11: Valores tensiométricos (mmHg) em função da profundidade (cm).



onde:

P1 é a profundidade a 10 cm, P2 a 20 cm, P3 a 35 cm e P4 a 55 cm.

IV. 1. 4. Valores das leituras nos Tensiômetros e suas variações nas primeira e segunda semanas:

Tabela 16: Leituras obtidas nos Tensiômetros nas duas primeiras semanas.

dias	profundidades (cm)			
	P1	P2	P3	P4
1º	93	67	66	56
2º	78	56	55	55
3º	74	56	53	51
4º	62	50	48	51
5º	58	44	44	51
6º	57	28	24	19
7º	63	35	30	22
8º	85	58	51	42
9º	76	53	46	36
10º	84	76	66	53
11º	83	72	62	52
12º	87	72	64	54
13º	94	79	68	58
14º	93	94	79	67

Gráfico 12: Valores tensiométricos em função da profundidade.

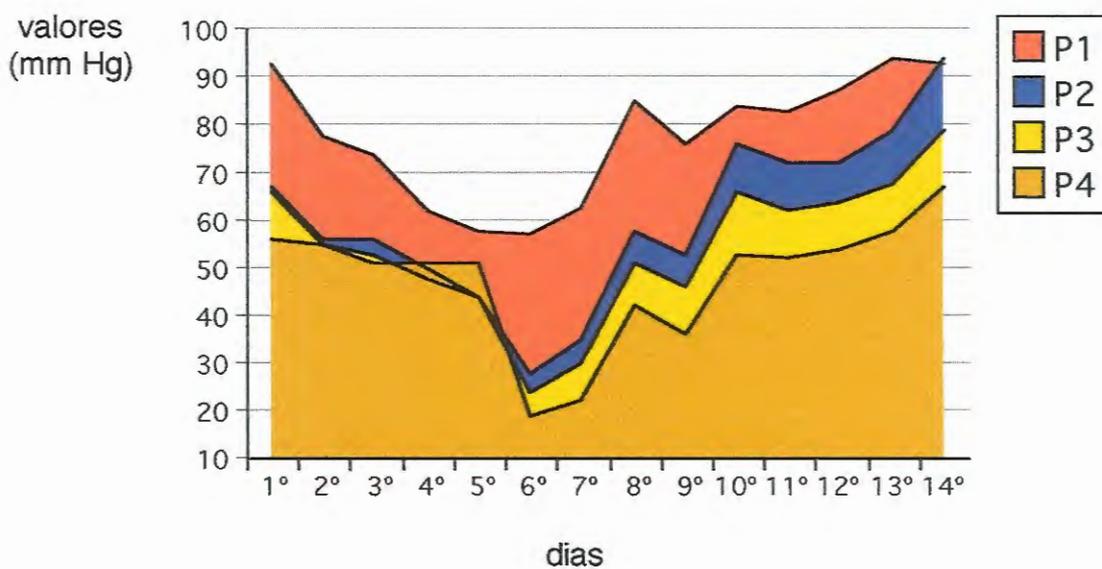


Tabela 17. Diferenças tensiométricas observadas durante a 1a. Fase de desenvolvimento da cultura no Lisímetro.

intervalo de tempo	profundidades (cm)			
	P1	P2	P3	P4
0	-	-	-	-
1°	15	11	11	1
2°	4	0	2	4
3°	12	6	5	0
4°	4	6	4	0
5°	1	16	20	32
6°	-6	-7	-6	-3
7°	-22	-23	-21	-20
8°	9	5	5	6
9°	-8	-23	-20	-17
11°	1	4	4	1
12°	-4	0	-2	-2
13°	-7	-7	-4	-4
14°	1	-15	-11	-9
15°	15	-1	1	1
16°	-78	-64	-54	-50
17°	2	12	10	10
18°	1	10	9	6
19°	5	7	11	6
20°	7	7	9	6
21°	-4	10	13	7
22°	-11	0	-10	2
23°	-4	12	8	5
24°	-2	-4	-4	-5

Gráfico 13. Diferenças tensiométricas observadas no Lisímetro durante a 1a. Fase à profundidade P1.

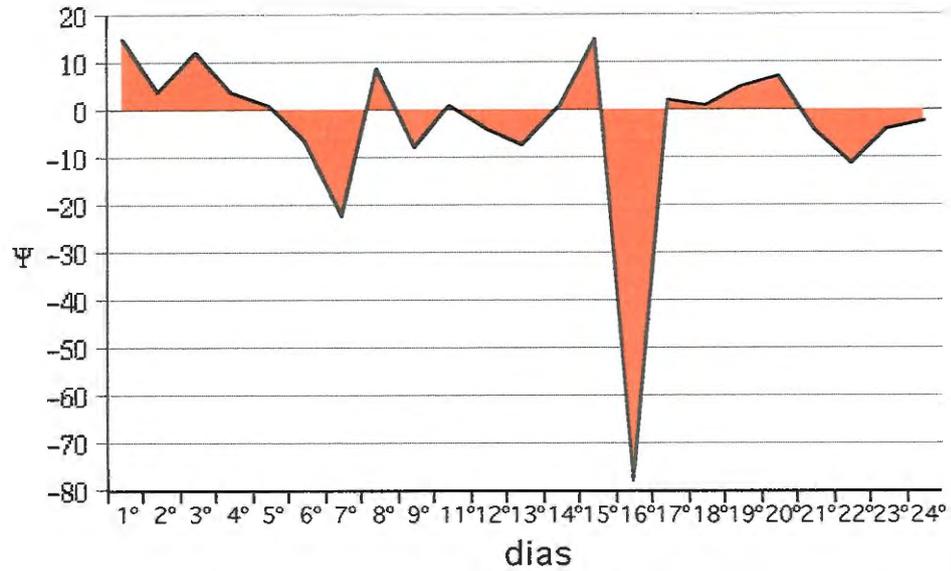


Gráfico 14. Diferenças tensiométricas observadas no Lisímetro durante a 1a. Fase à profundidade P2.

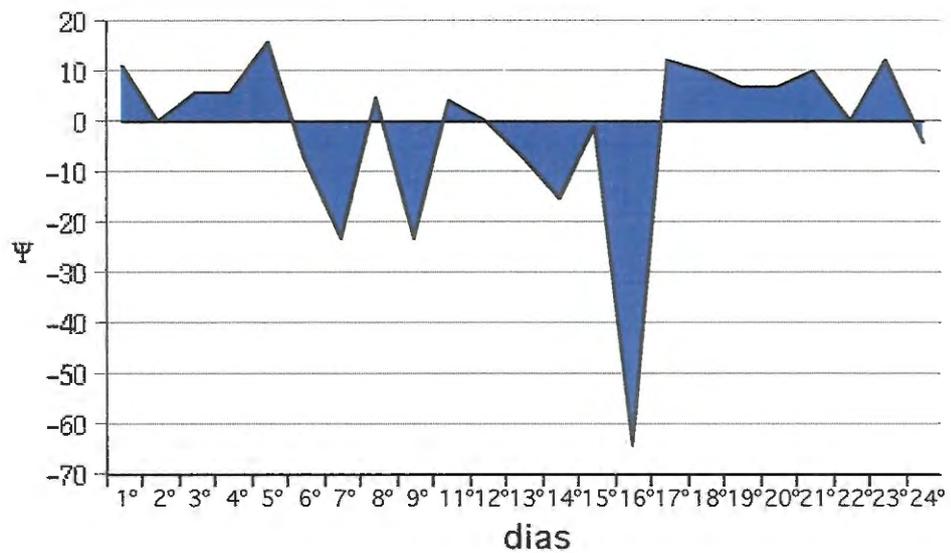


Gráfico 15. Diferenças tensiométricas observadas no Lisímetro durante a 1a. Fase à profundidade P₃.

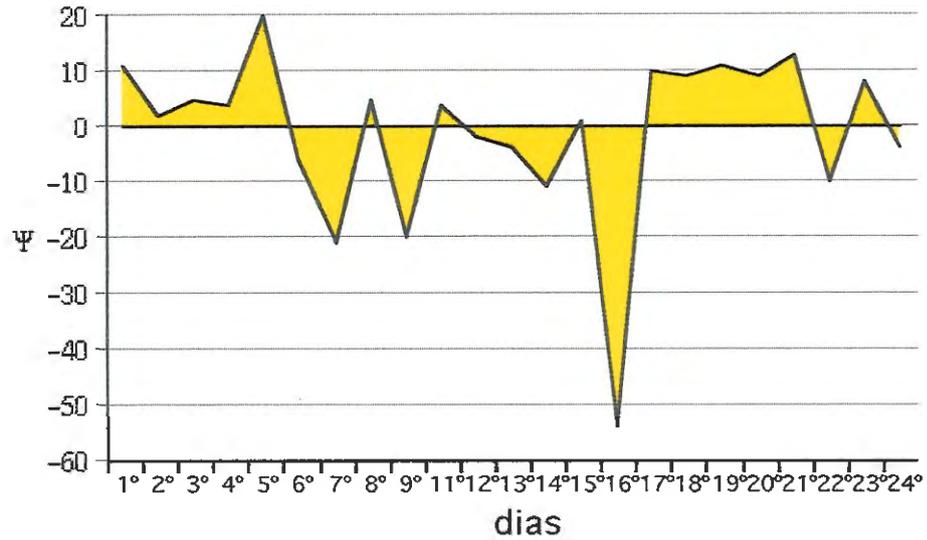


Gráfico 16. Diferenças tensiométricas observadas no Lisímetro durante a 1a. Fase à profundidade P₄.

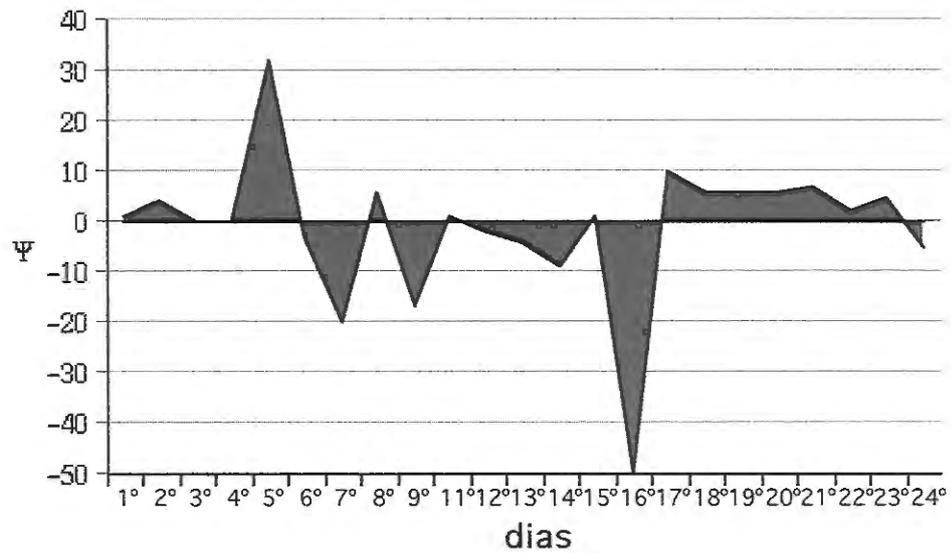


Tabela 18. Diferenças tensiométricas observadas durante a 2a. Fase de desenvolvimento da cultura no Lisímetro.

intervalo de tempo dias	profundidades (cm)			
	P1	P2	P3	P4
1°	0	-36	-23	-11
2°	10	-6	-16	-8
3°	-7	6	11	-1
4°	1	17	17	10
5°	6	11	11	6
6°	-14	20	10	22
7°	14	7	17	-7
8°	5	-79	-74	-35
9°	-3	26	19	1
10°	2	3	3	3
11°	-2	-27	-23	-17
12°	6	-3	-5	-1
13°	6	25	24	13
14°	-5	-11	-9	0
15°	-3	6	3	0
16°	-4	9	7	5
17°	3	13	17	8
18°	4	20	19	9
19°	-11	-16	-19	-5
20°	3	-45	-41	-30
21°	4	19	19	8
22°	-2	15	15	12
23°	-3	16	17	11
24°	5	-2	-2	3
25°	-1	13	13	12
26°	2	23	20	12
27°	0	-1	0	1
28°	-1	13	8	3
29°	-1	-32	-28	-14
30°	1	-32	-28	-12
31°	-2	20	16	-1

Gráfico 17. Diferenças tensiométricas observadas durante a 2a. Fase de desenvolvimento`a profundidade P1.

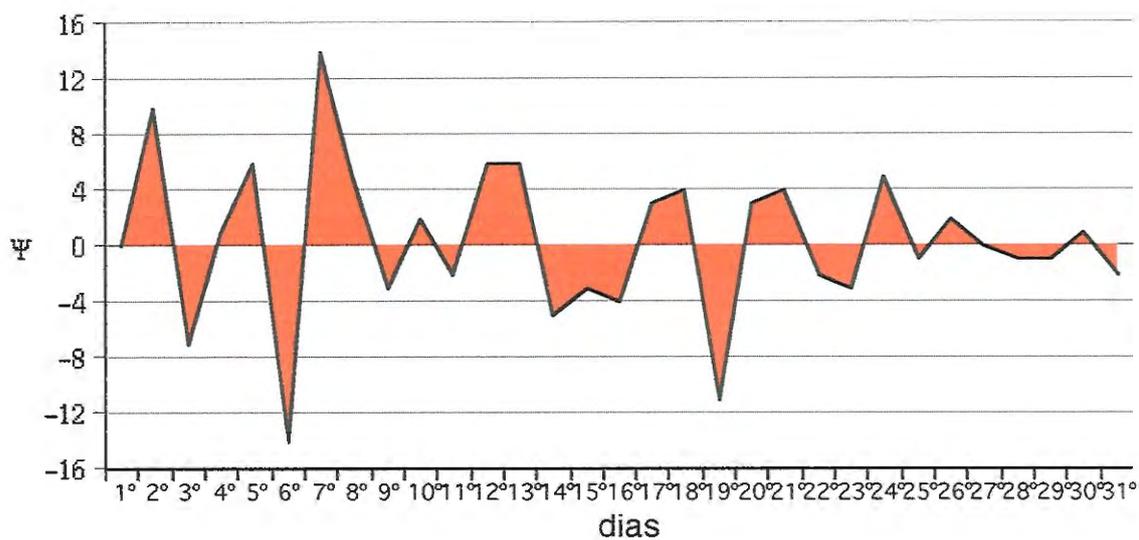


Gráfico 18. Diferenças tensiométricas observadas durante a 2a. Fase de desenvolvimento`a profundidade P2.

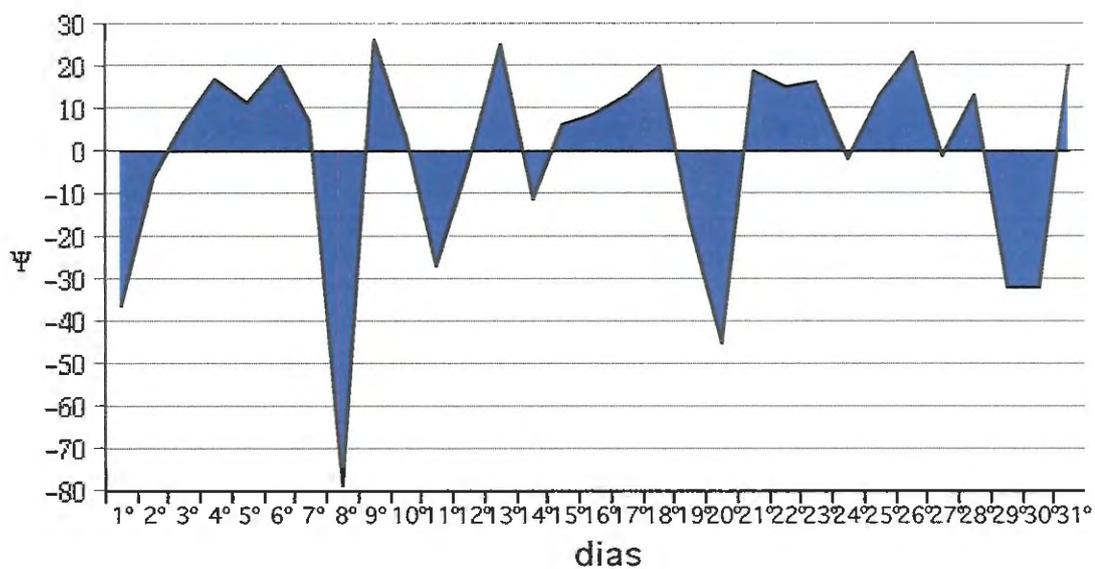


Gráfico 19. Diferenças tensiométricas observadas durante a 2a. Fase de desenvolvimento`a profundidade P3.

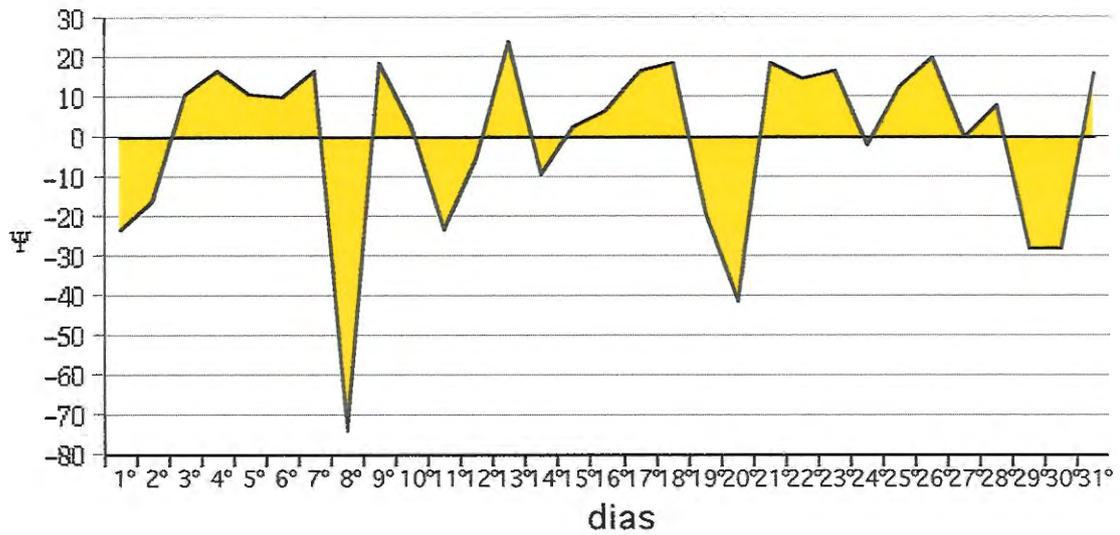


Gráfico 20. Diferenças tensiométricas observadas durante a 2a. Fase de desenvolvimento`a profundidade P4.

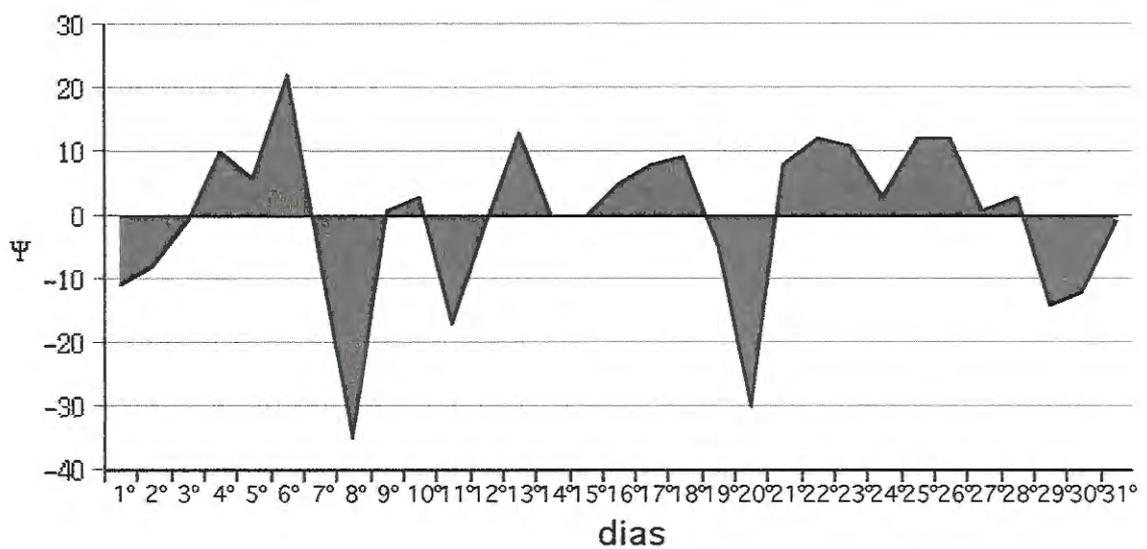


Tabela 19. Diferenças tensiométricas observadas durante a 3a. Fase de desenvolvimento da cultura no Lisímetro.

intervalo de tempo	profundidades (cm)			
	P1	P2	P3	P4
1º	5	-33	-36	-3
2º	-3	2	3	-13
3º	-2	6	13	4
4º	-1	26	22	12
5º	1	7	9	3
6º	-16	-30	-37	-3
7º	11	28	32	9
8º	-1	17	18	9
9º	8	18	14	8
10º	-10	-24	-18	-5
11º	9	6	7	3
12º	-6	-27	-40	-10
13º	3	11	20	2
14º	3	21	28	8
15º	-7	-23	-19	-4
16º	-6	-10	-11	-4

Gráfico 21. Diferenças tensiométricas observadas durante a 3a. Fase de desenvolvimento`a profundidade P1.

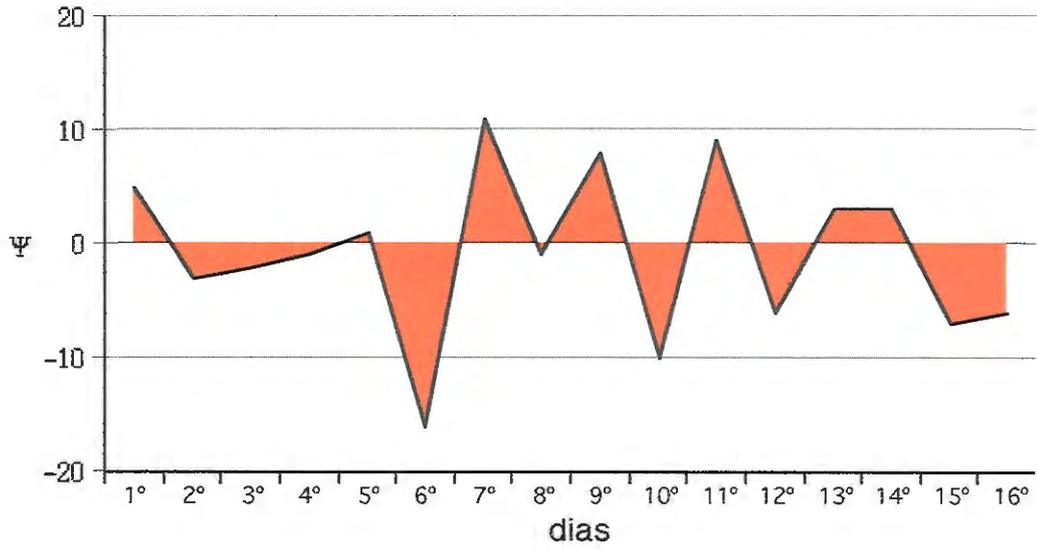


Gráfico 22. Diferenças tensiométricas observadas durante a 3a. Fase de desenvolvimento`a profundidade P2.

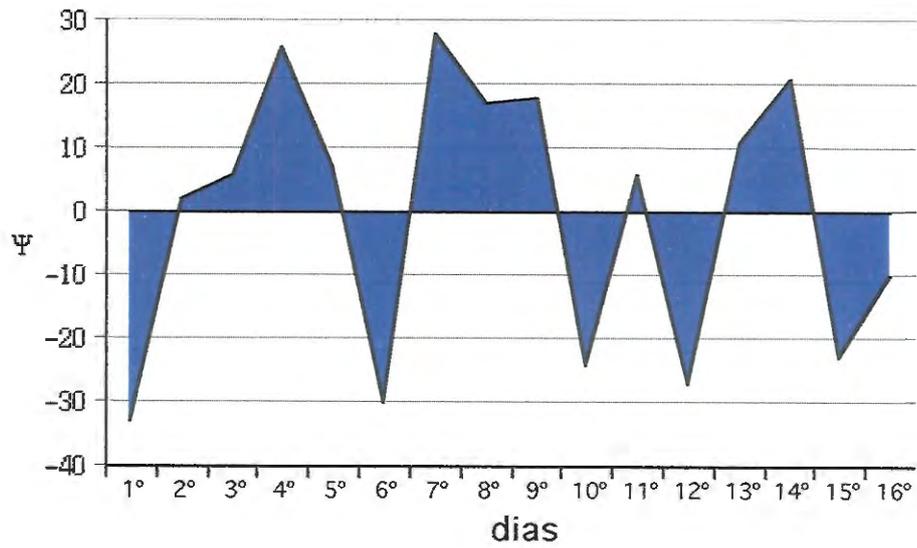


Gráfico 23. Diferenças tensiométricas observadas durante a 3a. Fase de desenvolvimento`a profundidade P3.

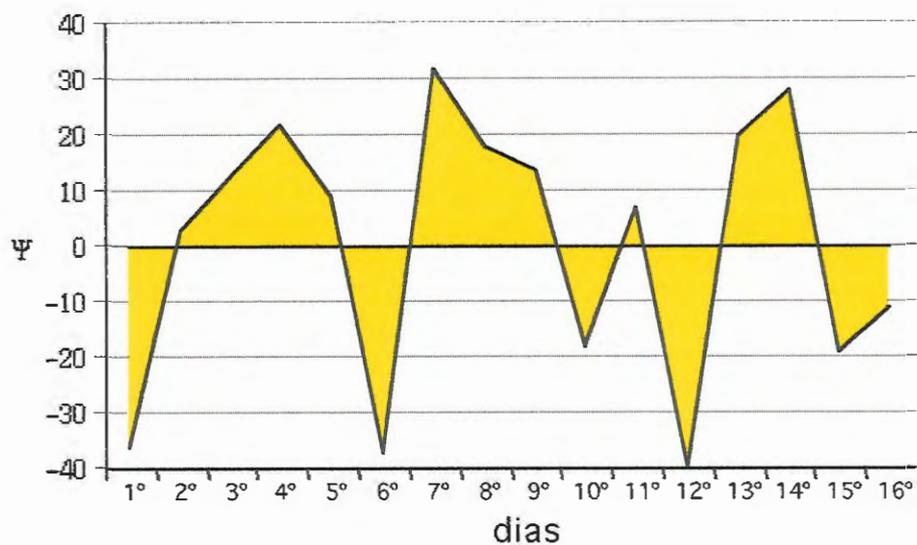


Gráfico 24. Diferenças tensiométricas observadas durante a 3a. Fase de desenvolvimento`a profundidade P4.

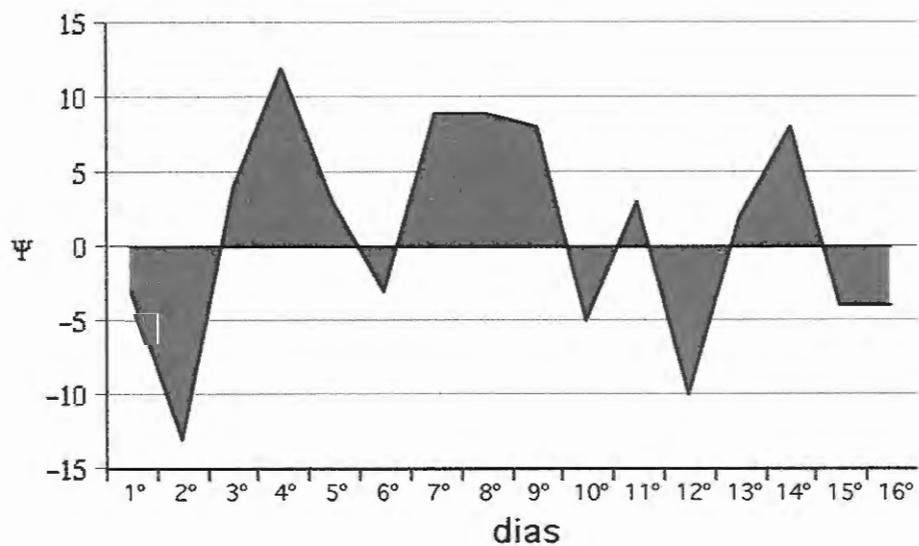


Tabela 20. Médias dos valores de θ , leituras e umidades no Lisímetro (obtidas à partir da tabela 29).

θ (%)	Leitura	Umidade
2.50	1400.00	2.48
5.00	653.30	5.00
5.25	240.83	5.26
5.50	262.00	5.48
5.75	254.58	5.80
6.00	188.33	6.05
6.25	108.47	6.29
6.50	93.90	6.55
7.00	55.62	7.15
7.50	15.50	7.81
10.00	9.00	10.16
12.50	5.50	12.80
15.00	2.50	15.28
17.50	2.11	18.14
20.00	1.75	20.53
22.50	1.58	23.54
25.00	1.17	25.70
27.50	0.63	28.63

Gráfico 25. Valores de leitura (em escala logarítmica) versus θ (%).

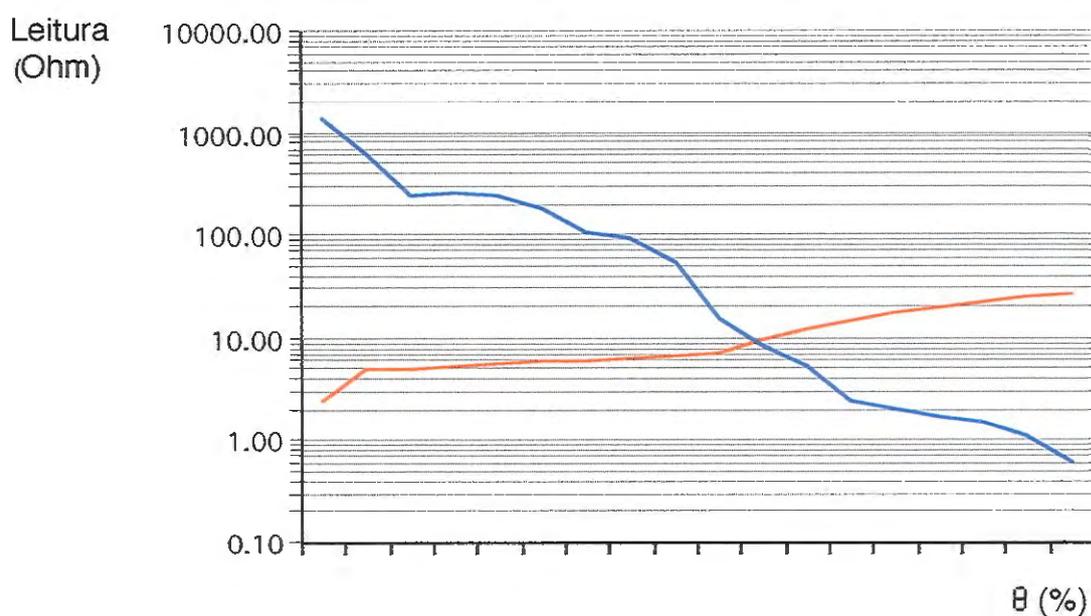
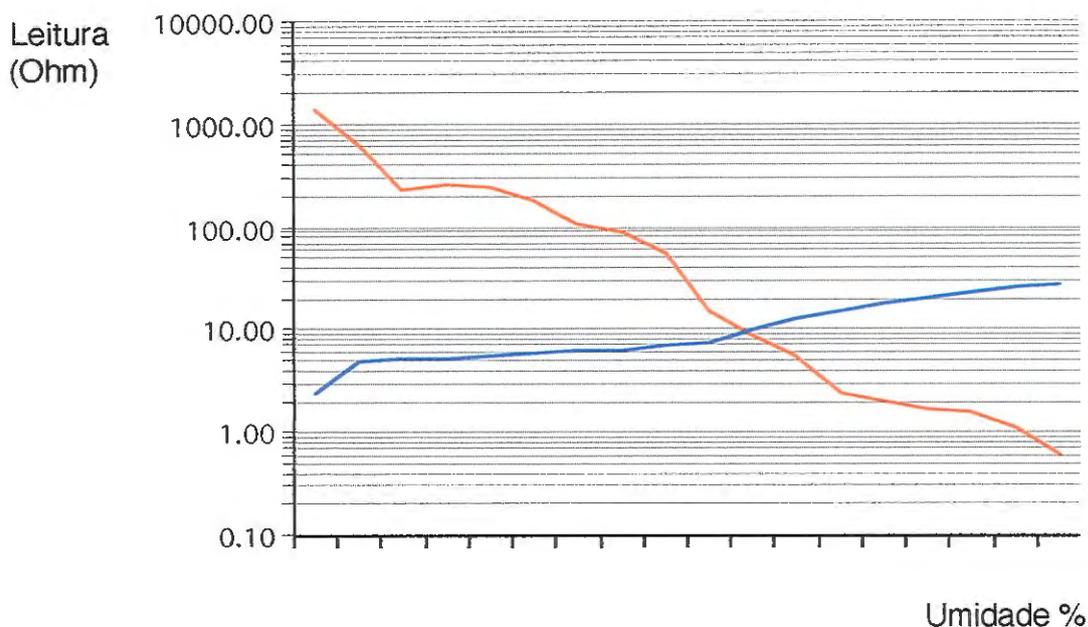


Gráfico 26. Valores de leitura (em escala logarítmica) versus Umidade %.



Baseando-se na Tabela 20 (médias dos valores) obteve-se a Curva de Regressão abaixo com um coeficiente de correlação (r) igual a 0,9774.

$$U (\%) = 22,6388 \cdot L^{-0,2716}$$

onde,

U (%) = umidade em % e

L = leitura em Ohm.

Os gráficos obtidos da tabela 20 (gráficos 25 e 26) mostram o comportamento da umidade (%) em relação ao aparelho medidor de resistência. Observa-se, à medida que a umidade ou θ aumentam, uma diminuição do valor de resistência medido tratando-se, portanto, de um comportamento normal pois quanto maior a umidade, menor a resistência à passagem da corrente elétrica.

Os gráficos obtidos das tabelas 17, 18 e 19 (gráficos 13 a 24) mostram claramente o comportamento do potencial matricial do solo (ψ) à diferentes profundidades durante as fases de desenvolvimento do vegetal. Apesar dos gráficos apresentarem formatos semelhantes, os valores obtidos variam tanto em função da profundidade como do desenvolvimento da cultura. Resumidamente, po

de-se afirmar que:

- na região P₁ (10 cm): a tensão tensiométrica é alta durante a 1a. Fase de desenvolvimento e vai-se reduzindo na 2a. e 3a. Fase mostrando claramente a alteração da região explorada do solo pelas raízes dos vegetais;

- na região P₂ (20 cm): possui uma tendência contrária da anterior, ou seja, na 2a. Fase de desenvolvimento do vegetal apresenta valores maiores que na 1a. Fase e este decresce na 3a. Fase;

- na região P₃ (35 cm): tem uma reação semelhante à região P₂;

- na região P₄ (55 cm): esta região também apresentou alterações, porém pouco significativas demonstrando que não é relativamente afetada pelo desenvolvimento do vegetal.

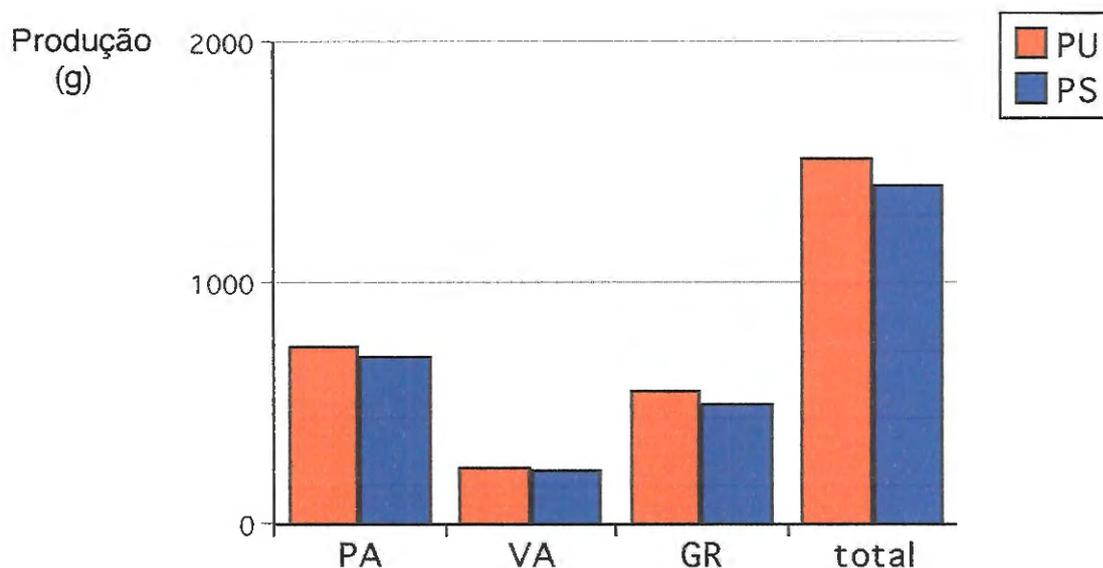
IV.1.3.1. Estimativa de produção no Lisímetro:

Plantou-se no Lisímetro 04 linhas da cultura estudada e no final do ciclo promoveu-se a colheita. Os resultados observados estão contidos na tabela abaixo:

Tabela 21. Pesos das partes da cultura colhida no Lisímetro, em gramas, onde PU é o peso obtido na colheita, PS é o peso seco em estufa, PA é a parte aérea da planta, VA refere-se às vagens e GR aos grãos.

Partes	Pesos	
	PU	PS
PA	740	690
VA	226	215
GR	545	500
total	1511	1405

Gráfico 27. Valores de produção (g) obtidos no Lisímetro:



Estima-se que a produção de grãos deveria ser de 2502 Kg/ha e de massa vegetal total de 3530 Kg/ha.

IV.1.4. Análise de Variância dos tratamentos:

IV.4.1. Total:

Tabela 22. Produção dos tratamentos, em gramas.

		Tratamentos								
		000	IOI	IIO	OIO	III	OOI	OII	IOO	total
b i l o c o s	1	913	2010	1375	1654	2607	1323	1420	1730	13320
	2	888	1730	1579	1455	2392	947	1522	1564	12324
	3	978	1719	1385	1645	2294	931	1537	1359	11909
	4	789	1567	1560	1512	1745	1024	1398	1509	11335
	5	749	1708	2042	1427	1706	992	1823	1466	12259
	6	863	1337	2178	1495	1649	749	1487	1518	11535
	7	980	1501	2197	1703	1573	928	1442	1654	12142
	8	727	1323	2033	1748	1562	935	1417	1890	11958
	9	872	1769	1807	1646	1616	1147	1438	1605	12406
	10	856	2116	1742	1634	1651	1222	1510	1681	12599
	total	8615	16780	17898	15919	18795	10198	14994	15976	121787

- Soma dos quadrados totais: 12.216.593,2
- Soma dos quadrados dos tratamentos: 9.150.835,3
- Soma dos quadrados dos blocos: 334.251,1

IV.1.4.1: quadro da análise de variância:

Quadro 2. Resultado da análise de variância dos tratamentos.

Causa de variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	7	9.150.835,3	1.307.262,19	30,15 **
Blocos	9	334.251,1	37.139,01	0,86 ns
Resíduo	63	2.731.506,8	43.357,25	
Total	79	12.216.593,2		

Observa-se que o teste F foi altamente significativo ao nível de 1% , cujo valor é 2,962, implicando que os resultados dos tratamentos diferiram entre si.

IV.1.4.2. Resultados estatísticos obtidos:

- média geral do ensaio:

$$m = \frac{G}{N} = 1.489,69 \text{ Kg/ parcela.}$$

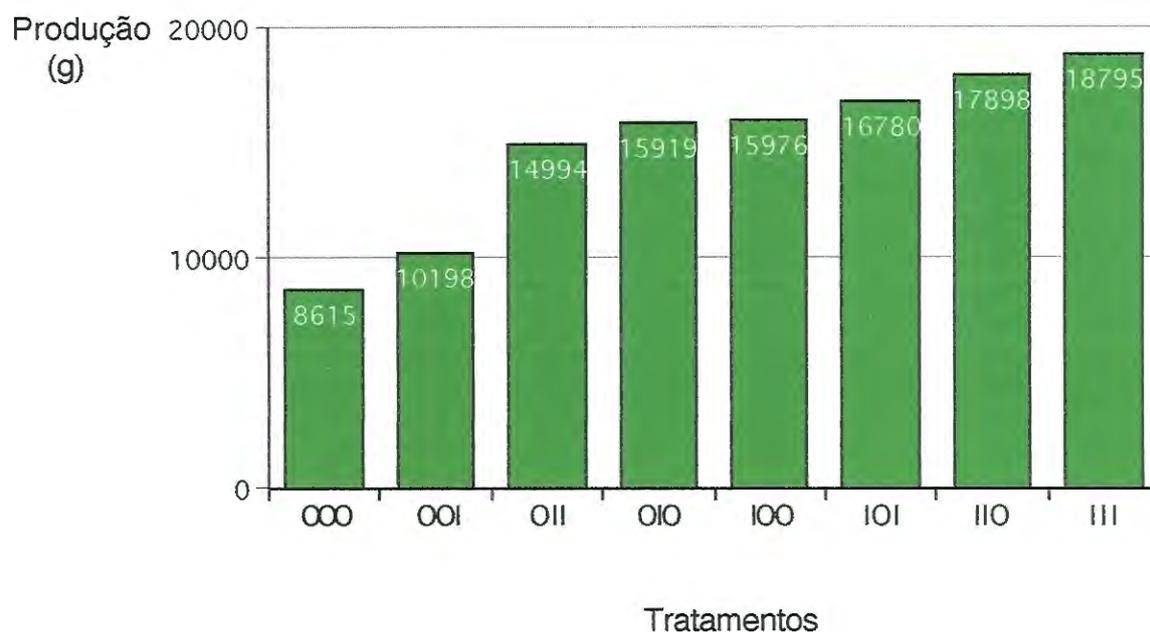
- desvio padrão:

$$S = (\text{QMR})^{1/2} = 208,22 \text{ Kg/ parcela.}$$

- coeficiente de variação:

$$\text{C.V.} = \frac{S}{m} \cdot 100 = 13,98 \%$$

Gráfico 28: Produção total (g) dos tratamentos.



IV.1.4.3. Aplicação do teste da amplitude total estudentizada no Teste de Tukey, ao nível de 1%, cujo valor de $q = 5,0195$:

$$\Delta = q \cdot S / (r)^{1/2}, \text{ onde } r \text{ é o número de repetições}$$

$$\Delta = 5,0195 \cdot 208,22 / (10)^{1/2}$$

$$\Delta = 330,5087 \text{ kg/ parcela}$$

Observando-se os valores totais da parcela obtidos nos tratamentos conclui-se que apenas os tratamentos 100 e 010 não diferiram significativamente.

IV.1.5.1. Análise dos efeitos dos fatores independentes:

IV.1.5.2: Quadro demonstrativo para o cálculo do experimento fatorial 2^3 :

Quadro 3. Valores encontrados para a obtenção do cálculo do experimento fatorial 2^3 , segundo BOX et al. (1978).

$l_{01} - l_{11}$	$l_{02} - l_{12}$	$l_{03} - l_{13}$
(8615 - 15976)	-	-
(10198 - 16780)	-	+
(14994 - 18795)	+	+
+	(16780 - 18795)	+
-	(8615 - 15919)	-
+	(15976 - 17898)	-
-	-	(8615 - 10198)
+	-	(15976 - 16780)
+	+	(17818 - 18995)

IV.1.5.3: Análise de variância para as primeira e segunda fases do desenvolvimento do Feijoeiro.

Tabela 23. Valores de produção nos blocos, em gramas, nas 1a. e 2a. Fases de desenvolvimento da cultura com irrigação (I) e sem irrigação (0).

		1a. Fase		
		0	I	Total
2a. Fase	0	8615	15976	24591
	I	15919	17898	33817
	Total	24534	33874	58408

Quadro 4. Análise de variância para a produção nos blocos nas 1a. e 2a. Fases de desenvolvimento da cultura com irrigação (I) e sem irrigação (O).

Causas da variação	GL	SQ	QM	F
Blocos	9	368.680,9	40.964,54	1,2483 ns
1a. fase	1	2.180.890,0	2.180.890,00	66,4591 **
2a. fase	1	2.127.976,9	2.127.976,90	64,8467 **
Int. 1a. e 2a. fases	1	724.148,1	724.148,10	22,0672 ns
Resíduo	27	886.018,5	32.815,50	
Total	36	6.287.714,4		

Observa-se que os efeitos da irrigação foram altamente significativos na 1a. e 2a. fases e, também, na interação entre elas. O grau de significância somente nas fases mostrou a elevada importância de irrigarmos nestes períodos; quanto à interação pode-se afirmar, após a análise dos dados que a irrigação apresenta importância estatística somente quando atua individualmente.

Gráfico 29a. Produção com e sem irrigação na 1a. Fase de desenvolvimento.

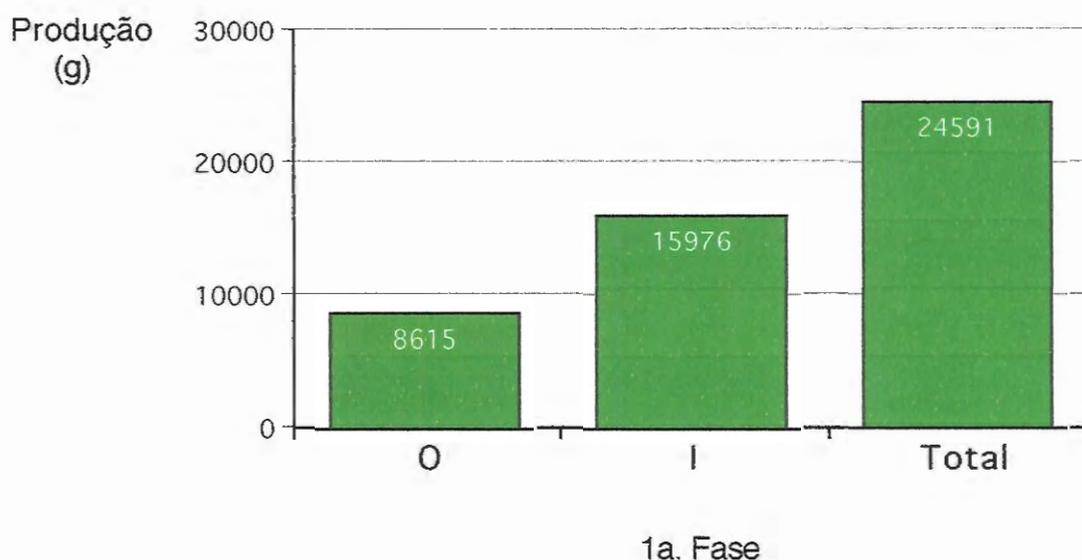
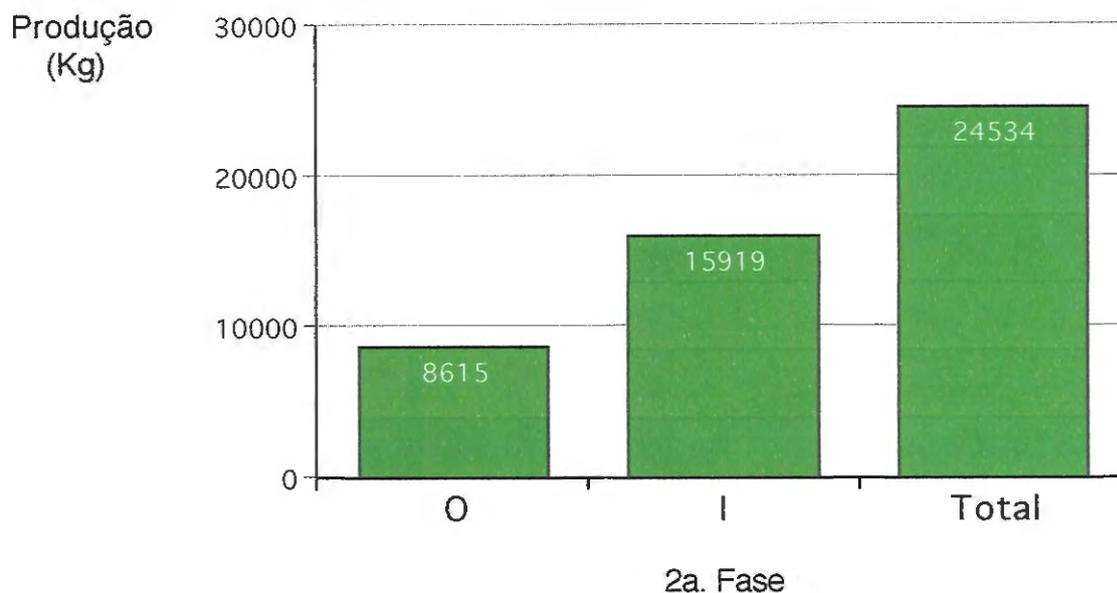


Gráfico 29b. Produção com e sem irrigação na 2a. Fase de desenvolvimento.



IV.1.5.4: Análise de variância para as 1a. e 3a. fases do desenvolvimento do Feijoeiro.

Tabela 24. Valores de produção nos blocos, em gramas, nas 1a. e 3a. Fases de desenvolvimento da cultura com irrigação (I) e sem irrigação (O).

		1a. Fase		
		O	I	Total
3a. Fase	O	8615	15919	24534
	I	10198	14994	25192
	Total	18813	30913	49726

Quadro 5. Análise de variância para a produção nos blocos nas 1a. e 3a. Fases de desenvolvimento da cultura com irrigação (I) e sem irrigação (0).

Causas da variação	GL	SQ	QM	F
Blocos	9	491.628,2	54.625,36	2,17 ns
1a. fase	1	4.860.181,2	4.860.121,22	66,72 **
3a. fase	1	142.444,2	142.444,22	2,71 ns
Int. 1a. e 3a. fases	1	15.171,0	15.171,02	0,29 ns
Resíduo	27	676.880,3	52.552,83	
Total	39	6.186.304,9		

Quando comparamos a 1a. com a 3a. Fase de desenvolvimento, observamos que a irrigação tem um alto grau de importância somente na 1a. das Fases e, sua adição, poderá acarretar aumento de produção em torno de 85%; na 3a., não houve significância e o aumento de produção, devido à irrigação foi de 15%. Também não houve significância na interação entre os tratamentos, mostrando que irrigações alternadas não melhoram a produção da cultura.

Gráfico 30a. Produção com e sem irrigação na 1a. Fase de desenvolvimento.

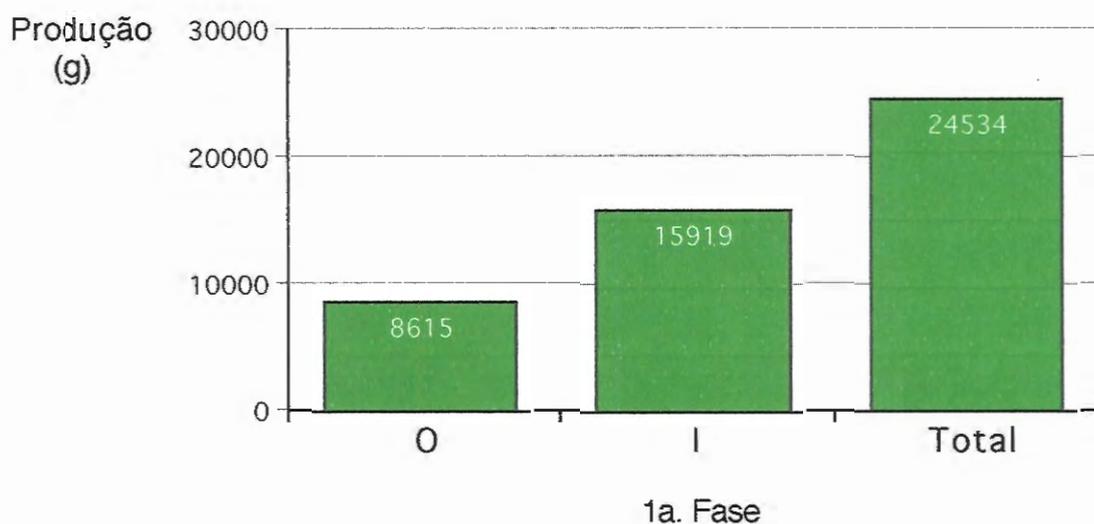
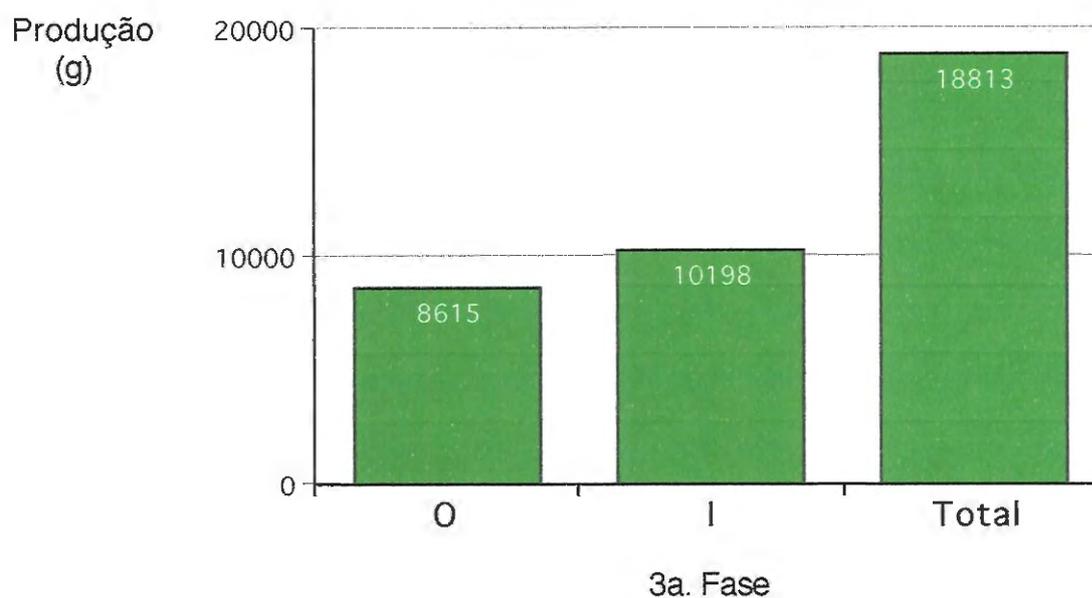


Gráfico 30b. Produção com e sem irrigação na 3a. Fase de desenvolvimento.



IV.1.5.5: Análise de variância para as 2a. e 3a. fases do desenvolvimento do Feijoeiro.

Tabela 25. Valores de produção nos blocos, em gramas, nas 2a. e 3a. Fases de desenvolvimento da cultura com irrigação (I) e sem irrigação (0).

		2a. Fase		
		0	I	Total
3a. Fase	0	8615	15976	24591
	I	10198	16780	26978
	Total	18813	32756	51569

Quadro 6. Análise de variância para a produção nos blocos nas 2a. e 3a. Fases de desenvolvimento da cultura com irrigação (I) e sem irrigação (0).

Causas da variação	GL	SQ	QM	F
Blocos	9	116.623,6	12.958,18	0,7783 ns
2a. fase	1	3.360.250,0	3.360.250,00	219,8329 **
3a. fase	1	10.824,1	10.824,10	0,6501 ns
Int. 2a. e 3a. fases	1	157.251,6	157.251,60	9,4400 **
Resíduo	27	449.553,8	16.650,14	
Total	39	4.094.503,1		

Pelos resultados da análise estatística observa-se que a irrigação na segunda fase do desenvolvimento possui alto grau de significância ao teste F. Pode-se inferir que a irrigação nesta fase produz aumentos de 85% na produção; não houve significância do tratamento na terceira fase. Quanto à interação entre irrigações em fases alternadas, o resultado mostrou que irrigação somente na 2a. Fase (ausência na 3a.) é altamente significativa, porém na 2a. Fase com a presença de irrigação mostrou também certa significância; não houve significância quando a 3a. Fase foi analisada com a segunda.

Gráfico 31a. Produção com e sem irrigação na 2a. Fase de desenvolvimento do Feijoeiro.

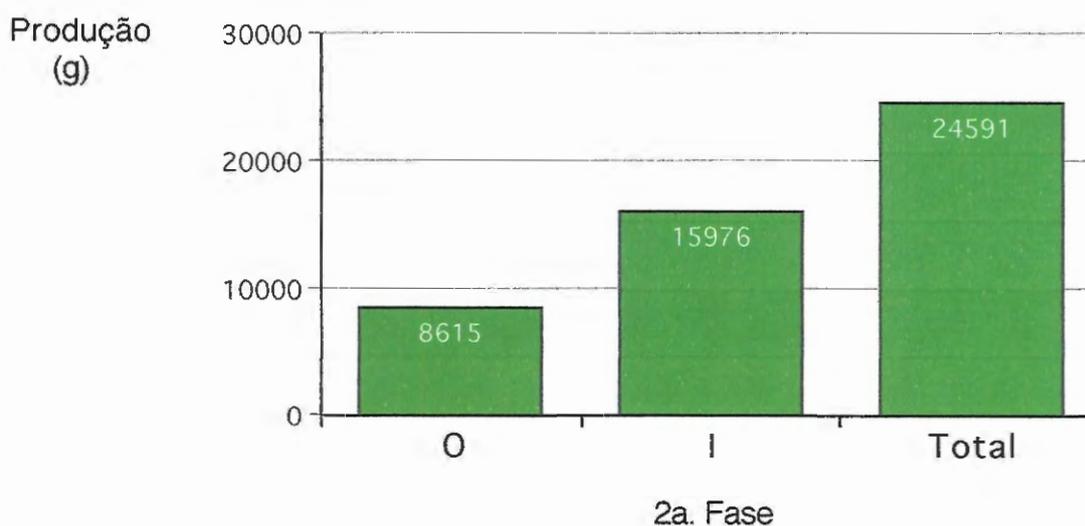
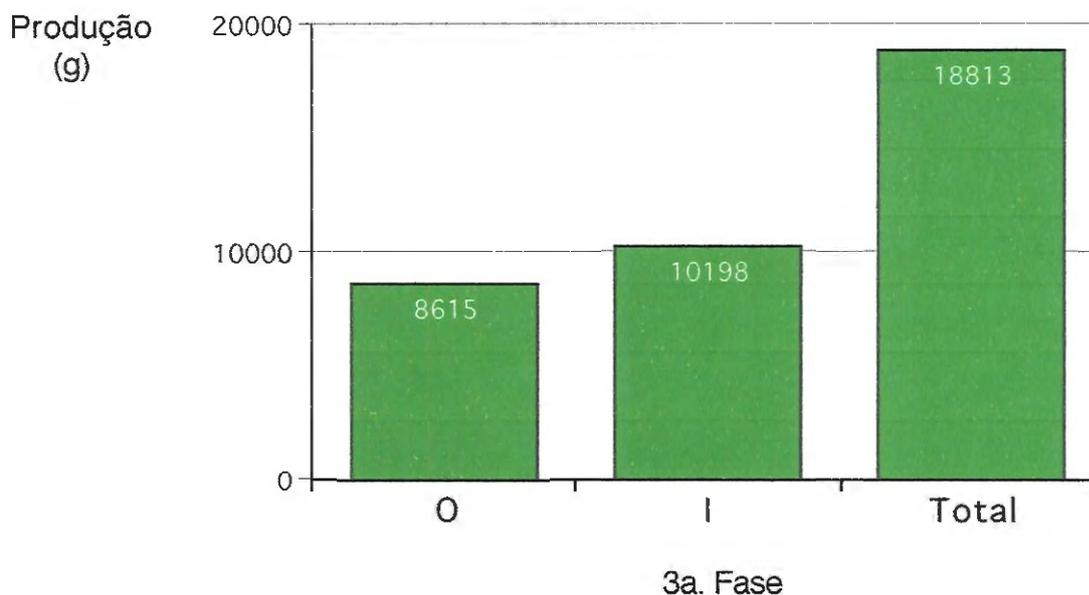


Gráfico 31b. Produção com e sem irrigação na 3a. Fase de desenvolvimento do Feijoeiro.



O resultado da análise estatística dos valores mostra claramente aquela tendência observada, qual seja, se houver deficiência de água na 1a. Fase do desenvolvimento da cultura, as demais estarão prejudicadas. Neste caso, especificamente, a análise nos mostrou que a irrigação na 3a. Fase não contribui para aumentos significativos na produção total.

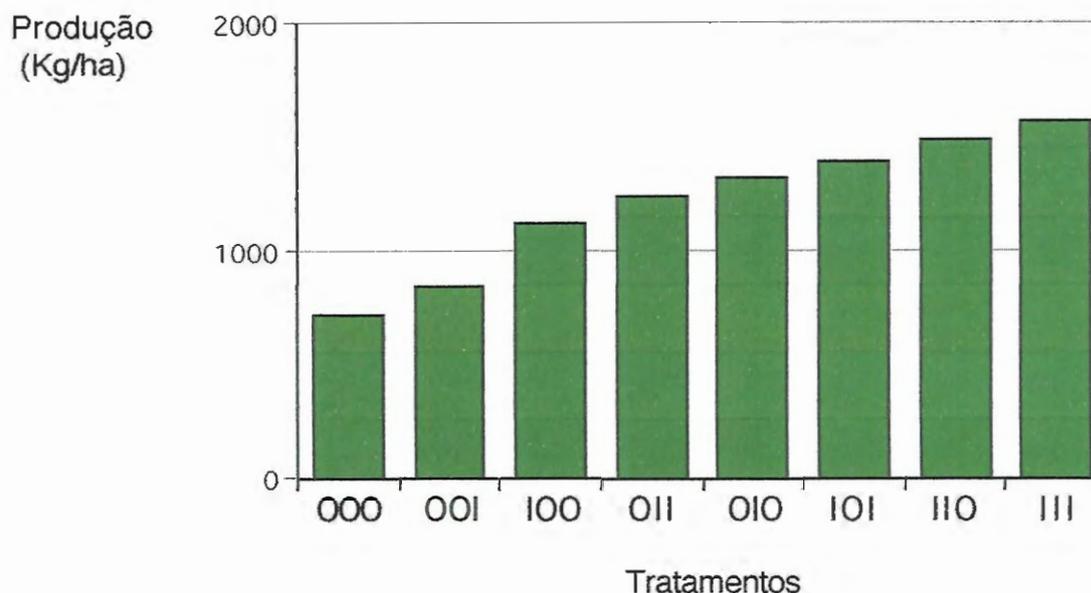
IV.1.6. Estimativa de produção por ha (Kg/ha):

Baseado na produção obtida nos tratamentos fez-se uma estimativa para se determinar a quantidade produzida por hectare. Levou-se em consideração a área e a produção total dos tratamentos. A tabela abaixo mostra os valores encontrados.

Tabela 26. Valores da produção estimada, em Kg/ha.

Tratamentos	000	00I	100	01I	010	10I	110	III
Produção	718	849	1131	1249	1326	1398	1491	1566

Gráfico 32. Estimativa de produção dos tratamentos:



Observa-se que os tratamentos que não receberam irrigação na 1a. Fase de desenvolvimento apresentaram valores inferiores a 1000 Kg/ha mostrando que durante esta fase a suscetibilidade à falta de água estende-se para todo o ciclo da cultura, exceto o tratamento OIO que reagiu à irrigação aplicada na 2a. fase.

Tabela 27. Aumentos ou diminuições nos rendimentos em função da da irrigação nas três Fases de desenvolvimento.

		Tratamentos							
		000	00I	100	0II	0IO	10I	110	III
T r a t a m e n t o s	000	-	-15	-37	-43	-46	-49	-52	-54
	00I	18	-	-25	-32	-36	-39	-43	-46
	100	58	33	-	-9	-15	-19	-24	-28
	0II	74	47	10	-	-6	-11	-16	-20
	0IO	85	56	17	6	-	-5	-11	-15
	10I	95	65	24	12	5	-	-6	-11
	110	108	76	32	19	12	7	-	-5
	III	118	85	39	25	18	12	5	-

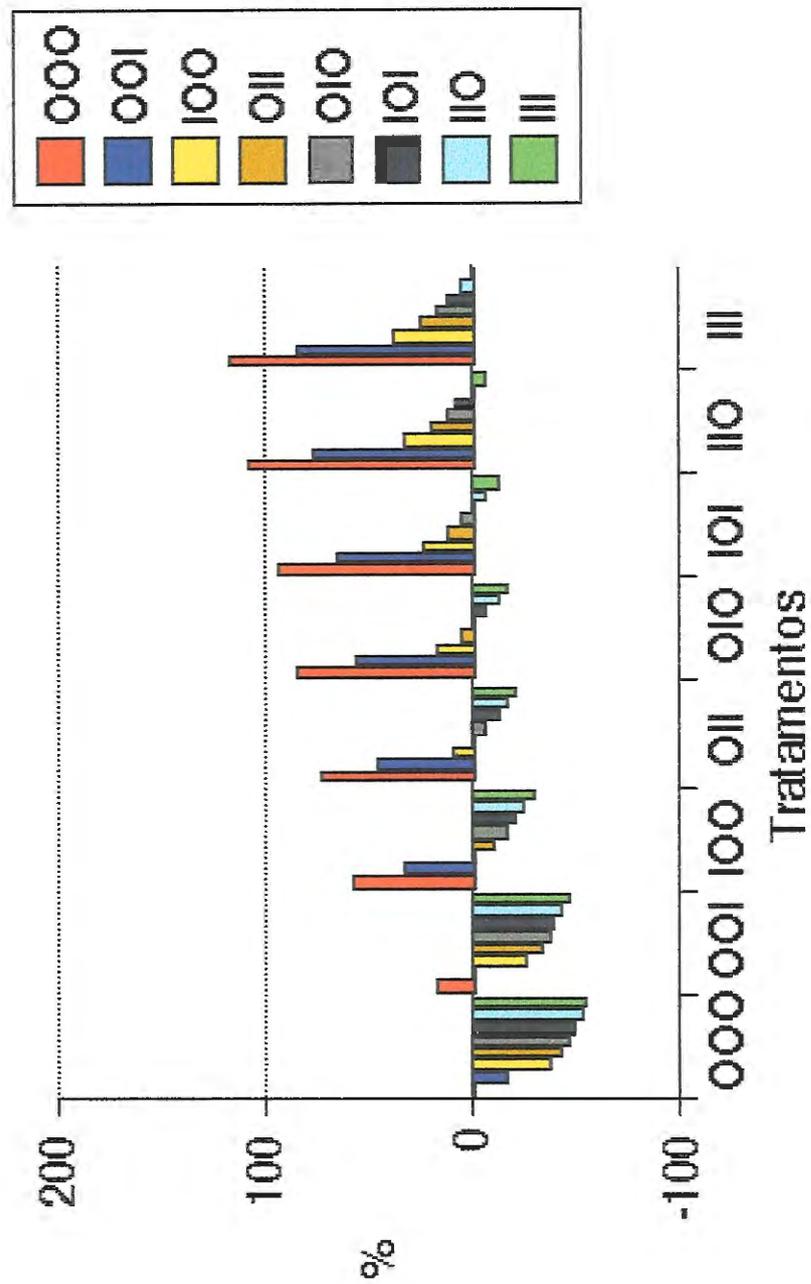


Gráfico 33. Aumentos ou reduções na produção em função da irrigação nas três Fases de desenvolvimento.

O Tratamento que recebeu irrigação apenas na 1a. Fase (IOO) apresentou produção superior ao OOO e OOI; o irrigado apenas na 2a. (OIO) produziu mais que OOO, OOI, IOO e OII; recebendo água apenas na 3a. (OOI), a quantidade produzida foi superior apenas ao OOO.

Entre os Tratamentos que receberam irrigação em duas Fases consecutivas de seu desenvolvimento, pode-se afirmar que o OII teve produção maior que OOO, IOO e OOI, enquanto o IIO produziu mais que todos os outros, exceto ao III.

Nos Tratamentos que receberam irrigação em Fases alternadas, observa-se que OIO teve produção superior ao OOO, OOI, IOO e OII, enquanto o IOI produziu mais que todos os outros exceto ao IIO e III.

Entre aqueles Tratamentos que apresentaram produções com uma variação de 100 Kg/ha, entre si, como IOI e IIO, IOI e OIO e IIO e III, pode-se afirmar que a produção do IOI foi 7% maior que IIO, enquanto IOI mostrou-se 5% maior que OIO; a produção do III foi 5% maior que IIO.

IV.1.7. Quantidades de água aplicadas nos tratamentos:

Sabendo-se que o ciclo da cultura foi dividido em três fases, a saber: 1ª Fase correspondente a 24 dias (de 04/09 a 27/09) iniciando-se na germinação até o aparecimento do primeiro botão floral, 2ª Fase de 32 dias (de 28/09 a 29/10) com início no surgimento do primeiro botão floral até a formação das vagens e 3ª Fase de 16 dias (de 30/10 a 14/11) que se inicia na formação e termina no completo desenvolvimento das vagens, aplicou-se durante todo este período as quantidades de água relacionada na tabela abaixo:

Tabela 28. Quantidades de água aplicada nos Tratamentos (em mm).

Tratam.	irrig.	precip.	irrig.	precip.	irrig.	precip.	irrig.	precip.
OOO	0.0	72.1	0.0	130.0	0.0	23.3	0.0	225.4
OOI	0.0	72.1	0.0	130.0	64.0	23.3	64.0	225.4
IOO	96.0	72.1	0.0	130.0	0.0	23.3	96.0	225.4
OIO	0.0	72.1	128.0	130.0	0.0	23.3	128.0	225.4
IOI	96.0	72.1	0.0	130.0	64.0	23.3	160.0	225.4
OII	0.0	72.1	128.0	130.0	64.0	23.3	192.0	225.4
IIO	96.0	72.1	128.0	130.0	0.0	23.3	224.0	225.4
III	96.0	72.1	128.0	130.0	64.0	23.3	288.0	225.4

Gráfico 34: Quantidades totais de água aplicada nos Tratamentos.

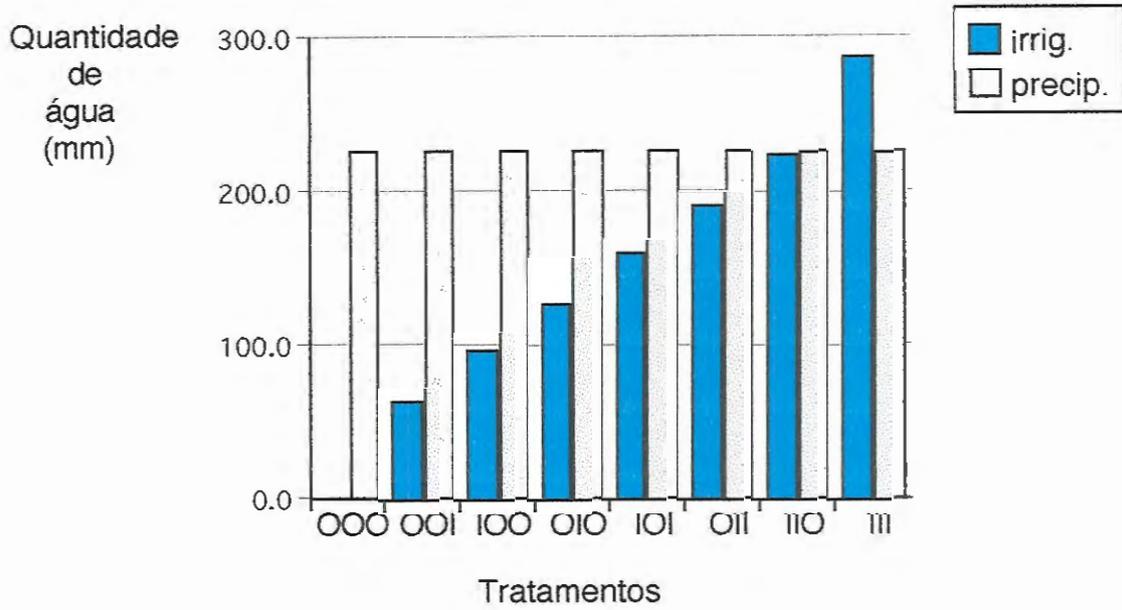
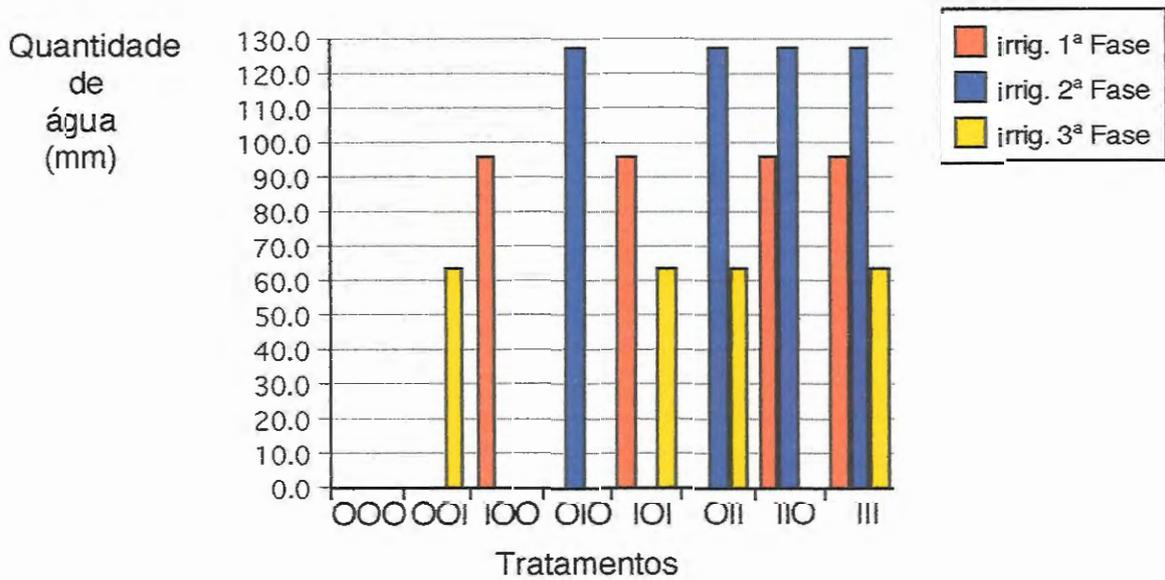


Gráfico 35: Quantidades de água aplicada nos Tratamentos durante as Fases de desenvolvimento da cultura.



IV.1.8. Rendimento máximo e a Produção dos Tratamentos:

O Rendimento Máximo (Y_m) obtida no Lísímetro é, teoricamente, a maior produção que se pode obter de uma cultura em condições ideais de água, clima, solo, nutrientes, controle de ervas daninhas e fitossanitário. Deste modo, obteve-se um valor para Y_m de 2.502 Kg/ha.

Os tratamentos de campo, apesar de todo o controle que se efetuou, não obteve produções iguais à do Lisímetro. Os valores da produção dos Tratamentos, da quantidade de água aplicada e sua relação com o Rendimento Máximo são mostrados na Tabela 29.

Tabela 29. Quantidade de água aplicada. Produção dos Tratamentos e a relação Produção/ Y_m .

Tratamento	irrigação (mm)	Produção (Kg/ha)	Produção/ Y_m
OOO	0	718	0.29
OOI	64	849	0.34
IOO	96	1131	0.45
OII	192	1249	0.50
OIO	128	1326	0.53
IOI	160	1398	0.56
IIO	224	1491	0.60
III	288	1566	0.63

Gráfico 36: Produção dos Tratamentos (Kg/ha) e quantidade de água aplicada (mm).

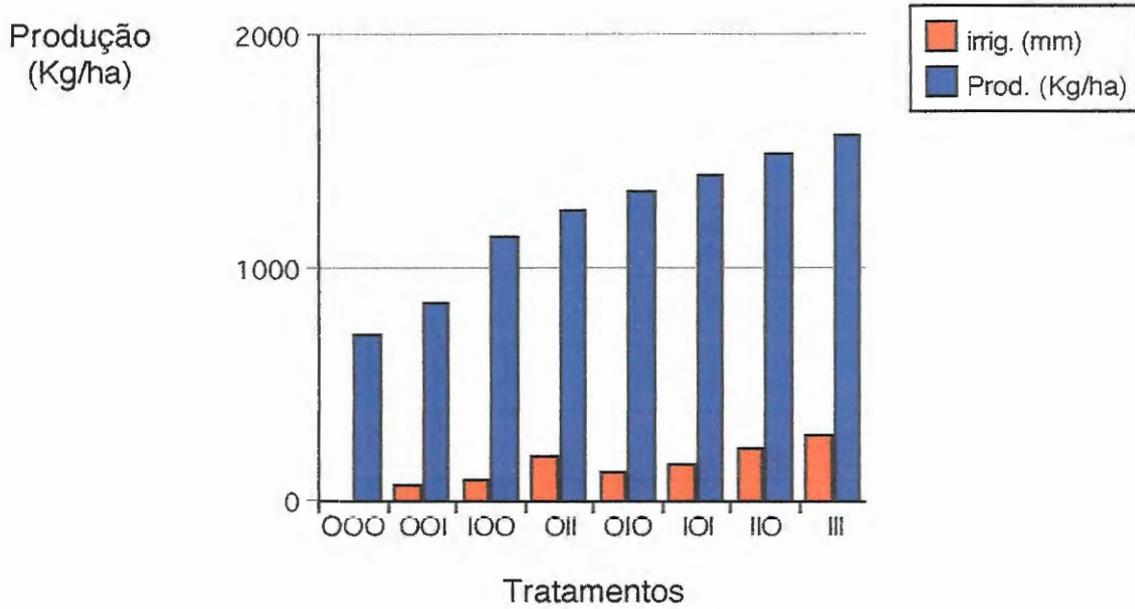
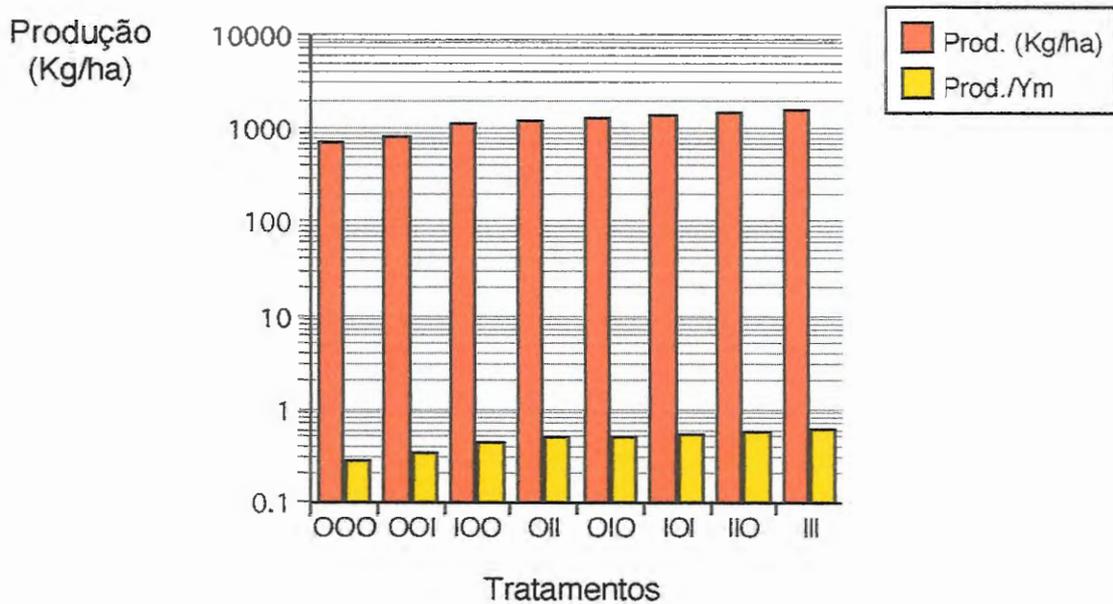


Gráfico 37: Produção dos Tratamentos (em escala logarítmica) e a relação Produção/Ym.



A tabela 28 mostra a quantidade de água colocada à disposição da cultura, tanto através da irrigação como precipitação. Observa-se que a precipitação ocorrida durante o experimento só não foi superior ao Tratamento que recebeu irrigação durante as três Fases de desenvolvimento da cultura. Apesar de toda esta precipitação ocorrida, os Tratamentos apresentaram diferenças significativas comprovando o fato de que a água deve estar disponível em quantidades necessárias e nas épocas adequadas ao desenvolvimento da cultura.

O gráfico 36 mostra a resposta da produção da cultura à aplicação de irrigação. Assim, quanto maior o volume de água aplicado, maior é a produção dos Tratamentos, exceto o OII cuja resposta não seguiu os padrões dos outros demonstrando a importância da água na 1ª. Fase de desenvolvimento da cultura.

IV.2. Discussão geral:

Os resultados obtidos no experimento e contidos nas tabelas de 7 a 14 mostram os pesos resultantes da colheita da cultura. Pode-se observar que a variabilidade dentro de cada Tratamento está dentro dos padrões propostos para experimentos de campo. Assim, a análise estatística total mostrou que os Tratamentos diferiram entre si (Quadro 2). Entretanto, com trata-se de um experimento Fatorial, faz-se necessário a verificação individual de cada Tratamento. Desta forma, verificou-se a importância da irrigação principalmente durante a 1a. e 2a. Fase do desenvolvimento da cultura; encontrou-se, também, resultados que não indicaram significância entre suas interações, levando à conclusão de um efeito aditivo, conforme mostra o Quadro 4. A análise Estatística aplicada entre a 1a. e 3a. Fase revelou importância apenas da 1a. nos resultados obtidos (Quadro 5). Da mesma forma, entre a 2a. e 3a. Fase encontrou-se significância apenas para a 2a. (Quadro 6).

Assim, o Tratamento que recebeu irrigação apenas na 1a. Fase (IOO) teve produção superior apenas sobre o que não recebeu irrigação (OOO). Aquele irrigado somente na 2a. Fase (OIO) resultou numa colheita maior em relação ao OII (6%), ao IOO (17%), ao OOI (56%) e ao OOO (85%); o Tratamento irrigado apenas na 3a. Fase (OOI) obteve um resultado superior apenas ao OOO (18%); quanto aos Tratamentos que receberam irrigação em duas Fases consecutivas, o OII e IIO, pode-se afirmar que OII produziu mais que IOO (10%), OOI (47%) e ao OOO (74%) enquanto que o IIO obteve resultado superior a todos os outros exceto ao III, conseqüentemente IIO produziu 19% a mais que OII; quando a irrigação ocorre em fases alternadas, OIO e IOI, a colheita proporcionada por IOI é 5% maior que a do OIO.

Conforme observa-se, a redução de produção quando não há irrigação nas 1a. e 2a. Fases foi em torno de 46% em relação ao que a recebeu nas três Fases (III). Este resultado concorda com o obtido por GARRIDO et al. (1978) que registrou uma redução de 42%. DUBENTZ e MAHALLE (1969) também constataram uma redução de 53% na produtividade da cultura sob stress hídrico antes do florescimento.

Pode-se, ainda, inferir que a irrigação nas duas primeiras fases de desenvolvimento (do plantio ao aparecimento das vagens) são extremamente importantes para a cultura pois a redução de produção em relação ao irriga-

do nas três fases foi de apenas -5%. Este resultado concorda com o obtido por DOORENBOS & PRUITT (1976) que estabeleceram uma escala crítica de prejuízos para a cultura, em ordem decrescente, a saber: floração e aparecimento das vagens - anterior ao florescimento - maturação.

Enfim, pode-se dizer que a irrigação suplementar no feijão “da seca”, além de estabilizar, aumenta a produção conforme verificou-se nos tratamentos que a receberam. Assim, o tratamento que recebeu irrigação em todas as Fases de seu desenvolvimento produziu 1,566 t/ha, valor este que se enquadra na produção obtida por CAIXETA et al. (1981) que foi de 1,5 a 2,5 t/ha.

V. Conclusão:

Pode-se concluir, pelos resultados obtidos por este experimento, a importância da irrigação nas fases de desenvolvimento da cultura do feijoeiro da seguinte maneira:

- a irrigação é importante em todas as fases de seu desenvolvimento;
- dentre estas Fases, as 1a. e 2a. são mais importantes que a última;
- o grau de importância da irrigação nas duas primeiras etapas é praticamente o mesmo;
- quando comparamos a 2a. com a 3a. Fase, a importância da 2a. é extremamente grande;
- a irrigação somente nas duas primeiras Fases pode produzir uma quantidade bem próxima àquele irrigado nas três, e
- na falta de irrigação na 1a. Fase, a 2a. torna-se extremamente importante;

VI. Sugestões para experimentos futuros:

- Nas fases de desenvolvimento da cultura:

Conforme observou-se, a irrigação é extremamente importante em todas as fases de desenvolvimento da cultura do feijão “ de sequeiro”. Entretanto, há duas fases de desenvolvimento - 1a. e 2a. - onde a irrigação é primordial.

Assim, sugere-se que estas duas primeiras fases sejam subdivididas em duas ou três para que possamos avaliar os efeitos da irrigação num intervalo de tempo menor durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura.

Poderia-se partir das etapas de desenvolvimento do feijão comum propostas por GEPTS & FERNADÉZ (1982) que dividem o desenvolvimento da cultura em 02 fases - vegetativa e reprodutiva - cada qual com 05 subdivisões.

Com o possível advento da Cobrança pelo Uso da Água, já utilizada em diversos países do Mundo, talvez houvesse alguma(s) fase(s) dentro desta nova subdivisão que proporcionasse um melhor uso da água e, conseqüentemente, um rendimento maior para o produtor.

- Adição de cobertura na superfície do solo:

A adição de cobertura, denominada de cobertura morta, na superfície dos solos proporcionaria uma economia de água, pois durante a fase inicial do desenvolvimento, a evaporação seria reduzida e, portanto, a evapotranspiração menor.

Poderia-se também utilizar como cobertura morta, não apenas os restos vegetais e resíduos animais, mas também os provenientes de outras fontes como, por exemplo, das estações de Tratamento de Esgotos e Lixos.

- Cultivo Mínimo:

Poderia-se repetir este experimento em condições de cultivo mínimo. Este tipo de prática agrônômica que promove o plantio após a colheita da cultura anterior sem utilizar as etapas convencionais de preparo do solo (aração e gradagem) deverá proporcionar novos resultados.

Tabela 30a. Valores de Umidade (%) e Tensão Matricial obtidos na cultura instalada no Lisímetro.

Data	Células (%)				Tensiômetros (mm Hg)			
	10 (profundidade, em cm)	20	30	55	10	20	35	55
04/09	16,11	22,64	13,35	15,55	93	67	66	56
05/09	17,65	22,64	13,92	17,65	78	56	55	55
06/09	17,65	22,64	13,92	15,55	74	56	53	51
07/09	18,75	22,64	13,92	15,55	62	50	48	51
08/09	18,75	27,33	14,25	15,54	58	44	44	51
09/09	20,28	27,33	16,11	16,80	57	28	24	19
10/09	17,65	27,33	15,54	14,62	63	35	30	22
11/09	18,75	27,33	16,11	17,65	85	58	51	42
12/09	18,75	22,64	15,55	16,11	76	53	46	36
13/09	17,65	22,64	15,55	16,11	84	76	66	53
14/09	17,65	22,64	15,55	16,11	83	72	62	52
15/09	17,65	22,64	15,05	16,11	87	72	64	54
16/09	17,65	22,64	15,05	16,11	94	79	68	58
17/09	17,65	20,28	15,05	15,54	93	94	79	67
18/09	18,75	22,64	15,54	16,11	108	93	80	68
19/09	18,75	22,64	15,54	16,11	30	29	26	18
20/09	16,80	20,28	15,54	15,54	32	41	36	28
21/09	16,11	20,28	15,05	15,54	33	51	45	34
22/09	15,54	18,75	15,05	15,54	38	58	56	40
23/09	15,05	18,75	15,05	15,54	45	65	65	46
24/09	15,05	18,75	15,05	15,54	41	75	78	53
25/09	15,05	17,65	15,05	15,54	30	75	68	55
26/09	15,05	17,65	15,05	15,54	26	87	76	60
27/09	15,05	17,65	14,62	15,54	24	83	72	55
28/09	16,11	17,65	15,05	15,54	24	47	49	44
29/09	16,11	17,65	14,62	15,54	34	41	33	36
30/09	16,11	17,65	15,05	15,54	27	47	44	35
01/10	15,54	17,65	15,05	15,54	28	64	61	45
02/10	15,54	17,65	15,05	15,54	34	75	72	51
03/10	14,62	15,54	14,62	15,54	20	95	82	73
04/10	15,54	16,11	15,05	15,54	34	102	99	66
05/10	17,65	17,65	15,05	15,54	39	23	25	31
06/10	17,65	16,80	15,05	15,54	36	49	44	32
07/10	16,11	16,80	15,05	16,11	38	52	47	35
08/10	18,75	18,75	15,54	16,80	36	25	24	18

Tabela 30b. Valores de Umidade (%) e Tensão Matricial obtidos na cultura instalada no Lisímetro (cont.)

Data	Células (%)				Tensiômetro (mm de Hg)			
	10 (profundidade em cm)	20	35	55	10	20	35	55
09/10	18,75	17,65	15,54	16,80	42	22	19	17
10/10	17,65	17,65	15,05	16,11	48	47	43	30
11/10	16,11	17,65	15,05	16,11	43	36	34	30
12/10	15,54	17,65	14,62	16,80	40	42	37	30
13/10	15,54	16,11	13,34	17,65	36	51	44	35
14/10	15,54	16,80	13,62	17,65	39	64	61	43
15/10	15,54	16,80	13,34	17,65	43	84	80	52
16/10	15,54	16,80	13,34	17,65	34	68	61	47
17/10	18,75	18,75	14,25	20,28	32	23	20	17
18/10	16,80	18,75	14,25	20,28	35	42	39	25
19/10	15,54	17,65	13,92	18,75	39	57	54	37
20/10	15,54	17,65	13,92	18,75	37	73	71	48
21/10	15,54	17,65	13,34	18,75	34	71	69	51
22/10	15,05	17,65	13,10	18,75	39	84	82	63
23/10	15,05	17,65	12,87	18,75	38	107	102	75
24/10	14,62	17,65	12,66	18,75	41	106	102	76
25/10	14,62	16,80	12,28	18,75	41	119	110	79
26/10	15,54	17,65	12,46	18,75	40	87	82	65
27/10	16,80	17,65	12,87	18,75	39	55	54	53
28/10	16,11	18,75	13,34	18,75	40	75	70	52
29/10	15,54	18,75	13,34	18,75	38	79	78	54
30/10	15,05	18,75	13,62	18,75	43	46	42	51
31/10	16,80	18,75	13,92	18,75	40	48	45	38
01/11	16,11	18,75	13,92	18,75	38	54	58	42
02/11	15,54	18,75	14,25	20,28	37	80	80	54
03/11	15,05	18,75	14,25	18,75	38	93	89	57
04/11	15,54	17,65	14,25	18,75	22	63	52	54
05/11	15,54	17,65	14,25	18,75	33	91	84	63
06/11	15,54	16,80	14,25	18,75	32	108	102	72
07/11	15,54	16,11	14,25	18,75	40	126	116	80
08/11	16,11	16,11	14,25	18,75	30	102	98	75
09/11	15,54	15,54	14,25	18,75	39	108	105	78
10/11	15,54	15,54	14,25	18,75	33	81	65	68
11/11	15,05	15,54	14,25	18,75	36	92	85	66
12/11	14,62	15,05	14,25	17,65	38	113	113	74
13/11	15,05	15,54	14,62	17,65	31	90	94	70
14/11	15,54	15,54	14,62	17,65	25	80	83	66

Tabela 31. Alturas diárias de chuva, em mm.

dias	meses				
	Jul	Ago	Set	Out	Nov
1°	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70
2°	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3°	0.00	7.00	0.00	0.00	0.00
4°	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
5°	0.00	2.40	2.00	2.80	0.00
6°	0.00	6.60	8.00	15.50	0.00
7°	0.00	0.20	0.00	0.10	0.00
8°	0.00	0.00	5.60	18.80	3.20
9°	3.10	2.60	17.20	19.20	1.90
10°	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
11°	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00
12°	0.00	0.00	0.00	7.20	0.00
13°	0.00	0.00	0.00	2.10	0.00
14°	0.00	0.00	0.00	0.50	8.00
15°	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16°	0.00	0.00	1.60	1.80	0.00
17°	0.00	0.00	0.00	29.10	0.00
18°	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00
19°	0.00	0.00	41.50	0.00	0.00
20°	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00
21°	0.00	0.00	1.20	0.00	0.00
22°	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23°	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24°	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25°	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26°	0.00	0.00	0.00	2.60	2.10
27°	0.00	0.00	2.10	6.50	0.80
28°	0.00	0.00	11.40	5.20	0.00
29°	0.00	0.00	2.70	0.00	0.00
30°	0.00	0.00	3.00	0.00	8.40
31°	0.00	0.00	-	5.00	-



Tabela 32. Valores obtidos em laboratório para a leitura e umidade do solo (%)

Amostras	Tara	P. seco	θ	Vol. água	P. úm. (d)	L1	L2	L3	P. úm. (24h)	Variação Peso	Umidade
I6	88.88	795.71	2.50	21.00	816.00	1400.00	1400.00	1400.00	815.46	19.75	2.48
II5	89.10	802.83	5.00	42.00	844.15	980.00	990.00	990.00	843.37	40.54	5.05
II2	88.78	821.85	5.00	42.00	863.40	320.00	320.00	320.00	862.57	40.88	4.95
I8	88.77	808.12	5.25	44.10	850.92	305.00	305.00	305.00	850.03	41.91	5.19
I10	88.77	805.24	5.25	44.10	848.99	265.00	265.00	265.00	848.11	42.87	5.32
I10	88.90	818.17	5.50	46.20	863.36	325.00	325.00	325.00	862.04	43.87	5.36
II10	88.99	814.35	5.50	46.20	860.41	198.00	199.00	200.00	859.59	45.24	5.55
I11	88.77	804.03	5.50	46.20	849.60	265.00	265.00	265.00	848.56	44.53	5.54
II12	88.98	822.55	5.50	46.20	868.36	239.00	239.00	239.00	867.58	45.03	5.47
I7	88.84	802.09	5.75	48.30	850.00	281.00	283.00	281.00	848.94	48.85	5.84
I9	88.89	779.32	5.75	48.30	826.57	242.00	242.00	242.00	825.55	46.23	5.93
I20	88.89	830.53	5.75	48.30	878.50	270.00	270.00	270.00	877.66	47.13	5.67
I21	88.85	826.05	5.75	48.30	874.09	224.00	225.00	225.00	873.54	47.49	5.75
II10	89.10	817.23	6.00	50.40	866.86	255.00	255.00	255.00	865.59	48.36	5.92
III10	89.10	791.98	6.00	50.40	842.18	100.00	100.00	100.00	841.32	49.34	6.23
II11	88.98	797.52	6.00	50.40	847.39	182.00	182.00	182.00	846.45	48.93	6.13
III12	89.09	822.12	6.00	50.40	872.50	163.00	163.00	163.00	871.67	49.55	6.03
II20	89.10	823.90	6.00	50.40	874.21	275.00	275.00	275.00	873.38	49.48	6.01
II21	89.07	832.71	6.00	50.40	883.09	155.00	155.00	155.00	882.51	49.80	5.98
II7	89.05	810.23	6.25	52.50	862.42	57.00	57.00	57.00	866.31	51.08	6.30
III10	89.22	813.56	6.25	52.50	865.30	172.00	173.00	173.00	864.02	50.46	6.20
III11	89.10	807.76	6.25	52.50	859.96	186.00	185.00	186.00	859.00	51.24	6.34
II20	89.22	821.85	6.25	52.50	874.31	93.00	92.00	93.00	873.80	51.75	6.30
II21	89.19	824.85	6.25	52.50	877.35	102.00	102.00	102.00	876.81	51.96	6.30
III7	89.17	813.47	6.50	54.60	867.78	91.50	91.50	91.50	866.62	53.15	6.53
IV10	89.29	812.44	6.50	54.60	866.69	113.00	113.00	113.00	865.48	53.04	6.53
IV12	89.15	823.91	6.50	54.60	878.50	65.00	65.00	65.00	877.92	54.01	6.55
IV20	89.28	819.04	6.50	54.60	873.67	134.00	134.00	134.00	872.89	53.85	6.58
IV21	89.26	826.52	6.50	54.60	881.22	66.00	66.00	66.00	880.69	54.17	6.55
III8	89.09	798.89	7.00	58.50	856.84	51.00	51.00	51.00	855.80	56.91	7.12
III9	89.21	767.50	7.00	58.80	825.58	62.00	62.00	62.00	824.52	57.02	7.43
VI12	89.50	821.39	7.00	58.80	880.26	61.00	61.00	61.00	879.81	58.22	7.09
VI20	89.63	827.61	7.00	58.80	886.56	72.00	72.00	72.00	885.75	58.14	7.02
VI21	89.61	827.25	7.00	58.80	886.22	66.00	66.00	66.00	885.76	58.51	7.07
III5	89.30	787.49	7.50	63.00	849.99	15.50	15.50	15.50	849.00	61.51	7.81
I4	88.82	810.82	10.00	84.00	893.98	9.00	9.50	9.00	893.17	82.35	10.16
II4	89.05	808.90	12.50	105.00	913.39	5.50	5.50	5.50	912.43	103.53	12.80
III4	89.23	802.27	15.00	126.00	927.85	2.50	2.50	2.50	926.75	124.48	15.52
IV8	89.15	822.25	15.00	126.00	946.16	2.50	2.50	2.50	944.68	123.43	15.03
IV4	89.21	800.64	17.50	147.00	947.48	2.00	2.00	2.00	946.10	145.46	18.17
VI8	89.51	806.49	17.50	147.00	952.97	2.50	2.50	2.50	951.11	144.02	17.93
IV5	89.28	788.14	17.50	147.00	934.44	2.00	2.00	1.50	932.61	144.47	18.33
V4	89.36	804.97	20.00	168.00	973.19	2.00	2.00	2.00	971.62	166.05	20.70
III6	89.32	813.53	20.00	168.00	981.09	1.50	1.50	1.50	979.21	165.68	20.38
VI4	89.72	795.50	22.50	189.00	984.64	1.50	1.50	1.50	983.06	187.56	23.58
IV6	89.30	793.38	22.50	189.00	981.93	2.00	1.50	1.50	979.74	186.36	23.49
V5	89.43	808.79	25.00	210.00	1018.49	1.00	1.50	1.00	1016.66	207.87	25.70
VI9	89.63	795.23	27.50	231.00	1025.12	0.70	0.50	0.70	1022.88	227.65	28.63

Tratamento OOO:

- vista geral:



- vista da produção dos blocos:



Tratamento OOI:

- vista geral:



- vista da produção dos blocos:



Tratamento IOO:

- vista geral:



- vista da produção dos blocos:



Tratamento Oll:

- vista geral:



- vista da produção dos blocos:



Tratamento OIO:

- vista geral:



- vista da produção dos blocos:

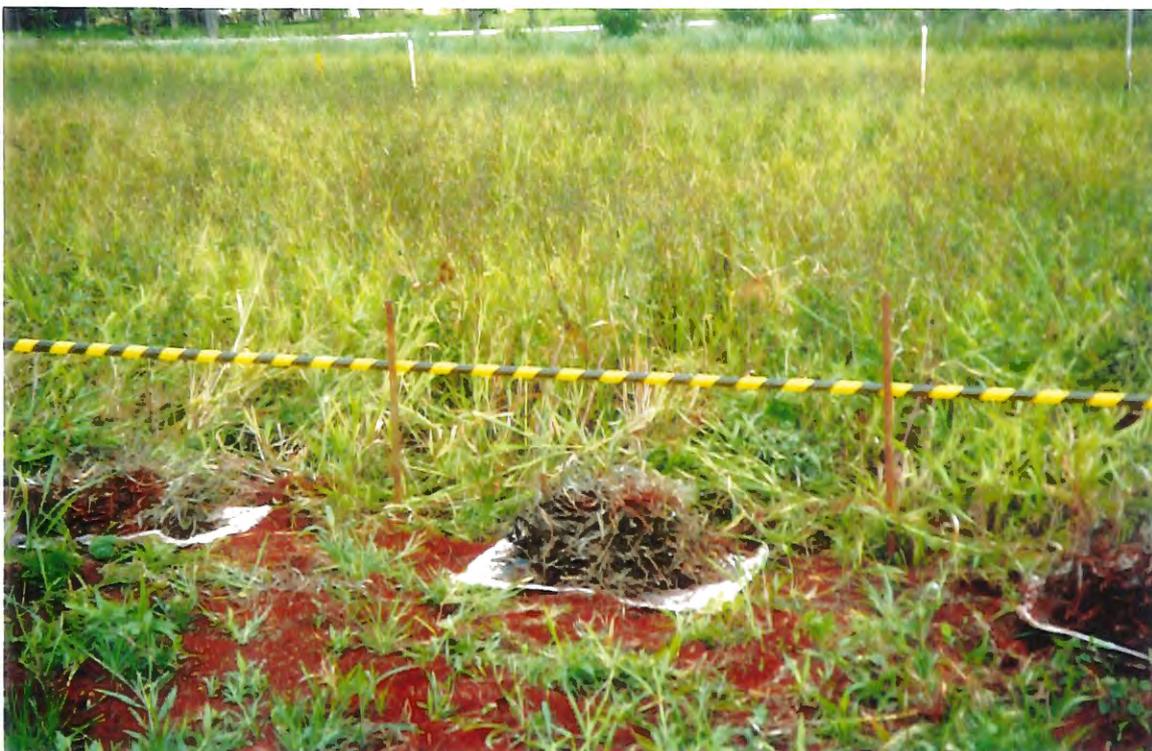


Tratamento IOI:

- vista geral:



- vista da produção dos blocos:



Tratamento IIO:

- vista geral:



- vista da produção dos blocos:



Tratamento III:

- vista geral:



- vista da produção dos blocos:



VII. Bibliografia:

1. A. O. A.C. Association Of Official Agricultural Chemists. Official Methods of Analysis. 12. th. Ed. Washington, D.C. 1094 p. 1970.
2. ABELES, F. B. e GAHAGAN, H. E. Abscission: the role of ethylene, ethylene anal, carbon dioxide and oxygen. *Pl. Physiol.*, 43:1255-8, 1968.
3. BERNARDO, S.; GALVÃO, J.D.; GUERINI, H. e CARVALHO, B. Efeitos dos níveis de água no solo sobre a produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.). Seminário Nacional de Irrigação. Anais, Sudesul, Porto Alegre, 1970.
4. BERNARDO, S. & HILL, R.B. Um modelo para determinação de Irrigação suplementar. *Revista Ceres*, Visçosa, Brasil, 25 (140): 345-362. 1978.
5. BLACK, T.A.; TANNER, C.A.; & GARDNER, W.R. Evapotranspiration from a snap bean crop. *Agronomy Journal*, 62:66-69, 1970.
6. BLANK, H. B. Optimal irrigation decision with limite water. Ph.D. Thesis, Colorado State University, Fort Collins. 1975. (Unpublished).
7. BOX, GEORGE E. P. ; HUNTER, WILLIAM G. ; HUNTER, J. STUART. *Statistics for Experiments: An introduction to Design, Data Analysis, and Model Building*. John Wiley & Sons. 653 p. 1978.

8. BURMAN, R. D. ; WRIGHT, J. L. ; NIXON, P. R. e HILL, R. W. Irrigation management - water requirements and water balance. Proc. Amer. Soc. Agric. Eng. Second National Irrigation Symposium, p. 141-153. 1981.
9. CAIXETA, T. J. Irrigação do Feijoeiro. Inf. Agropecuário, Belo Horizonte, 4(46): 36-40, 1978.
10. CAIXETA, T. J. ; VIEIRA, C. ; BARTHOLLO, G. F. A Terceira época de plantio do feijão. Visçosa, UFV, 1981. 4 p. (Informe Técnico , 15).
11. DE WIT, C. T. Photosynthesis of leaf canopies. Agric. Res. Rep. (Wageningen) 663, 1-57. 1965.
12. DICKSON, M. K. e BOETTGER, M. A. Effect of high and low temperature on pollen germination and seed set in snaps beans. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 109 (3) : 372-4, 1984.
13. DOORENBOS, J. & PRUITT, W. O. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, FAO, 1976. 194 p. (Estudio FAO: Riego e Drenaje, 24).
14. DOORENBOS, J. e KASSAM, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Universidade Federal da Paraíba. Pró-Reitoria da Assuntos do Interior. Centro de Ciências e Tecnologia. Tradução do "Yield Response to Water". FAO. Rome. 306 p. 1979.
15. DUBETZ, S. & MAHALE, P. S. Effect of soil water stress on bush bean (*Phaseolus vulgaris* L.) at three stages of growth. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 94 : 479 - 81, 1969.

16. GARRIDO, M. A. T. & TEIXEIRA, H. A. Efeito dos diferentes níveis de umidade do solo sobre o rendimento do feijoeiro comum na região sul de Minas Gerais. EPAMIG. Projeto Feijão, relatório 79/77, Belo Horizonte. 1978.
17. GEPTS, P. & FERNANÉZ, F. Etapas de desarrollo de la planta de frijol comum (Phaseolus vulgaris L.). Cali, Colombia, CIAT, 1982, 10 p.
18. GILLEY, J. R. ; HEERMANN, D. F. e STENTSON, L. E. Irrigation Management Energy. Proc. Amer. Soc. Agric. Eng. Second National Irrigation Symposium, p. 127-140. 1974.
19. GOMES, F. P. Curso de Estatística Experimental. 8.^a edição. Esalq-Usp. 430 p. 1978.
20. GOMES, F. P. A Estatística Moderna na Pesquisa Agropecuária. Potafós. Piracicaba. 160 p. 1984.
21. GRIMES, D. W. ; MILLER, R. J. & DICKENS, L. Water stress during flowering of cotton. California Agricultural, 24: 4-6. 1970.
22. HEERMAN, D. Irrigation Scheduling for energy and water conservation. Proc. of the sprinkler Irrigation Association Technical Conference. p. 7-14. 1975.
23. HSIAO, T. C. Plant responses to water stress. Annu. Rev. Plant , Physiology, 24: 519-570. 1973.
24. KATTAN, A. A. & FLEMING, J. W. Effect of irrigation at specific stages of development on yield, quality, growth

and composition of snap bean. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 68 : 329 - 42, 1956.

25. KLAR, A. E. Irrigação - Frequência e quantidade de aplicação. Nobel, São Paulo. 1991. 156 p.
26. JENSEN, M. E. Water consumption by agricultural plants. In Water deficits and plant growth. Vol. II. Academic Press Inc. New York, 1968.
27. LENKEIT, W. e BECKER, M. Inspeção e Avaliação de forragens. Lisboa, Ministério da Economia de Portugal. 152 p. (Boletim Pecuário, n. 2). 1956.
28. LUCHIARI JÚNIOR, ARIIVALDO. Determinação do Coeficiente de Cultura (Kc) para o feijão (Phaseolus vulgaris, L.) pelo Método do Balanço Hídrico. Piracicaba, São Paulo. Dissertação de Mestrado ESALQ-USP. 1978. 59 p.
29. MAGALHÃES, A. A. & MILLAR, A. A. Efeito do déficit de água no período reprodutivo sobre a produção do feijão. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, DF, 13(2):55-60. 1978.
30. MIYASAKA, S. ; INFORMAZO, R. ; MASCARENHAS, H. A. A. e KIIHL, R. A. S. Alongamento do caule do Feijoeiro pela incorporação ao solo de massa vegetal de plantas de Tremoço (Lupinus albus L.). Bragantia, Campinas, 26(25): XXVII - XXXI, 1967.
31. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Feijão. Indicações para o cultivo no Rio Grande do Sul. IPEAS. Circular n.º 36. Pelotas (RS). p. 240-44. 1973.

32. MOTTA, F. S. ; BEIRSDORF, M. I. C. e GARCEZ, J. R. B. Zoneamento Agroclimático do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Embrapa. IPEAS do Rio Grande do Sul. Pelotas (RS). vol. 2, 122 p..1974.
33. MOURA, P. A. M. Aspectos econômicos da cultura do feijão. Informe Agropecuário, ano 8, n.º 90. Belo Horizonte (MG). p. 3-6. 1982.
34. RAIJ, BERNARDO VAN; QUAGGIO, JOSÉ ANTONIO; CANTARELLA, HEITOR e outros. Análise Química do solo para fins de fertilidade. Campinas. Fundação Cargill. 1987. 170 p.
35. REICHARDT, K.; LIBARDI, P. L. & SANTOS, J. M. An analysis of soil water movement in the field. II. Water balance in a snap bean crop. CENA-USP, Piracicaba. Boletim Científico BC-022, 19p. 1974.
36. SCALOPPI, E. J. Potencial para a redução do consumo energético da irrigação. Proc. Ass. Bras. de Irrigação e Drenagem. VII. Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. Anais, p. 833-852. 1986.
37. SCHMIDT, G. M. ; CLARK, S. J. e WHITMER, L. Modelling energy use in irrigation. ASAE paper n.º 78-2552. ASAE, St. Joseph, Michigan. 7 p. 1978.
38. SILVA, E. L. Suscetibilidade do Feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) cv. Goiano precoce às inundações temporárias do sistema radicular em diferentes fases de seu ciclo vegetativo. Piracicaba, 1982. 76 p. (Tese de Mestrado-Esalq/ Usp).
39. SLOGETT, G. Energy and U. S. Agriculture: Irrigation pum

- ping 1947-1977. Agricultural Economic Division, Economics, Statistics and Cooperative Services. U.S.D.A. 39 p. 1979.
40. STEGMAN, E. C. e NESS, L. D. Evaluation of alternative scheduling Schemes for Center Pivot Sprinkler Systems. North Dakota Agr. Exp. St. Res. Dpt. n.º 48, 20 p. 1974.
41. STEWART, J. I.; HAGAN, R. M. & PRUITT, W. O. Water production functions and predicted irrigation programs for a principal crops as required for water resources planning and increased water use efficiency. Final Rep. U. S. Dept. Int. Burn. Reclam. Eng. Res. Cent. Res. Rep. Washington, D.C. 14-06-D.7329. 1976.
42. VAN SOEST, P. J. Developement of a comprehensive system of feed analysis and its application to forage. J. Anim. Sci., 26 (1):119-128. 1967.
43. VAUX JR. , H. J. & PRUITT, W. O. Crop-water production functions. In: Advances in Irrigation, D. HILLEL (ed.) Academic Press, Inc. New York. p. 61-97. 1983.
44. VIEIRA, C. Cultura do Feijão. Visçosa, Imprensa Universitária. 1978. 146p.
45. WINKLER, E. I. G. e GOEDERT. Características dos solos de Pelotas (RS). Pesquisa Agropecuária Brasileira. Série Agronomia, 7: p.1-4. 1972.
46. WITHERS, BRUCE e VIPOND, STANLEY. Irrigação - Projeto e Prática. Tradução de Francisco Costa Verdade. São Paulo, EPU, Ed. da Universidade de São

Paulo, 1977. 339 p.