**ESPAÇAMENTO ECONÔMICO DE DRENOS LATERAIS E A
DINÂMICA DO LENÇOL FREÁTICO SOBRE O RENDIMENTO DA
CULTURA DE MILHO(*Zea mays*, L.)**

RAIMUNDO NONATO TÁVORA COSTA

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **DÉCIO EUGÊNIO CRUCIANI**

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

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Novembro de 1994

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCLQ/USP

C837e Costa, Raimundo Nonato Távora
Espaçamento econômico de drenos laterais e a dinâmica do lençol freático sobre o rendimento da cultura de milho (*Zea mays* L.). Piracicaba, 1994. 88p. il.

Tese - ESALQ
Bibliografia.

1. Dreno - Espaçamento 2. Lençol freático 3. Milho - Estresse 4. Milho rendimento I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CDD 631.6
633.15

**ESPAÇAMENTO ECONÔMICO DE DRENOS LATERAIS E A
DINÂMICA DO LENÇOL FREÁTICO SOBRE O RENDIMENTO DA
CULTURA DE MILHO (*Zea mays*, L.)**

RAIMUNDO NONATO TÁVORA COSTA

Aprovado em 03.02.1995

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Décio Eugênio Cruciani

ESALQ/USP

Prof. Dr. José Antônio Frizzone

ESALQ/USP

Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel

ESALQ/USP

Prof. Dr. João Carlos Cury Saad

FCA/UNESP

Prof. Dr. Abel Maia Genovez

UNICAMP

Prof. Dr. Décio Eugênio Cruciani
Orientador

Aos meus pais LUIZ e CARMENSITA,

pelo exemplo de vida.

Aos meus irmãos,

SOCORRO, JOSÉ ROCHA e DOMINGOS SÁVIO

À ANGÉLICA e LUIZ EURICO,

esposa e filho, pelo amor

e compreensão

D E D I C O

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelas forças nos instantes mais difíceis;

Ao Departamento de Engenharia Agrícola da UFC, pela liberação concedida para a realização deste curso;

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"- ESALQ/USP pelos ensinamentos;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES, pela bolsa de estudo concedida durante o curso;

À Fortilit Conexões e Tubos de PVC(ex-Tupy Tubos e Conexões Ltda.), pela doação dos tubos de drenagem;

À Rhodia S.A. pela doação da manta de poliéster(Bidim) utilizada como envoltórios dos tubos de drenagem;

Ao Prof. Dr. Décio Eugênio Cruciani, pela orientação dada durante a realização deste trabalho;

Aos professores Dr. José Antônio Frizzzone e Dr. Tarlei Arriel Botrel, pelas sugestões e críticas apresentadas;

À todos os professores do Curso de Pós-Graduação, em particular aos do Departamento de Engenharia Rural, pelos ensinamentos transmitidos;

Ao Professor Dr. Luís Carlos Uchôa Saunders, grande mestre e amigo, pelos primeiros ensinamentos em drenagem;

Aos colegas de curso, Vital, Marcus, Dirceu, João Zocoler, Sérgio, Ana Rita, pela amizade e convívio durante o curso;

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, pela ajuda indispensável durante o trabalho;

Ao Eng^o Agr^o Francisco Deoclécio Guerra Paulino, pelo incentivo durante o curso;

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

S U M Á R I O

	Página
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE QUADROS	ix
RESUMO	xi
SUMMARY	xiv
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	04
2.1. Aspectos do excesso de umidade no solo	04
2.2. Índices de estresse de água no solo	09
2.3. Níveis do lençol freático e resposta das culturas	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1. Caracterização da área experimental	23
3.2. Características físico-hídricas e químicas do solo	25
3.3. Instalação do experimento	27
3.3.1. Sistema de drenagem subterrânea	30
3.3.2. Parcelas experimentais	31
3.4. Leituras dos poços de observação e descargas dos drenos laterais	32
3.5. Condutividade hidráulica do solo saturado	34
3.6. Profundidade efetiva do sistema radicular	35
3.7. Flutuações do lençol freático	36
3.8. Condução da cultura no campo	39
3.9. Delineamento experimental	42

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1. Recarga do lençol freático	44
4.2. Análise dos caracteres de produção	46
4.3. Avaliação econômica do sistema de drenagem	51
4.4. Efeito do lençol freático no rendimento da cultura	56
4.5. Avaliação hidráulica do sistema de drenagem subterrânea	65
4.5.1. Perfis do lençol freático	65
4.5.2. Descrição da rede de fluxo	67
4.5.3. Eficiência de rebaixamento do lençol freático	69
5. CONCLUSÕES	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
APÊNDICE	82

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 - Levantamento planialtimétrico do campo experimental	24
2 - Curvas características de umidade do solo da área experimental	29
3 - Croqui da área experimental	33
4 - Aspectos do sistema radicular da cultura	37
5 - Vista geral da cultura estabelecida no campo	41
6 - Distribuição das precipitações no ciclo da cultura	45
7 - Aspectos das amostras de espigas em função dos tratamentos aplicados	49
8 - Dispersão de pontos entre produtividade relativa e profundidade média do lençol freático	59
9 - Dispersão de pontos observados entre produtividade relativa e $SEW_{20\ldots}$	60
10 - Perfis do lençol freático durante o processo de drenagem	66
11 - Planta das curvas de nível do lençol freático	68

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1 - Dados meteorológicos do Posto Agrometeorológico da ESALQ durante o experimento	26
2 - Características físico-hídricas do solo da área experimental	28
3 - Características químicas do solo da área experimental	30
4 - Médias dos caracteres de produção do milho, em função dos tratamentos aplicados	47
5 - Análise de variância dos caracteres de produção	48
6 - Teste de Tukey para médias de tratamentos	48
7 - Coeficientes de correlação simples entre os caracteres de produção . . .	50
8 - Custos de implantação de 1,0 ha de drenagem subterrânea em função do espaçamento	52
9 - Elementos econômicos em 1,0 ha de drenagem	55
10 - Renda bruta da cultura de milho em 1,0 ha	55
11 - Dados econômicos para 1 ha de drenagem em função do espaçamento de drenos laterais	55
12 - Dados para análises do ajuste de equações	58
13 - Análises de regressão da produtividade relativa em função da profundidade média do lençol freático	61

Quadro**Página**

14 - Análises de regressão da produtividade relativa em função do fator de estresse(SEW_{20})	62
--	----

APÊNDICE**Quadro****Página**

1 - Precipitação pluvial(mm) no ciclo da cultura	83
2 - Descarga dos drenos laterais($l.s^{-1}$)	84
3 - Leitura de poços de observação	85
4 - Profundidades do lençol freático(m)	86

**ESPAÇAMENTO ECONÔMICO DE DRENOS LATERAIS E A DINÂMICA
DO LENÇOL FREÁTICO SOBRE O RENDIMENTO DA CULTURA
DE MILHO (*Zea mays*, L.)**

Autor : Raimundo Nonato Távora Costa

Orientador : Prof. Dr. Décio Eugênio Cruciani

RESUMO

O presente trabalho foi conduzido em uma várzea, no campo experimental de drenagem, do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", durante o período de novembro de 1992 a março de 1993. Teve por objetivos fornecer parâmetros que indiquem o espaçamento econômico para um sistema de drenagem agrícola e quantificar o efeito das flutuações do lençol freático no rendimento da cultura de milho.

Procurou-se, também, analisar o funcionamento do sistema de drenagem subterrânea, através de perfis do lençol freático, rede de fluxo e eficiência de rebaixamento do lençol freático.

Os drenos laterais, cujo comprimento era de 45,0m, foram instalados à profundidade média de 1,0m, com gradiente de declive de 0,003 m/m. Foram

construídos com tubos de drenagem corrugados, flexíveis de PVC, diâmetro nominal de 0,1m (DN 100).

Os tratamentos avaliados consistiram em espaçamentos de drenos laterais a 10,0m, 20,0m e 30,0m. As variáveis utilizadas para testar a influência dos tratamentos, consistiram dos seguintes caracteres de produção da cultura de milho: altura de planta, peso de 100 grãos, peso médio das espigas, peso de grãos por espiga e produtividade.

Duas fileiras de poços de observação foram instaladas, sendo cada uma constituída de dezenove poços, com a finalidade de se proceder a caracterização do comportamento do lençol freático.

Na análise da dinâmica desse lençol em relação ao rendimento da cultura, foram realizados ajustes de equações relacionando produtividade relativa com a profundidade média do lençol freático e produtividade relativa com SEW_{20} .

Os resultados revelaram que o espaçamento entre drenos laterais de 30,0m foi a melhor alternativa econômica, por apresentar maior valor de renda líquida anual. Verificou-se, também, a relevância dos custos fixos na análise de tomada de decisão.

O resultado da análise do índice de estresse SEW_{20} indicou que o rendimento da cultura não foi comprometido por excesso de umidade nos estádios analisados, devendo isso estar associado à variedade de milho estudada, que revelou possuir um sistema radicular muito superficial.

Não foi totalmente consistente a análise do rendimento da cultura em função da profundidade média do lençol freático, por não ter esta representado fielmente as posições e durações das oscilações do lençol freático.

As cargas hidráulicas sobre os drenos, 48h após a recarga do lençol freático, mostraram que os mesmos foram capazes de satisfazer ao critério de drenagem adotado (rebaixamento do lençol freático em 0,2m após 2 dias). Ao mesmo tempo, a direção do fluxo subterrâneo, no sentido dos drenos laterais, evidenciou uma locação e, portanto, um funcionamento adequado dos mesmos.

**ECONOMIC SPACING OF LATERAL DRAINS AND WATER TABLE
DYNAMICS UPON CORN (*Zea mays*, L.) YIELD**

Author : Raimundo Nonato Távora Costa

Adviser : Prof. Dr. Décio Eugênio Cruciani

SUMMARY

This work was conducted on an artificially drained wet area at the experimental drainage field of the "Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz", in the period from november 1992 to march 1993. Main objectives of the research were to identify an economic spacing of drains and to quantify the effects of water table fluctuations upon corn (*Zea mays*, L.) yield.

Other parameters such as water table profiles, before and after recharge, flow-net, drainage efficiency, were also analyzed, reflecting the performance of the drainage system.

Drainage laterals 45.0m long, installed at a mean depth of 1.0m, and slope of 0.003 m/m, in corrugated PVC tubes with nominal diameter of 0.1m.

Treatments consisted on different spacings of 10.0m, 20.0m and 30.0m. To test the effects of the treatments the variables plant height, weight of 100 seeds, average weight of the ears, weight of the grains in one ear and grain production, were used.

Two batteries of observation wells, each with 19 wells, were use to monitor the fluctuation of the water table. To analyze water table dynamics in relation to crop yield, equations for productivity in relation to average depths of the water table and relative productivity as a function of SEW_{20} , were adjusted.

Results showed that spacing of 30.0m for laterals was the best economic choice. This indicates the importance of fixed costs in the composition of the total investment and in an economic analysis of the project.

Analysis of SEW_{20} index indicated that crop yield was not severely injured by excess water in the root zone, probably due to the very shallow root system of corn plants.

Analyses of productivity of the crop as a function of fluctuations of the water table, were not entirely consistent, because duration of changes of the water table were not taken into account.

Hydraulic heads above the drains 48h after the soil recharge showed they were effective in attending the drainage coefficient of the crop (drawdown of water level of 0,2m in 2 days). Drains were located adequately in the field, as indicated by the flow net.

1. INTRODUÇÃO

Extensas superfícies agrícolas localizam-se em terrenos com problemas de drenagem. Em regiões de clima úmido, a elevação do lençol freático apresenta-se na estação chuvosa, dadas as precipitações mais intensas. O excesso de água no solo, devido aos altos níveis estacionais ou periódicos do lençol freático, tem-se constituído no principal risco para limitar a produtividade das culturas.

Conforme CURI et al. (1986), os solos de várzeas desenvolvem-se a partir de sedimentos oriundos de diversas fontes, cuja grande variabilidade horizontal e vertical influencia as camadas dos solos resultantes.

Essas áreas de baixada abrangem um total de trinta milhões de hectares no Brasil, conforme LAMSTER (1980). Qualitativamente, tais solos, por suas características químico-físicas e condições topográficas, aliadas às técnicas de drenagem e irrigação, representam grande potencial para a produção de alimentos.

Em face do incremento populacional e do consequente aumento da demanda por alimentos, assume maior importância a utilização das várzeas como forma de contribuir para fomentar a produção agrícola.

À ocupação desse potencial agrícola, todavia, deverá proceder-se de forma bastante racional, necessitando-se preliminarmente de um diagnóstico adequado (reconhecimento dos solos), bem como de informações de pesquisa, sobre condições locais de solo e clima, para melhor manejá-los.

Uma das maiores limitações aos projetos de drenagem tem sido a ausência de coeficientes confiáveis, que representem os requerimentos de drenagem das diversas culturas, sob condições locais. Alguns critérios têm sido mencionados na literatura, no entanto a maioria deles foi estabelecida com base em lisímetros, tendo-se mantido o lençol freático constante por um certo período, o que não representa, portanto, as condições existentes na prática.

Diversas pesquisas têm sido conduzidas com o objetivo de determinar a resposta das culturas às condições de excesso de água. Alguns desses estudos com a cultura do milho foram conclusivos quanto à redução na produtividade, quando o excesso de água ocorria durante o estágio vegetativo (JOSHI & DASTANE, 1966; RITTER & BEER, 1969; CHAUDHARY et al., 1975; SINGH & GHILDYAL, 1980; KANWAR et al., 1988; MUKHTAR et al., 1990 e EVANS et al., 1990).

O delineamento de sistemas de drenagem, com base em parâmetros hidrodinâmicos do solo, poderá, muitas vezes, levar a erros grosseiros, tendo em vista a grande variabilidade espacial existente em solos de várzeas. No dimensionamento de um sistema de drenagem, tendo em vista a importância que os parâmetros de produção representam, o projetista deve utilizar, sempre que possível, dados obtidos com base em experimentos de campo, sob condições de flutuações do lençol freático, que representam as reais condições de estabelecimento das culturas.

O conceito de SEW_{30} (soma do excesso de água) é descrito por WESSELING (1974) e representa a soma do valor excedente de água no solo, constituindo-se em um índice de estresse cuja finalidade é quantificar o efeito, sobre a produtividade, da ocorrência do lençol freático entre a superfície do solo e a profundidade de 0,30m.

Esse índice de estresse estabelece como excesso de água, a localização do lençol freático entre a superfície do solo e a profundidade de 0,30m, sendo considerados aditivos seus efeitos na produtividade das culturas. A metodologia já foi avaliada nos Estados Unidos, independente do porte do sistema radicular da cultura, caracterizando-se, portanto, como um critério de drenagem.

Na presente pesquisa, será concebido o conceito de SEW, e utilizada, como limite para fins de quantificação do excesso de água, a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura.

Pelo exposto, na presente pesquisa duas hipóteses podem ser assumidas:

1. os parâmetros de produção da cultura podem indicar o espaçamento de drenos que proporciona o melhor rendimento econômico;
2. o índice SEW é um indicador capaz de evidenciar os efeitos, sobre o rendimento da cultura, das condições de estresse.

A presente pesquisa foi conduzida em condições de campo, tendo os seguintes objetivos:

- a. fornecer parâmetros que indiquem o espaçamento econômico para um sistema de drenagem agrícola;
- b. quantificar o efeito das flutuações do lençol freático no rendimento da cultura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos do excesso de umidade no solo

Um teor de umidade disponível no solo, dentro de uma faixa ótima, constitui um dos parâmetros imprescindíveis para o desenvolvimento das culturas, facilitando o transporte de nutrientes através das raízes. Por outro lado, as condições de umidade excessiva na zona radicular são adversas para a maioria das culturas. Tais adversidades não correspondem, necessariamente, à presença direta de uma umidade excessiva por si só, mas sim, à deficiência no teor de oxigênio no solo, comprometendo o transporte de nutrientes através do sistema radicular e tornando as plantas mais suscetíveis às doenças e à deficiência nutricional. Dentro desse ambiente anaeróbico, verifica-se uma insuficiência de nitrogênio, devida à lixiviação ou à desnitrificação e ao desenvolvimento de substâncias tóxicas, conforme atestam estudos conduzidos por fisiologistas.

Basicamente, a falta de aeração constitui-se o principal agente de injúrias às plantas. Algumas evidências disponíveis indicam que efeitos deletérios são também produzidos pela atividade microbiológica em condições anaeróbicas. A extensão de danos causados às culturas, por tais condições adversas, varia conforme a espécie

vegetal, a duração da inundação, o estágio de desenvolvimento, além da temperatura prevalente à época da inundação. Resultados de pesquisas nesse sentido serão descritos dentro desta revisão.

Em condições de campo, chuvas intensas resultam em condições temporárias de encharcamento, que determinam às raízes das plantas submeterem-se à respiração anaeróbica, produzindo, conseqüentemente, apenas uma pequena quantidade de energia, insuficiente para o metabolismo normal, resultando em morte das células das raízes. Ademais, o planejamento agrícola torna-se comprometido, tendo em vista que plantios atrasados, baixa emergência das culturas e reduzida eficiência nas operações da propriedade, constituem problemas típicos do excesso de água no solo.

Pesquisas básicas têm sido conduzidas para determinar a resposta das plantas a níveis baixos de umidade no solo; todavia existe uma lacuna na literatura de trabalhos que visem a um melhor entendimento da resposta das plantas às condições de excesso de umidade no solo. Por essa razão, pesquisas específicas que forneçam orientações confiáveis sobre a tolerância das culturas ao excesso de água no solo são particularmente necessárias, tendo em vista que eventos de chuvas frequentes causam flutuações do lençol freático próximo à superfície do solo.

Pesquisando sobre a resposta das culturas à drenagem em câmaras de vegetação com ambiente controlado, SCHILFGAARDE & WILLIAMSON (1965) ressaltam que dados sobre a variação da concentração de oxigênio no solo e sobre o movimento de água através da zona radicular constituem medidas necessárias para se estabelecer um critério útil para projetos de drenagem. Para tanto, considere-se que as plantas não respondem ao lençol freático por si só, mas preferivelmente ao nível de aeração na zona radicular e/ou à disponibilidade de umidade.

GOINS et al. (1966), objetivando avaliar os efeitos interativos entre a altura do lençol freático e as classes texturais do solo em relação à eficiência do uso da água, ao desenvolvimento e à composição química da planta, observaram que as culturas de tomate e milho doce produziram significativamente mais matéria seca com o incremento em profundidade do lençol freático, e que esse incremento de produtividade foi maior em solo de textura fina. Concluíram, também, que o total de água consumida aumentou linearmente com a quantidade de matéria seca produzida.

A pesquisa permitiu também constatar que o aumento nas quantidades de Ca, Mg e N, observado nas plantas sobre maiores profundidades do lençol freático, refletia a maior disponibilidade de solo para exploração de raízes e que a disponibilidade de N deve também ter sido influenciada pelas condições de oxidação-redução nos solos úmidos.

De acordo com KRAMER (1969), existem muitas informações contraditórias em relação aos níveis de oxigênio e de dióxido de carbono que resultem em limitações para o crescimento das raízes. O autor atribui essas discrepâncias ao fato de os experimentos serem efetuados com diferentes espécies de plantas, em diversas etapas de desenvolvimento e sob condições de clima e solo as mais variadas possíveis. Além de tais fatores, os métodos utilizados em experimentos dessa natureza são os mais diversos. Em geral, parece que coeficientes de difusão de oxigênio inferiores a $20 \times 10^{-8} \text{ g/cm}^2\text{.min}$ são inadequados e que valores superiores a $40 \times 10^{-8} \text{ g/cm}^2\text{.min}$ são suficientemente altos para um crescimento adequado. Entretanto, WILLIAMSON (1964) relata ter obtido bons rendimentos em diversas culturas com coeficientes de difusão de oxigênio de $15 \times 10^{-8} \text{ g/cm}^2\text{.min}$.

LAL & TAYLOR (1969), pesquisando os efeitos de profundidades do lençol freático estático (0,15 e 0,30m), de inundações intermitentes, de dois níveis de N e de dois micronutrientes (Zn e Cu) sobre a produtividade do milho, constataram que a absorção de N e Zn pelas plantas dessa cultura foi reduzida significativamente pelos níveis elevados do lençol freático e pelas inundações intermitentes. As concentrações, no solo, de O_2 , CO_2 e N_2 foram afetadas pelos níveis elevados do lençol freático. A percentagem de O_2 foi reduzida, enquanto CO_2 e N_2 foi aumentada.

HILER et al. (1971) estudaram os efeitos do lençol freático estático sobre a difusão de oxigênio no solo e sobre a produtividade da cultura de sorgo. Concluíram que ocorreu uma redução drástica na produtividade, tanto do ponto de vista quantitativo quanto qualitativo, quando o lençol freático foi mantido a 0,30 e 0,60m, situação ainda mais clara se comparada com os tratamentos a 0,90 e 1,20m. De fato, considerável estresse de oxigênio na cultura ocorreu no tratamento com lençol freático a 0,30m, em que a taxa de difusão de oxigênio nunca excedeu a $20 \times 10^{-8} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{min}$ na zona radicular, durante o ciclo da cultura. Detrimento com estresse de oxigênio também ocorreu no tratamento com lençol freático a 0,60m - a taxa de difusão de oxigênio na zona radicular da cultura esteve na faixa de 40 a $90 \times 10^{-8} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{min}$.

SINGH & GHILDYAL (1980), trabalhando com cinco variedades de milho sob condições de campo e inundação do solo com várias durações, constataram que, durante os primeiros estádios de crescimento, uma inundação por 72h reduziu significativamente a assimilação de N e K e aumentou a assimilação de P em todas as variedades, e que a assimilação de Ca e Mg não foi afetada. A taxa de difusão de oxigênio, de $83 \times 10^{-8} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{min}$ antes da inundação do solo, decresceu a quase zero após 72h de inundação ($3,5 \times 10^{-8} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{min}$).

Em pesquisa de campo e de laboratório, visando a quantificar o efeito de inundações periódicas do sistema radicular na produtividade de milho e trigo, CRUCIANI (1981) constatou que as condições anaeróbicas caracterizadas durante a inundação radicular do milho, embora acentuadas, sugerem que, em condições naturais de campo, é muito provável serem mais severas, em virtude das diferenças peculiares entre a água utilizada nos experimentos e o lençol freático natural. A propósito, SINGH & GHILDYAL (1980), em experimento descrito anteriormente, observaram que o pH do solo decresceu de 7,0 para 6,5 para um período de 24h e a condutividade elétrica incrementou de 0,8 a 1,5 dS/m para um período de 72h de inundação.

Segundo FAUSEY et al. (1985), a concentração de nutrientes e minerais não-nutrientes em plantas de milho é alterada por inundações cuja duração seja de 2 a 6 dias.

A difusão do oxigênio através de poros cheios de ar é aproximadamente 10.000 vezes mais rápida que através de poros cheios de água; conseqüentemente, a taxa de difusão de oxigênio através da água é frequentemente o fator limitante da respiração das raízes. É o que entendem Clark & Kemper¹, citados por KANWAR et al. (1988).

PATWARDHAN et al. (1988) afirmam que a pesquisa clássica para projetos de drenagem ignora largamente a influência que a água capilar tem sobre a difusão de gases na zona radicular. Existiria, portanto, uma necessidade aparente de investigações sobre as relações entre a distribuição da água no solo, acima do lençol freático, e a do oxigênio na zona radicular.

¹ CLARK, F.E. & KEMPER, W.D. Microbiological activity in relation to soil water and soil aeration. In: HAGEN, R.M., ed. *Irrigation of agricultural lands*. Agronomy, 11:472-480, 1967.

KALITA & KANWAR (1992), pesquisando o efeito do manejo do lençol freático sobre o processo fotossintético e sobre a produtividade do milho, constataram um aumento significativo nesta com o incremento em profundidade do lençol freático, desde 0,3 a 0,9m. Uma profundidade de 0,2 a 0,3m reduziu significativamente a produtividade do milho na estação úmida. As relações entre taxas fotossintéticas e produtividade variaram para estações secas e úmidas e não foram conclusivas.

2.2. Índices de estresse de água no solo

A complexidade das relações, envolvendo produtividade das culturas e conteúdo de umidade no solo, não é bem entendida, constituindo-se uma limitação para critérios adequados de drenagem (BOUWER, 1974).

Recentemente, efeitos do excesso de água no solo, sobre o desenvolvimento das plantas, têm recebido renomada atenção. Por essa razão, os pesquisadores vêm desenvolvendo métodos para analisar os efeitos dos sistemas de drenagem sob condições de excesso de água e para predizer seus efeitos sobre as produtividades das culturas.

O conceito de SEW_{30} (somatório do excesso de água) foi desenvolvido por Sieben² e descrito por WESSELING (1974), e representa a soma do valor excedente de água no solo, conhecido, como a "soma do excesso de água", para quantificar o efeito, sobre

² SIEBEN, W.H. Het verban tussen ontwatering en opbrengst bij de jonge zavelgronden in de Noordoostpolder. Van Zee tot Land. 40, Tjeenk Willink V. Zwolle, The Netherlands, 1964.

a produtividade, da ocorrência do lençol freático na zona radicular da cultura. Expressa-se da seguinte forma:

$$SEW_{30} = \sum_{i=1}^n (30 - x_i) \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (1)$$

sendo:

x_i - profundidade do lençol freático abaixo da superfície do solo no dia i , em cm;

n - número de dias na estação de crescimento.

O método estabelece o critério de que números negativos dentro da somatória sejam negligenciados, ou seja: só serão computados valores de x_i menores que 30.

Em razão da flutuação contínua do lençol freático, o SEW_{30} pode ser mais precisamente expresso como:

$$SEW_{30} = \int_0^T f(x) dt \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (2)$$

sendo:

$f(x) = 30 - x$; para $x < 30$

$f(x) = 0$; para $x > 30$.

T - duração da estação de crescimento;

t - tempo em dias;

x - profundidade do lençol freático em cm.

O conceito de SDI (índice de estresse diário) foi introduzido, por HILER (1969), como um recurso para quantificar, cumulativamente, o efeito de estresse imposto

sobre uma cultura durante a estação de crescimento. O SDI é determinado por um fator de estresse diário(SD) e um fator de suscetibilidade da cultura(CS). O SD, sendo uma medida do grau de estresse imposto sobre uma cultura, reflete a intensidade e duração do estresse. O CS, sendo uma medida da suscetibilidade da cultura para uma unidade de estresse, é função da cultura e de seu estágio de desenvolvimento.

Conceitualmente o SDI pode ser escrito como:

$$SDI = \sum_{i=1}^n (SD_i \cdot CS_i) \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (3)$$

sendo:

n - número de períodos de crescimento;

SD- fator de estresse diário da cultura no período i;

CS- fator de suscetibilidade da cultura no período i.

O parâmetro SEW_{30} é normalmente utilizado como fator de estresse diário da cultura, em estudos que envolvem o índice de estresse diário.

O fator de suscetibilidade da cultura é determinado experimentalmente, tomando-se por base o nível crítico de estresse ao qual a cultura foi submetida, durante cada estágio de desenvolvimento fisiológico, bem como a quantificação de sua resposta à produtividade.

O fator de suscetibilidade para cada estágio de desenvolvimento da cultura é definido por HILER (1969) e expresso como:

$$CS_i = \frac{Y - Y_i}{X} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (4)$$

SUDAR et al. (1979) sugerem que fatores de suscetibilidade da cultura ao estresse de umidade podem ser aproximados, no caso de algumas culturas, pela existência de dados sobre a resposta de produtividade ao estresse de seca.

HARDJOAMIDJOJO et al. (1982), em pesquisa com a cultura do milho sob condições de excesso de umidade, detectaram uma forte relação entre YR(produtividade relativa do milho) e SDI. Nessa pesquisa, as produtividades absolutas do milho foram transformadas para produtividades relativas, tomando-se a razão da produtividade medida para cada parcela pela produtividade potencial. A produtividade potencial foi tomada como a produtividade mais alta. Os autores entendem que o uso da produtividade relativa é preferível ao da produtividade absoluta, uma vez que aquela representa uma tentativa de eliminar os efeitos de outros fatores que não os tratamentos de drenagem.

Em três anos de estudo sobre a resposta do milho às condições naturais de flutuação do lençol freático, KANWAR et al. (1988) investigaram a influência das condições de excesso de água no solo sobre a produtividade do milho em cinco diferentes estádios fenológicos. Eles verificaram que a produtividade foi reduzida significativamente quando o valor de SEW_{30} para o 1º estágio de desenvolvimento excedeu 40 cm.dias. Observaram, também, que a produtividade do milho decresceu linearmente com o incremento dos valores de SEW_{30} .

Em pesquisa para determinar o fator CS para o milho, MUKHTAR et al. (1990), com base nos dados de produtividade média de dois anos, chegaram aos valores de 0,64 para o início do período vegetativo, 0,44 para o final do período vegetativo, 0,15 para o estágio de florescimento e 0,19 para o estágio de maturação.

Por outro lado, CARTER et al. (1990), pesquisando sobre a produtividade do milho doce em várias durações de excesso de água no solo, durante os estádios vegetativo e de florescimento, determinaram fatores de suscetibilidade da cultura baseados no peso do milho comercializável, da ordem de 0,55 e 0,45 respectivamente. Tais fatores indicam que o milho doce é altamente suscetível ao estresse de excesso de água no solo, durante ambos os estádios de crescimento e, usualmente mais, durante o estágio vegetativo.

Já EVANS et al. (1990) sugerem que fatores de suscetibilidade da cultura ao estresse de umidade podem ser aproximados para algumas outras culturas, pela existência de dados sobre a resposta de produtividade destas ao estresse de seca.

Utilizando tratamentos de submersão na superfície do solo e profundidade do lençol freático a 0,15m, conjugados com quatro níveis de estresse de excesso de água equivalentes a 90, 180, 270 e 360 cm.dias, AHMAD et al. (1992) verificaram que a matéria seca do milho decresceu linearmente com o incremento dos níveis de estresse para ambos os tratamentos, mas que o tratamento submersão na superfície decresceu mais com cada incremento no nível de estresse, se comparado ao tratamento com profundidade do lençol freático a 0,15m da superfície.

2.3. Níveis do lençol freático e resposta das culturas

Na literatura, existe uma escassez de estudos, para as nossas condições, em relação aos efeitos da profundidade do lençol freático sobre a produtividade. Embora

experimentos de laboratório e de campo tenham sido conduzidos nesse sentido em outras regiões, a transferência desses resultados de uma localidade para outra não é recomendável, tendo em vista as condições específicas de cada local.

TOVEY (1964), em sua pesquisa com alfafa, a partir de lisímetros, concluiu que o excesso de água deve ser removido da zona radicular da cultura dentro de três dias, para assegurar ótima produtividade. Verificou, também, que o sistema radicular da alfafa vai se tornando progressivamente deteriorado, com maior intensidade para condições de flutuação ou intervalos de submersão excedentes a quatro dias.

WILLIAMSON & SCHILFGAARDE (1965), trabalhando com as culturas da soja, do repolho, do milho, do sorgo granífero e do milheto, em lisímetros, com lençóis freáticos constantes, estabelecidos de dez dias a três semanas após a semeadura, e mantidos durante todo o ciclo da cultura, concluíram que as produtividades geralmente aumentaram com o incremento em profundidade do lençol freático. Sugerem, também, com base nos dados de produtividade obtidos, que algumas culturas com sistema radicular profundo, como o milho, requerem um lençol freático mais profundo do que culturas com sistema radicular raso, tais como a soja.

Em um experimento com milheto submetido a lençóis freáticos estáticos, às profundidades de 0,15, 0,30, 0,46, 0,61, 0,76, 0,91 e 1,02m abaixo da superfície do solo, WILLIAMSON et al. (1969) observaram um incremento da produtividade com a profundidade do lençol freático até 0,76m. Os dados de produtividade sugerem que a disponibilidade de O_2 foi baixa em uma porção da zona radicular onde os lençóis freáticos estavam abaixo de 0,76m da superfície do solo.

RITTER & BEER (1969) pesquisaram, em condições de campo, a resposta do milho submetido a inundações por 24, 48, 72 e 96h, com uma lâmina de água mantida sobre a superfície do solo em torno de seis polegadas. O 1º tratamento foi aplicado quando o milho estava com altura de seis polegadas, e os demais, com trinta polegadas e no estágio de formação das espigas(embonecamento). Dois níveis de nitrogênio foram usados nas parcelas. Concluíram, com base nos dados de produção de grãos, que as produtividades do milho são mais afetadas quando a inundação ocorre no estágio inicial de desenvolvimento. Observaram, também, que as produtividades das parcelas com níveis altos e baixos de nitrogênio foram reduzidas em 20 e 35% respectivamente, quando as parcelas foram inundadas por 72h, e que, nos estádios finais de desenvolvimento, o efeito da inundação foi pequeno, exceto para as parcelas com baixo nível de nitrogênio. Segundo os autores, o estágio de desenvolvimento em que ocorre a inundação e a duração do período de inundação são fatores importantes na avaliação dos danos causados ao milho, e que, por conseguinte, a altura de submersão não deve ser o único critério utilizado para estabelecer danos por inundações.

De acordo com WILLIAMSON & KRIZ (1970), as máximas produtividades das culturas estão associadas a uma profundidade ótima do lençol freático, e tal profundidade ótima depende do tipo de solo, do tipo de cultura, do clima e da irrigação.

HOWELL & HILER (1974) avaliaram os efeitos de períodos de inundação sobre a resposta das culturas de milho, algodão, sorgo e ervilha. Observaram que a sobrevivência das plantas e produção de matéria seca, um mês após a semeadura, foram

‡ drasticamente reduzidas pelos períodos de inundação maiores que 02(dois) dias, durante o estágio de desenvolvimento de plântulas.

Já FOLLETT et al. (1974a) estudaram, em condições de campo, a combinação desejável da quantidade de irrigação e do grau de drenagem para produtividade de milho, beterraba e alfafa em um solo arenoso, com um lençol freático em declínio. As irrigações eram aplicadas semanalmente de 0, 0,5, 1,0 e 1,5 vezes o requerimento de água das culturas. Concluiu-se que as produtividades máximas de todas as culturas ocorreram quando o lençol freático variou entre 0,69 e 0,92m, independentemente dos requerimentos de irrigação aplicados.

FOLLETT et al. (1974b) pesquisaram a distribuição das raízes do milho em profundidade, sob condições de lençol freático em declínio, num solo arenoso. As profundidades do lençol freático variaram de 1,33 a 2,64m. Observou-se que o crescimento foi máximo para profundidades intermediárias do lençol freático e que a distribuição de raízes em profundidade indicou que requerimentos de água para milho, nesses solos arenosos, devem ser supridos para uma zona radicular com profundidade máxima de aproximadamente 1,00m. Entendem os autores que esse parâmetro é de suma importância para propor um manejo adequado em um sistema de produção com milho.

CHAUDHARY et al. (1975) estudaram a resposta do milho a quatro profundidades estáticas do lençol freático(0,60, 0,90, 1,20 e 1,50m), afetadas pelas chuvas na estação de crescimento, e submersão variando de 1 a 6 dias. Usaram um cilindro de metal de 0,58m de diâmetro e altura de 1,83m, contendo um solo franco argiloso, durante dois anos. Concluíram que a submersão durante o início da estação de desenvolvimento foi

mais prejudicial que durante o final do ciclo, e que a submersão prolongada reduziu significativamente a concentração de N, P e K no grão de milho.

Já REICOSKY et al. (1976) trabalharam com a cultura de milho em um solo areno-argiloso, subsolado até a profundidade de 0,38m e compararam com o que foi cultivado convencionalmente. Verificaram, no cultivo do ano seguinte, que, com um lençol freático a 0,80m da superfície do solo, a subsolagem resultou em maior profundidade de enraizamento do milho, provocando, conseqüentemente, maior habilidade para a planta na utilização de água capilar acima do lençol freático.

Por outro lado, HOWELL et al. (1976) conduziram pesquisa em lisímetros, tendo como objetivo avaliar a resposta do sorgo a períodos de inundação de 12 dias, com lâmina de 0,06m, no início do estágio vegetativo, início da floração e estágio de crescimento da panícula. Observaram reduções na produtividade, da ordem de 30 e 26%, para o início do estágio vegetativo e início da floração, respectivamente. Observaram, também, que na fase de crescimento da panícula não ocorreu redução na produtividade. Segundo os autores, a inundação pode causar redução na produtividade em razão de danos físicos à cultura tais como parada temporária de desenvolvimento e aumento do tempo de maturação.

Informações sobre respostas das culturas são necessárias para combinações entre profundidades do lençol freático e tratamentos de irrigação, visando a projetar adequadamente sistemas de drenagem e irrigação. Nesse sentido, BENZ et al. (1978) conduziram um experimento de campo em um solo areno-argiloso, estabelecendo as culturas de milho, beterraba e alfafa. Os tratamentos consistiram de três profundidades do

lençol freático e quatro aplicações de irrigação por aspersão, semanalmente, nas quantidades desde zero(somente precipitação) a 1,5 vez a quantidade requerida. Observaram que as produtividades das culturas em lençol freático mais profundo(2,3m), aumentaram com as quantidades de irrigação, mas nunca se igualaram àquelas com lençol freático raso(1,2m), complementado com irrigação.

ZOLEZZI et al. (1978) estudaram os efeitos de inundações sobre a produtividade de sorgo granífero, utilizando tratamentos de inundação no estágio vegetativo final para 7, 12 e 17 dias, com lâmina de 0,08m. Observaram que, em todos os tratamentos, houve um decréscimo de área foliar e altura da planta e que as reduções na produtividade foram de 21,2, 12,9 e 2,5% para os tratamentos com 17, 12 e 7 dias, respectivamente, comparados com o tratamento-testemunha.

CRUCIANI (1981) conduziu pesquisa em casa-de-vegetação e campo experimental, tendo como objetivos estudar as respostas de uma variedade de trigo e de milho, a inundações completas do sistema radicular, no intuito de quantificar os efeitos produzidos em fases distintas do ciclo vegetativo dessas culturas. Dentre outras conclusões, verificou que a fase mais crítica para as duas culturas foi durante o florescimento, tendo havido decréscimo de produtividade em relação às testemunhas de 32,6, 39,2 e 43,5% para o trigo e de 43,0, 60,6 e 68,9% para o milho, com respectivamente 3, 6 e 9 dias de inundação. Sugere, ainda, o pesquisador que o tempo de drenagem da zona radicular dessas culturas deva ser inferior a três dias.

Em pesquisa com o objetivo de avaliar a produtividade da alfafa, em função da profundidade do lençol freático e dos níveis de irrigação, BENZ et al. (1982)

conduziram experimento com lisímetros, em parcelas de campo de solo arenoso. Os resultados mostraram que a profundidade ótima do lençol freático para produtividades máximas foi de 1,5m e que a irrigação não foi necessária quando o lençol freático foi mantido nessa profundidade ótima.

PINTO (1985) conduziu pesquisa com feijão, cultivado em colunas de solo mineral de várzea, construídas de tubos de PVC rígido, com dimensões de 1,20m de comprimento e 0,15m de diâmetro externo. Os tratamentos aplicados consistiram de quatro profundidades estáticas do lençol freático: 0,25, 0,40, 0,55 e 0,80m em relação à superfície do solo, com e sem irrigação por superfície, mais um tratamento irrigado por superfície e sem a presença do lençol freático. O autor concluiu que a produtividade e os componentes de produção do feijoeiro, em geral, não foram afetados pela profundidade do lençol freático, exceto a altura das plantas, e que o uso da subirrigação, com lençol freático estático como única fonte de água para a zona radicular, resultou em baixa produtividade, em comparação com os tratamentos irrigados por superfície.

ALVINO & ZERBI (1986) conduziram experimento em condições de campo, em solo de aluvião, sob condições de precipitações naturais e irrigação, visando a verificar o efeito do lençol freático sobre parâmetros de produção da cultura do milho. Os dados mostraram que a produtividade do milho decresceu com o aumento da profundidade do lençol freático, fazendo-se perceber essa tendência mais rapidamente sob condições de chuva que de irrigação. Segundo os autores, a produtividade foi aumentada com a irrigação, mesmo para lençóis freáticos rasos(0,6m), via um aumento no número de sementes por espiga e reduzida senescência foliar.

Em experimento de campo, instalado em um solo gley pouco húmico de várzea, LIMA et al. (1986) estudaram os efeitos de níveis de profundidade do lençol freático sobre parâmetros de produção da cultura do feijoeiro, variedade "Preto 60 dias". Os níveis do lençol freático, obtidos pela aplicação contínua de água no solo, compreenderam as faixas de 0,55-0,60, 0,61-0,66, 0,67-0,72, 0,73-0,78, 0,79-0,84 e 0,85-0,90m. Observaram tais autores que não houve diferença estatística entre os níveis freáticos de 0,55 a 0,84m para produtividade, número de vagens por planta e número de grãos por vagem. Verificaram, também, que a produtividade no nível freático de 0,55-0,60m foi 98% superior à do nível de 0,85-0,90m e que o lençol freático com profundidade superior a 0,84m proporcionou menor desenvolvimento vegetativo das plantas. Enfim, esses pesquisadores demonstram que o uso da subirrigação para o feijoeiro, como fonte de suprimento de água para as raízes, pode mostrar-se viável, desde que o lençol freático seja mantido entre 0,55 e 0,84m de profundidade.

Já COOPER et al. (1991) avaliaram o potencial de produtividade da soja em condições de campo, submetida a cultura a um sistema de subirrigação/drenagem em um solo de textura franco-argilosa, comparando tal situação com um tratamento não-irrigado (profundidade do lençol freático variando naturalmente). O lençol freático do sistema de subirrigação/drenagem foi mantido na faixa de 0,25m sobre a linha de drenos e 0,53m no ponto médio entre drenos, os quais eram espaçados de 6,0m. Verificaram, com base nos dados de produtividade da soja, que o sistema de subirrigação/drenagem apresentou um rendimento 58% superior ao sistema não irrigado. De acordo com os autores, o manejo adequado de um sistema de subirrigação/drenagem pode permitir a obtenção de elevadas produtividades.

ANDRADE (1991), por sua vez, estudou os efeitos das profundidades estáticas do lençol freático a 0,30, 0,50, 0,70 e 0,90m, em lisímetros preenchidos com um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, sobre a evapotranspiração e componentes de produção da cultura do milho-doce. Concluiu que a produção de espigas verdes aumentou linearmente com a profundidade do lençol freático, e que a lâmina de evapotranspiração total para todas as profundidades freáticas, após 45 dias da semeadura, foi maior do que a evaporação total do tanque Classe A.

KANDIL & WILLARDSON (1992) desenvolveram metodologia que permite, através de análise de regressão linear múltipla de frequências de profundidades do lençol freático, estimar produtividades de culturas afetadas por diferentes níveis do lençol freático. Entendem, também, os pesquisadores que dados de produtividade podem ser utilizados para determinar o espaçamento de drenos, no intuito de obter-se a melhor produtividade.

Por fim, ANDRADE & REIS (1992) conduziram experimento em solo Gley Húmico, para avaliar a influência de diferentes profundidades do lençol freático na produtividade das culturas de soja, milho e arroz. O experimento foi locado entre dois drenos espaçados 15,0m entre si, com o dreno superior cheio de água, servindo como fonte de recarga, e o dreno inferior mantido vazio, com a finalidade de estabelecer um gradiente na linha freática. Verificaram que os maiores rendimentos de milho foram obtidos onde o lençol freático se manteve entre 0,60 e 0,70m de profundidade, e que os rendimentos, para as culturas da soja e do arroz, não apresentaram diferença significativa em relação à profundidade do lençol freático.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área experimental

A presente pesquisa foi conduzida em uma várzea, no campo experimental de drenagem, pertencente ao Departamento de Engenharia Rural da ESALQ(Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"), Piracicaba-SP, no período de novembro de 1992 a março de 1993.

A área experimental caracteriza-se por apresentar um relevo plano, com leves ondulações, drenagem interna deficiente, prestando-se preliminarmente para o cultivo de arroz sob regime de irrigação por inundação, exclusivamente. A problemática de drenagem na área experimental era agravada pela contribuição das águas provenientes de uma encosta situada na divisa, tendo-se, por esse motivo, construído um terraço de pé de encosta, com a finalidade de promover o escoamento das águas superficiais. A área útil do experimento compreendeu 8100 m², sendo seu solo classificado como Gleissolo Eutrófico, horizonte A moderado, textura argilosa a média(Typic Haplaquet), com inclusões de solos vérticos (Vertic Haplaquet), conforme mapeamento de solos da ESALQ. O levantamento planialtimétrico do campo experimental é mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Levantamento planialtimétrico do campo experimental de drenagem.

O local experimental possui, como coordenadas geográficas, latitude de 22°42'30" sul, longitude de 47°38'00" oeste e altitude de 546 metros. Apresenta uma caracterização climática média anual de 1247 mm de precipitação normal, 20,8°C de temperatura e 69% de umidade relativa. O clima da região, pela classificação climática proposta por KOPPEN, é do tipo mesotérmico CWa, isto é, subtropical úmido, com estiagem no inverno, temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e a do mês mais quente superior a 22°C, também denominado tropical de altitude, conforme CAMARGO et al. (1974). De acordo com CERVellini et al. (1973), a maior parte da precipitação ocorre no período de novembro a fevereiro, principalmente com chuvas de alta intensidade e curta duração. Os dados meteorológicos, coletados no Posto Agrometeorológico localizado nas proximidades da área experimental, são mostrados no Quadro 1, sendo os registros de precipitação pluvial coletados "in loco", através de pluviômetro previamente instalado, conforme mostra o Quadro 1 do Apêndice.

3.2. Características físico-hídricas e químicas do solo

Na instalação do experimento, coletaram-se, ao longo do perfil do solo até a profundidade de 1,00m, amostras com estruturas deformadas e não-deformadas, com a finalidade de se determinarem as principais características físico-hídricas e químicas de interesse para a pesquisa.

Quadro 1. Dados meteorológicos do Posto Agrometeorológico da ESALQ durante o experimento.

Elementos Meteorológicos	1992		1993		
	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.
Temperatura(°C)					
Máxima	33,80	34,30	36,40	31,80	34,80
Mínima	12,80	13,00	18,00	16,60	17,20
Umidade relativa (%)					
	77,50	74,00	81,50	85,20	79,60
Evaporação(mm)					
Tanque Classe A	131,10	199,90	167,20	111,00	136,20
Precipitação(mm)					
	153,40	142,20	179,90	232,10	39,70
Velocidade do vento (m.s⁻¹)					
	2,68	2,52	2,00	2,00	1,81

As amostras foram coletadas em subcamadas de 0,25m, com três repetições, entre os blocos III e IV onde localizavam-se drenos espaçados a 30,0m. Na determinação da composição granulométrica do solo, utilizou-se a metodologia do hidrômetro, proposta por BOUYOUCOS (1926), sendo que a massa específica real foi

determinada pelo método do picnômetro. A porosidade total (PT) foi estimada em função das massas específicas global e real. A estimativa da porosidade drenável (α) foi procedida pela diferença entre a porosidade total e a umidade equivalente (θ^*), à tensão de 3×10^4 Pa.

As características físico-hídricas do solo são apresentadas no Quadro 2. As curvas características de umidade das camadas do perfil, mostradas na Figura 2, foram obtidas através de mesa de tensão, no intervalo de 10^3 a 4×10^3 Pa, e Câmara de Richards, com placas porosas para tensões de 10^4 a 10^5 Pa. A camada 0,50-0,75m, de textura franco-argilosa, apresenta menor porosidade drenável e maior retenção de água, o que constitui uma disparidade, que deve estar ligada ao fato de as amostras não terem sido coletadas em um mesmo local, dada a variabilidade espacial existente em solos de várzeas.

As análises químicas do solo, mostradas no Quadro 3, demonstram que o mesmo apresenta uma boa fertilidade, tendo em vista valores elevados de CTC nas camadas superficiais, estando também bem provido de fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Apresenta uma reação ligeiramente ácida ($p_H = 6,4$), sem problemas de alumínio.

3.3. Instalação do experimento

No planejamento da pesquisa, seguiram-se duas etapas distintas: inicialmente, a instalação de um sistema de drenagem subterrânea, e, por último, o estabelecimento e a condução de uma cultura de milho, de acordo com o procedimento experimental proposto.

Quadro 2. Características físico-hídricas do solo da área experimental³

Prof. (m)	Análise Granulométrica			Classe Textural	
	Argila(%)	Silte(%)	Areia(%)		
0,00-0,25	66,71	27,56	5,73	Argiloso	
0,25-0,50	67,05	25,74	7,21	Argiloso	
0,50-0,75	38,66	31,06	30,28	F.Argiloso	
0,75-1,00	47,63	36,54	15,83	Argiloso	
Massa específica global (Kg.m ⁻³ .10 ³)	Massa específica real (Kg.m ⁻³ .10 ³)	PT (%)	θ^* (%)	α (%)	
1,22	2,88	57,6	50,1	7,5	
1,17	2,91	59,8	46,1	13,7	
0,96	2,59	62,9	60,0	2,9	
1,14	2,60	56,1	51,4	4,7	

θ^* - umidade volumétrica à tensão de 3×10^4 Pa;

α - porosidade efetiva ou drenável

PT - porosidade total

³Análises realizadas no Laboratório de Física de Solos do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP.

Figura 2 - Curvas características de umidade do solo da área experimental

Quadro 3. Características químicas do solo da área experimental⁴

Prof. (m)	pH em água			M.O. (%)			P (ppm)
0,00-0,25	6,4			2,8			43
0,25-0,50	7,2			2,3			41
0,50-0,75	5,9			6,5			62
0,75-1,00	6,5			2,3			13

Complexo sortivo				mE/100g de solo			100S/T V(%)
Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	CTC	
19,0	21,0	0,31	40,3	2,8	0,2	43,1	94,0
32,0	24,0	0,24	56,2	1,3	0,1	57,5	98,0
12,0	8,0	0,14	20,1	3,8	0,2	23,9	84,0
13,0	8,0	0,10	21,1	1,8	0,0	22,9	92,0

3.3.1. Sistema de drenagem subterrânea

Na área experimental, implantou-se um sistema de drenagem subterrânea, constituído de dezenove linhas de drenos laterais, locadas em direção perpendicular ao coletor, com comprimento de 45,0m e espaçamento consecutivo de 10,0m, o qual permitiria a obtenção de espaçamentos com valores múltiplos ao adotado. A profundidade média de instalação foi de 1,00m em relação ao terreno sistematizado, com gradiente de declive, no sentido do coletor, de 0,003 m/m, e no sentido transversal, de 0,002 m/m. No ponto de descarga dos drenos laterais, junto ao coletor, deixou-se uma folga de 0,40m.

⁴Análises realizadas no Laboratório de Análises de Solos do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP.

Os drenos laterais foram construídos com tubos de drenagem corrugados flexíveis de PVC (DN 100), sendo utilizada como envelope de recobrimento dos drenos, uma manta de poliéster denominada bidim OP-30.

3.3.2. Parcelas experimentais

As parcelas experimentais, num total de dezoito, cujas dimensões eram de 9,0m x 5,0m, foram locadas na parte central, entre drenos laterais consecutivos, visando a coincidir com a maior elevação do lençol freático.

Os tratamentos avaliados consistiram em espaçamentos de drenos laterais a 10,0m (T_1), 20,0m (T_2) e 30,0m (T_3). Dessa forma, no local de descarga dos drenos laterais, junto ao coletor, procedeu-se a uma obstrução, com a finalidade de obter espaçamentos de 20,0m e 30,0m, conforme requerido pela pesquisa. As obstruções foram efetuadas através de tampões de PVC rígido (DN 100).

Instalaram-se duas fileiras de poços de observação, sendo cada uma constituída de dezenove poços, com a finalidade de se proceder à caracterização do comportamento do lençol freático, através de medidas de cargas hidráulicas em função do tempo, de mapas das curvas de nível do lençol freático e da descrição de sua forma entre drenos.

Os poços foram abertos com trado tipo holandês, de 0,05m de diâmetro a profundidade variável. Para sua instalação, utilizaram-se tubos de PVC rígido, de 0,04m de diâmetro, fendilhados com serra e envelopados com brita zero até a superfície.

Após instalados, os poços ficaram com um comprimento uniforme de 0,30m acima da superfície do solo, fixados com uma base de cimento, nivelada à superfície do terreno, com cotas fixadas a partir de um nivelamento geométrico da área, para servir de referência de nível do lençol freático.

As fileiras de poços de observação foram distribuídas na área experimental transversalmente às linhas de drenos laterais. As fileiras A e B foram localizadas a 11,25m e 33,75m, respectivamente, do local de deságue dos drenos. Os poços foram locados sobre as linhas de drenos e no ponto médio entre duas linhas, sendo a distribuição idêntica para as duas baterias. A Figura 3 mostra o croqui da área experimental.

3.4. Leituras dos poços de observação e descargas dos drenos laterais

Às leituras dos poços de observação e descargas dos drenos laterais procedia-se sempre que ocorresse uma recarga natural. Inicialmente, mediam-se as descargas dos drenos e, em seguida, efetuavam-se as leituras junto às duas fileiras de poços de observação. Esses dados eram coletados até o dia em que o lençol freático praticamente não apresentasse variação no nível, em relação ao dia anterior, sendo reiniciado logo após uma nova recarga. A disponibilidade desses dados permitiu fazer-se uma análise do funcionamento do sistema de drenagem subterrânea, através de estimativa da eficiência de rebaixamento do lençol freático. As descargas dos drenos laterais são mostradas no Quadro 2 do Apêndice.

Figura 3 - Croqui da área experimental

3.5. Condutividade hidráulica do solo saturado

Ao longo do experimento, realizaram-se testes de condutividade hidráulica do solo saturado (K_o), utilizando-se o método do poço ou trado, tradicionalmente o mais usado em pesquisa de drenagem subterrânea. Os testes foram realizados na parte central entre os drenos laterais 1 e 2, num total de cinco testes, com três repetições cada, a intervalos de 24 horas.

No cálculo de K_o , utilizou-se metodologia proposta por Ernst⁵ e detalhada por CRUCIANI (1989), condição em que a distância entre o fundo do poço e a camada impermeável é maior que a metade da distância entre o nível freático e o fundo do poço, conforme a expressão:

$$K_o = \frac{4000}{(H/r + 20) (2 - Y/H)} \times \frac{r \cdot \Delta Y}{Y \cdot \Delta t} \cdot \cdot \cdot \quad (6)$$

sendo:

K_o - condutividade hidráulica do solo saturado, $L.T^{-1}$;

H - profundidade do poço, abaixo do nível freático, L ;

Y - distância entre o nível freático e o ponto médio dos níveis de água no intervalo de tempo Δt , L ;

r - raio do poço, L ;

ΔY - intervalo de altura no tempo Δt , L ;

Δt - intervalo de tempo entre duas leituras, T .

⁵ERNST, L.F. A new formula for the calculation of the permeability factor with the auger hole method. T.N.O. Groningen (traduzido do holandês por H. Bouwer, Ítaca, N. York, Cornell University), 1950.

parâmetro foi obtido a partir da coleta aleatória em trinta plantas competitivas na área experimental, cujo valor médio foi igual a 0,20m.

Na coleta do material, realizou-se uma escavação cuidadosa ao redor da planta para não danificar seu sistema radicular, sendo ela retirada juntamente com um volume de solo(torrão), e, em seguida, levada para lavagem em água corrente. A Figura 4 mostra aspectos do sistema radicular da cultura.

3.7. Flutuações do lençol freático

As flutuações do lençol freático podem propiciar situações de estresse não só de excesso de água, como também de seca, e alternadamente, durante o ciclo de uma cultura. Embora sejam necessárias informações de tolerância das culturas tanto ao excesso, quanto ao déficit de água, essa pesquisa deu ênfase à tolerância ao excesso de água.

No presente trabalho, as leituras de profundidade do lençol freático, nos poços de observação, localizados no centro de cada parcela, foram concentradas entre o estágio de emergência dos estilo-estigmas, quando a cultura é acentuadamente dependente do clima, e o estágio correspondente ao início da formação de "dentes", de acordo com FANCELLI & LIMA (1982). A idéia inicial de coletar dados em todo ciclo da cultura não foi possível, em decorrência de limitações de tempo no estabelecimento do experimento.

Figura 4 - Aspectos do sistema radicular da cultura

Os dados de profundidade do lençol freático permitirão quantificar, para cada unidade experimental, o índice de estresse SEW, que representará a soma do valor excedente de água no solo, conhecido como a "soma do excesso de água", para avaliar o efeito, sobre a produtividade, da ocorrência do lençol freático na zona radicular da cultura. Tendo em vista a profundidade do sistema radicular definido anteriormente no item 3.6, adotar-se-á na presente pesquisa, o índice de estresse SEW_{20} .

No cálculo, utilizar-se-á a seguinte equação:

$$SEW_{20} = \sum_{i=1}^n (20 - x_i) \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (8)$$

sendo:

x_i - profundidade do lençol freático abaixo da superfície do solo no dia i, em cm;

n - número de dias na estação de crescimento.

O método estabelece o critério de que números negativos dentro da somatória sejam negligenciados, ou seja, só serão computados valores de x_i menores que 20.

As produtividades absolutas do milho foram convertidas para produtividades relativas, considerando-se a razão entre a produtividade medida para cada parcela e a produtividade potencial, sendo esta considerada como a produtividade mais alta. Na análise da dinâmica do lençol freático em relação ao rendimento da cultura, realizaram-se análises de ajuste de equações relacionando produtividade relativa com profundidade

média do lençol freático e produtividade relativa com SEW_{20} . Um programa computacional para ajuste de equações em dados experimentais foi usado para encontrar-se o modelo que melhor se adaptasse. Três funções matemáticas (linear, exponencial e potencial) foram usadas para ajustar os dados.

3.8. Condução da cultura no campo

Instalado o sistema de drenagem subterrânea, procedeu-se ao preparo da área e, em seguida ao estabelecimento da cultura de milho. Utilizou-se a variedade Piranão VD2, de porte baixo, alta produtividade e boas características agronômicas, oriunda do Departamento de Genética da ESALQ e obtida por PATERNIANI (1973), pelo emprego do gene braquítico-2.

A semeadura, realizada no dia 06.11.1992, foi manual, com fileiras espaçadas 0,90m entre si, em direção paralela aos drenos laterais. Na oportunidade, foi realizada adubação de fundação, com base na análise de fertilidade do solo, a qual sugeria a aplicação de 10 kg.ha^{-1} de N, 75 kg.ha^{-1} de P_2O_5 e 50 kg.ha^{-1} de K_2O .

No sétimo dia após a germinação, realizou-se o replantio, sendo o desbaste realizado quinze dias após essa operação. Adubação de cobertura foi efetuada quarenta dias após a germinação, à base de 80 kg.ha^{-1} de N.

Aplicaram-se duas pulverizações de caráter preventivo contra a lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), à base do inseticida Criolita (fluor aluminato de sódio), na dosagem de 9 Kg.ha^{-1} de ingrediente ativo na formulação pó molhável.

Durante todo o ciclo, a cultura foi mantida livre da concorrência de ervas daninhas, realizando-se, quando necessário, capinas manuais. A Figura 5 mostra uma vista geral do experimento.

No dia 19.03.1993, realizou-se a colheita - aleatoriamente, trinta plantas competitivas, da área útil de cada parcela experimental, formaram a base da determinação dos parâmetros de produção da cultura. A bordadura era formada pelas duas últimas fileiras de plantas localizadas nas laterais das parcelas e as quatro primeiras plantas na extremidade de cada fileira.

Após a colheita das parcelas separadamente, as espigas eram postas a secar à sombra, em seguida, pesadas e imediatamente debulhadas, anotando-se o peso dos grãos e separando uma amostra de 0,25 kg de milho para determinação do teor de umidade, utilizando-se, para isso, o aparelho "Steinlite - Eletronic Moisture Tester" modelo RC-Sample Wt. A seguir, foram feitas correções em função da umidade, utilizando-se a seguinte fórmula:

$$PC(15,5\%) = \frac{PC(1-U)}{(1-0,155)} ; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

sendo:

PC(15,5%): peso seco corrigido para 15,5% de umidade;

PC: peso de campo observado;

U: umidade observada;

(1 - 0,155): expressa a matéria seca a umidade de 15,5%.

Figura 5 - Vista geral da cultura estabelecida no campo

3.9. Delineamento experimental

O delineamento estatístico realizou-se em blocos completos casualizados, constando de três tratamentos e seis blocos. De acordo com GOMES (1990), o modelo matemático associado a esse delineamento é:

$$X_{ij} = m + t_i + b_j + e_{ij};$$

sendo:

X_{ij} : observação do tratamento i na repetição j ;

m : média geral;

t_i : efeito do i -ésimo tratamento na variável dependente;

b_j : efeito do j -ésimo bloco na variável dependente;

e_{ij} : erro aleatório atribuído à observação X_{ij} .

As variáveis utilizadas para testar a influência dos tratamentos consistiram dos seguintes caracteres de produção da cultura do milho:

- Altura de planta: obtida medindo-se a distância da superfície do solo até a inserção da última folha;
- Peso de 100 grãos: determinado a partir de uma amostra de 100 grãos tomada aleatoriamente, do total debulhado de cada parcela;
- Peso médio das espigas: valor obtido por divisão do peso total das espigas pelo número delas, em cada unidade experimental;

- Peso de grãos por espiga: determinado pela diferença entre o peso das espigas e o peso dos sabugos;

- Produtividade: obtida com base no peso de grãos por espiga e transformada em kg.ha^{-1} .

As análises estatísticas foram realizadas segundo o esquema de blocos completos casualizados, de acordo com os critérios estabelecidos pela estatística experimental (GOMES, 1990). Para análise, utilizou-se o programa de computação SANEST (Sistema de Análise Estatística). Procedeu-se a uma análise de variância individual para cada um dos parâmetros de produção, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey, aos níveis de 5% e 1% de probabilidade.

Na análise de variância, os tratamentos foram comparados pelo teste F, considerando-se um nível mínimo de significância de 5% de probabilidade. Além da análise de variância, os caracteres de produção foram estudados através de análise de correlação simples, sendo aplicado o teste t para cada uma das correlações.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Recarga do lençol freático

A recarga do lençol freático foi promovida exclusivamente por precipitações naturais. Durante o ciclo da cultura, a precipitação acumulada atingiu 747,3 mm, com totais mensais sempre um pouco acima da precipitação dependente, a 75% de probabilidade, ou seja, da quantidade mínima de precipitação que se esperava ocorrer, com uma probabilidade de 75% (MARQUES Jr. et al., 1994). Verifica-se, portanto, que, hidrológicamente, o período não foi atípico, não se constituindo, por conseguinte, em fator limitante para os objetivos da presente pesquisa.

A Figura 6 mostra a distribuição das precipitações ocorridas durante o ciclo da cultura.

Figura 6 - Distribuição das precipitações no ciclo da cultura

4.2. Análise dos caracteres de produção

O Quadro 4 mostra os resultados referentes às médias dos caracteres de produção do milho, os quais constituíram as variáveis utilizadas para testar a influência dos tratamentos. Nos Quadros 5 e 6, constam, respectivamente, os resumos das análises de variância para altura de planta, peso de 100 grãos, peso médio das espigas, peso de grãos por espiga e produtividade.

Nesses quadros constam, também, as médias e os coeficientes de variação para cada carácter de produção, além do Teste de Tukey para médias de tratamentos.

De acordo com PIMENTEL GOMES (1990), em se tratando de ensaios agrícolas em condições de campo, podem ser considerados como baixos os coeficientes de variação inferiores a 10%; médios, quando de 10 a 20%; altos, quando de 20% a 30%; muito altos, quando superiores a 30%. Os coeficientes de variação para os caracteres estudados apresentaram uma amplitude de 2,56 a 14,35%, indicando, dessa forma, uma boa precisão experimental.

Observa-se, com base nos resultados das análises estatísticas, que, embora os caracteres de produção tenham apresentado uma tendência diferenciada em relação aos tratamentos, tais discrepâncias não foram estatisticamente significativas aos níveis de 5 e 1%, exceção à variável peso de 100 grãos.

Quadro 4. Médias dos caracteres de produção do milho em função dos tratamentos aplicados

TRAT.	BLOCOS					
	I	II	III	IV	V	VI
ALTURA DE PLANTA (m)						
T ₁	1,31	1,23	1,26	1,14	1,22	1,35
T ₂	1,31	1,19	1,31	1,23	1,20	1,21
T ₃	1,30	1,25	1,24	1,13	1,26	1,16
PESO DE 100 GRÃOS (g)						
T ₁	31,62	32,79	32,84	31,04	28,96	30,02
T ₂	31,40	30,31	31,23	28,71	27,32	28,26
T ₃	30,72	30,04	29,74	29,15	27,38	25,60
PESO MÉDIO DAS ESPIGAS (g)						
T ₁	125,2	125,2	137,2	124,0	101,4	106,8
T ₂	127,6	119,0	127,2	124,0	83,0	73,7
T ₃	136,6	135,6	106,5	82,4	101,0	73,7
PESO DE GRÃOS POR ESPIGA (g)						
T ₁	104,4	107,3	115,4	79,5	84,5	90,5
T ₂	109,3	100,8	106,6	103,2	69,5	65,3
T ₃	115,5	114,0	89,3	67,8	84,0	61,7
PRODUTIVIDADE (Kg.ha ⁻¹)						
T ₁	5220,0	5740,6	6000,8	3975,0	4267,3	4434,5
T ₂	5465,0	5292,0	5489,9	5366,4	3405,5	3199,7
T ₃	5775,0	5814,0	4465,0	3390,0	4284,0	3085,0

Quadro 5. Análise de variância dos caracteres de produção

F.V.	G.L.	Q.M.				
		Alt.Pl.	P.100G	P.Esp.	P.G/E	Prod.
Trat.	2	0,0012 ^{ns}	9,3416 ^{**}	113,7414 ^{ns}	101,5477 ^{ns}	332574,59 ^{ns}
Res.	10	0,0029	0,5858	220,9562	158,6794	455870,84

ns : não significativo pelo teste F ao nível de 5%

** : significativo pelo teste F ao nível de 1%.

Quadro 6. Teste de Tukey para médias de tratamentos

	Alt.Pl.	P.100G	P.Esp.	P.G/E	Prod.
Trat.	Média	Média	Média	Média	Média
T.1	1,252a	31,212a	114,967a	96,933a	4939,700a
T.2	1,242a	29,538b	109,900a	92,450a	4703,083a
T.3	1,223a	28,772b	106,300a	88,717a	4468,833a

Médias seguidas por letras distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey, nível de significância de 5%.

Figura 7 - Aspectos das amostras de espigas em função dos tratamentos aplicados

No Quadro 7, são apresentados os resultados referentes à análise de correlação linear para os caracteres de produção analisados. Tomando-se como base a produtividade, que se constitui no principal carácter de produção, verifica-se uma correlação positiva (significativa pelo teste t ao nível de 1%) com todos os outros caracteres analisados.

Quadro 7 . Coeficientes de correlação simples entre os caracteres de produção

X_1 e $X_2 = 0,4113$ Valor t = 1,8048 ^{ns}	X_1 e $X_3 = 0,6320$ Valor t = 3,2621 ^{**}	X_1 e $X_4 = 0,6415$ Valor t = 3,3451 ^{**}
X_1 e $X_5 = 0,5875$ Valor t = 2,9040 ^{**}	X_2 e $X_3 = 0,7539$ Valor t = 4,5904 ^{**}	X_2 e $X_4 = 0,7618$ Valor t = 4,7042 ^{**}
X_2 e $X_5 = 0,7627$ Valor t = 4,7176 ^{**}	X_3 e $X_4 = 0,9989$ Valor t = 85,3414 ^{**}	X_3 e $X_5 = 0,9935$ Valor t = 34,9910 ^{**}
X_4 e $X_5 = 0,9942$ Valor t = 36,9203 ^{**}		

ns : não significativo pelo teste t ao nível de 5%

** : significativo pelo teste t ao nível de 1%.

sendo:

X_1 : altura de planta

X_2 : peso de 100 grãos

X_3 : peso médio das espigas

X_4 : peso de grãos por espiga

X_5 : produtividade

Resultados semelhantes são relatados por PEREIRA (1990). Dessa forma, um aumento em qualquer um desses caracteres acarretará aumento na produtividade, dentro das condições desse estudo. Os resultados demonstram, também, que os demais caracteres de produção se correlacionaram significativamente entre si. Esses resultados podem ser explicados, com base na interdependência existente entre esses caracteres de produção.

O porte baixo dessa variedade de milho foi obtido pelo emprego do gene recessivo braquíptico-2, o qual não interfere na produtividade da cultura. Características de produtividade, estão relacionadas à capacidade de fotossintetização, a qual depende das condições do meio. Daí a explicação para o fato das correlações entre altura de planta e peso de 100 grãos, terem sido não significativas pelo teste t ao nível de 5%.

4.3. Avaliação econômica do sistema de drenagem

Os custos de implantação correspondentes aos investimentos de 1,0 ha de drenagem subterrânea, em função do espaçamento, são mostrados no Quadro 8. Dentre outros, consultou-se PREÇOS AGRÍCOLAS (1994). Tais custos correspondem aos valores dos investimentos necessários para a instalação completa do sistema de drenagem, não se considerando possíveis custos iniciais de saneamento e/ou sistematização. Na avaliação econômica, estimou-se a vida útil do sistema de drenagem como igual a 30 anos, de acordo com recomendações da FAO (1986), e uma captação de

Quadro 8. Custos de implantação de 1,0 ha de drenagem subterrânea em função do espaçamento

Ítem	Dreno lateral (10,0m)	Unid.	Preço (US\$)		Total
			Quant.	Unit.	
01.	Tubos de drenagem	m.	1000	2.70	2,700.00
02.	Envelope manta poliéster	m ²	500	1.61	805.00
03.	Escavação mec. valas	m ³	500	2.90	1,450.00
04.	Acabamento manual valas	h/d	6	2.93	17.58
05.	Levantamento altimétrico	d.	2	10.50	21.00
06.	Amarrio manta poliéster	h/d	2,5	2.93	7.33
07.	Aterro mec. de valas	m ³	350	1.92	672.00
Total					5,672.91

Ítem	Dreno lateral (20,0m)	Unid.	Quant.	Unit.	Total
01.	Tubos de drenagem	m.	500	2.70	1,350.00
02.	Envelope manta poliéster	m ²	250	1.61	402.50
03.	Escavação mec. valas	m ³	250	2.90	725.00
04.	Acabamento manual valas	h/d	3	2.93	8.79
05.	Levantamento altimétrico	d.	1,5	10.50	15.75
06.	Amarrio manta poliéster	h/d	1,5	2.93	4.40
07.	Aterro mec. de valas	m ³	175	1.92	336.00
Total					2,842.44

Ítem	Dreno lateral (30,0m)	Unid.	Quant.	Unid.	Total
01.	Tubos de drenagem	m.	333,4	2.70	900.07
02.	Envelope manta poliéster	m ²	166,7	1.61	268.39
03.	Escavação mec. valas	m ³	166,7	2.90	483.43
04.	Acabamento manual valas	h/d	2,0	2.93	5.86
05.	Levantamento altimétrico	d.	1,0	10,50	10.50
06.	Amarrio manta poliéster	h/d	1,0	2.93	2.93
07.	Aterro mec. de valas	m ³	116,7	1.92	224.06
Total					1,895.24

dinheiro necessário ao investimento a uma taxa de 12% ao ano. De acordo com HOFFMANN et al. (1992), quando se considera que as amortizações rendem juros, pode-se calcular uma anuidade que engloba os custos de amortização e juros do bem de capital. No presente trabalho, o valor final ou residual do sistema foi considerado igual a zero.

O fator de recuperação do capital (FRC) foi calculado conforme a equação:

$$FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

sendo:

i - taxa real anual de juros, em decimal;

n - vida útil do sistema de drenagem, em anos.

A anuidade, que diz respeito à capacidade de pagamento a ser efetuada em n anos, para amortização do investimento, corresponde ao produto entre o fator de recuperação do capital e o custo do investimento inicial.

Com relação aos custos variáveis (manutenção e operação do sistema), para as condições do presente trabalho, não existiram custos com operação, tendo em vista o sistema operar com saída por gravidade. Já os custos médios anuais de manutenção foram estimados com base em recomendações da FAO(1986), e são da ordem de 4 a 10 dólares por hectare. Dessa forma, os custos variáveis não constaram da presente análise. Na hipótese da existência de um sistema de saída por bombeamento, os custos variáveis assumiriam papel relevante.

O Quadro 9 mostra os preços dos elementos econômicos em 1,0 ha de drenagem subterrânea, obtidos nos diferentes espaçamentos de drenos laterais.

A estimativa do custo operacional e a exigência física de fatores de produção para a exploração de 1,0 ha da cultura de milho foi de US\$101.19, conforme o "custo operacional total", estimado por MELLO et al. (1986). De acordo com HOFFMANN et al. (1992), o custo operacional total difere do custo total apenas por não incluir os juros sobre o capital empatado e uma possível remuneração do empresário.

O Quadro 10 apresenta a renda bruta da cultura de milho em função da produtividade, obtida nos diferentes espaçamentos de drenos laterais. Já o Quadro 11, os dados econômicos para 1 ha de drenagem subterrânea nos diferentes espaçamentos de drenos laterais, considerando-se que o sistema de drenagem é utilizado para produzir duas safras de milho por ano. Para o cálculo da renda líquida anual, tem-se:

$$RL = RB * 2 - (CF + COC * 2) \dots \dots \dots (11)$$

sendo:

RB - renda bruta da cultura para uma safra(US\$/ha);

CF - custos fixos anuais(US\$/ha);

COC- custo operacional da cultura para uma safra(US\$/ha).

Quadro 9. Elementos econômicos em 1,0 ha de drenagem

Espaçamento de drenos laterais	DL.10m	DL.20m	DL.30m
Investimento inicial (US\$)	5,672.91	2,842.44	1,895.24
Fator de rec. do capital	0,1241	0,1241	0,124
Anuidade (US\$)	704.01	352.75	235.2
Amortização investimento (anos)	30,00	30,00	30,0

Quadro 10. Renda bruta da cultura de milho em 1,0 ha.

Espaçamento(m)	Quant.prod. (kg)	Preço (US\$)	
		Unit.	Total
10,00	4.939,70	0.13	642.20
20,00	4.703,10	0.13	611.40
30,00	4.468,80	0.13	580.94

Quadro 11. Dados econômicos para 1 ha de drenagem em função do espaçamento de drenos laterais(*)

Espaçamento de drenos	10,0m	20,0m	30,0m
Renda bruta(US\$/ano)	1,284.40	1,222.80	1,161.88
Custos fixos(US\$/ano)	704.01	352.75	235.20
Custo oper. cult.(US\$/ano)	202.38	202.38	202.38
Renda líquida(US\$/ano)	378.01	667.67	724.30

* Cultura estabelecida - milho

O valor da renda líquida constitui, portanto, o saldo ou resíduo de renda que se destina a remunerar a terra e o empresário. Esses resultados mostram que, dentre os tratamentos testados nas condições da presente pesquisa, o espaçamento de drenos laterais paralelos e equidistantes a 30,0m apresentou-se como a melhor alternativa econômica.

4.4. Efeito do lençol freático no rendimento da cultura

O espaçamento de drenos, por si só, não traz a lume o comportamento dinâmico do lençol freático, que, em última análise, traduz as condições de estresse de umidade e seca a que a cultura foi submetida.

Tomando-se como base que cada várzea possui características que lhe são peculiares, e dadas as condições de heterogeneidade que lhe são específicas, depreende-se a necessidade de um estudo com base no rendimento da cultura, a partir de dados diários do comportamento do lençol freático. Na presente pesquisa, utilizaram-se dados de profundidade do lençol freático entre o 70º e 113º dia do ciclo da cultura.

O Quadro 3 do Apêndice mostra o tipo de tabulação de dados das leituras dos poços de observação, relativa ao dia 15.01.1993. O resumo das leituras de profundidades do lençol freático, para cada parcela experimental referente ao período estudado, é mostrado no Quadro 4 do Apêndice.

Os dados referentes às variáveis para análise do ajuste de equações são apresentados no Quadro 12. Para oferecer uma visualização do comportamento das variáveis em análise, as Figuras 8 e 9 mostram, respectivamente, a dispersão dos pontos observados entre produtividade relativa, em função da profundidade média do lençol freático, e produtividade relativa em função de SEW_{20} .

Com base na dispersão dos dados, não se visualiza a priori uma função matemática que expresse uma relação natural entre as variáveis. No intuito de encontrar uma função que descrevesse adequadamente esses dados, optou-se por três modelos comumente utilizados nesse tipo de análise. De acordo com PEREIRA & ARRUDA (1987), muitas vezes necessita-se apenas de uma função que descreva os dados experimentais e não da melhor função que se possa ajustar àqueles dados. Portanto, o importante é a função e não o rigor e a sofisticação do método de ajuste. Conforme os autores, os métodos mais sofisticados são também mais sensíveis e nem sempre convergem para uma solução.

As equações de regressão da produtividade relativa, em função da profundidade média do lençol freático, acompanhadas das análises estatísticas referentes aos modelos estudados, são mostradas no Quadro 13. Complementando, o Quadro 14 apresenta as equações de regressão da produtividade relativa, em função do fator de estresse(SEW_{20}), e análises estatísticas dos respectivos modelos.

Quadro 12. Dados para análise do ajuste de equações

Bloco	Prof.LF(m)	SEW ₂₀ (m.dia)	Prod. relativa
I.10	0,108	2,40	0,87
I.20	0,070	3,37	0,91
I.30	0,083	3,03	0,96
II.10	0,505	0,00	0,96
II.20	0,114	2,24	0,88
II.30	0,252	0,40	0,97
III.10	0,304	0,43	1,00
III.20	0,210	0,90	0,91
III.30	0,380	0,27	0,74
IV.10	0,516	0,16	0,66
IV.20	0,099	2,63	0,89
IV.30	0,686	0,27	0,56
V.10	0,530	0,00	0,71
V.20	0,468	0,19	0,57
V.30	0,480	0,08	0,71
VI.10	0,599	0,00	0,74
VI.20	0,405	0,14	0,53
VI.30	0,548	0,03	0,51

Figura 8 - Dispersão de pontos entre produtividade relativa e profundidade média do lençol freático

Figura 9 - Dispersão de pontos observados entre produtividade relativa e SEW_{20}

Quadro 13. Análises de regressão da produtividade relativa em função da profundidade média do lençol freático

Modelo	Equação	r	r ²
Linear	$\hat{Y} = 0,9843 - 0,5721X$	-0,70	0,49
Exponencial	$\hat{Y} = 1,0037.e^{-0,7713X}$	-0,69	0,48
Potencial	$\hat{Y} = 0,6018.X^{-0,1885}$	-0,64	0,41

$\hat{Y}$: profundidade relativa;

X: profundidade média do lençol freático.

Análise estatística do modelo $\hat{Y} = 0.9843 - 0.5721X$

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão	1	0,2262	0,2262	14,9327*
Resíduo	16	0,2423	0,0151	
Total	17	0,4685		

* Significativo pelo teste F ao nível de 5%

Análise estatística do modelo $\hat{Y} = 1,0037.e^{-0,7713X}$

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão	1	0,4111	0,4111	14,3745*
Resíduo	16	0,4576	0,0286	
Total	17	0,8687		

* Significativo pelo teste F ao nível de 5%

Análise estatística do modelo $\hat{Y} = 0,6018.X^{-0,1885}$

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão	1	0,0673	0,0673	11,1620*
Resíduo	16	0,0965	0,0060	
Total	17	0,1638		

* Significativo pelo teste F ao nível de 5%

Quadro 14. Análises de regressão da produtividade relativa em função do fator de estresse(SEW_{20})

Modelo	Equação	r	r ²
Linear	$\hat{Y} = 0,7150 + 0,0731X$	0,53	0,28
Exponencial	$\hat{Y} = 0,6975.e^{0,0996X}$	0,53	0,28
Potencial	$\hat{Y} = 0,8307.X^{0,1246}$	0,77	0,59

$\hat{Y}$: profundidade relativa;

X: profundidade média do lençol freático.

Análise estatística do modelo $\hat{Y} = 0.9843 - 0.5721X$

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão	1	0,1306	0,1306	6,1808*
Resíduo	16	0,3380	0,0211	
Total	17	0,4686		

* Significativo pelo teste F ao nível de 5%

Análise estatística do modelo $\hat{Y} = 0,6975.e^{0,0996X}$

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão	1	0,2421	0,2421	6,1823*
Resíduo	16	0,6266	0,0392	
Total	17	0,8687		

* Significativo pelo teste F ao nível de 5%

Análise estatística do modelo $\hat{Y} = 0,8307.X^{0,1246}$

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão	1	0,0897	0,0897	18,5262*
Resíduo	13	0,0629	0,0048	
Total	17	0,1526		

* Significativo pelo teste F ao nível de 5%

As análises de variância mostram que todos os modelos foram significativos pelo teste F ao nível de 5%, indicando assim uma rejeição da hipótese de nulidade. A hipótese alternativa diz que existe a regressão, embora o ajuste, com base nos respectivos coeficientes de determinação (r^2), tenham apresentado valores relativamente baixos.

KANWAR et al. (1988), pesquisando sobre os efeitos do excesso de água no solo em vários estádios de desenvolvimento da cultura de milho, verificaram, durante três anos consecutivos, que o modelo linear apresentou o melhor ajuste ao se analisarem as relações entre produtividade relativa e SEW_{30} . Determinaram, também, modelos quadráticos no estudo das relações entre produtividade relativa e profundidade média do lençol freático. HARDJOAMIDJOJO et al. (1982) determinaram um modelo linear como o de melhor ajuste, nas relações entre produtividade relativa e estresse diário.

O resultado da análise de regressão, para os dados de produtividade relativa em função de SEW_{20} , de fato sugere que a produtividade do milho pode aumentar com os valores de SEW_{20} , o que constitui, à primeira vista, um resultado contrário ao esperado. Resultado semelhante ao da pesquisa foi encontrado por KANWAR et al. (1988).

Na verdade, a presente análise indicou que o rendimento da cultura não foi comprometido por excesso de umidade nos estádios analisados, devendo isso estar associado à variedade de milho estudada, que revelou possuir um sistema radicular muito superficial.

Embora a área tenha recebido recargas intensas, durante o período correspondente às análises em questão, o desempenho hidráulico do sistema de drenagem foi capaz de promover, em tempo hábil, uma depleção nos níveis freáticos, de sorte a não comprometer o rendimento da cultura.

Com um lençol freático em declínio, que pode retratar as condições de cultivo observadas em um lisímetro de drenagem com carga variável, ou mesmo a época de cultivo no período não chuvoso para regiões com estações bem definidas, é de se esperar um aumento no rendimento da cultura à medida que esse lençol se aprofunde. Essa correlação positiva ocorreria até um determinado limite de profundidade, onde a cultura apresentaria um máximo rendimento, sendo esse primeiro estágio caracterizado pelo efeito da drenagem, que propiciaria melhores condições de aeração na zona radicular da cultura. A continuidade de descida do lençol freático, entretanto, criaria uma correlação negativa entre as variáveis em análise, sendo tal estágio caracterizado por uma condição de déficit de água, tendo em vista que a taxa de contribuição do lençol freático, no processo de evapotranspiração, teria uma redução ao passar do tempo. KANWAR et al. (1988), trabalhando com a cultura de milho com lençol em declínio, estudou faixas de profundidades onde analisou o lado ascendente da curva de resposta.

Na presente pesquisa, os resultados sugerem que a análise da variável profundidade média do lençol freático sobre o rendimento da cultura não foi totalmente consistente, tendo em vista a mesma não ter representado fielmente as posições e durações das oscilações do lençol freático, elementos de suma importância na suscetibilidade da cultura, e, portanto, no seu rendimento.

4.5. Avaliação hidráulica do sistema de drenagem subterrânea

O funcionamento do sistema de drenagem subterrânea, avaliado através de parâmetros tais como perfis do lençol freático antes e durante a depleção, rede de fluxo e eficiência de rebaixamento do lençol freático, constituem elementos importantes, vindo, por conseguinte, a conferir maior credibilidade na recomendação de resultados da presente pesquisa.

4.5.1. Perfis do lençol freático

Foi possível registrar o comportamento do lençol freático a partir de dados coletados junto aos poços de observação, estrategicamente implantados na área. Nesse sentido, traçaram-se perfis do lençol freático para dois blocos de drenos laterais, sendo cada bloco constituído por três drenos consecutivos. Os perfis foram plotados ao final de uma recarga de 64,8 mm, distribuída ao longo de cinco dias, e com o lençol em depleção, 48h após cessada a recarga, conforme mostra a Figura 10(a,b). Considerando uma recarga uniformemente distribuída na área experimental, os perfis mostram a importância da variável espaçamento, expressa através de suas respectivas cargas hidráulicas, após a recarga e depleção do lençol freático. Os drenos laterais, com espaçamento consecutivo de 10,0m, foram capazes de não deixar o lençol freático subir à altura máxima permissível, o que pode ser verificado por suas respectivas cargas hidráulicas. Já os drenos com espaçamento consecutivo de 20,0m, embora tenham apresentado, em função do tempo, uma magnitude de depleção menor - se comparados aos espaçados de 10,0m - foram capazes de atender aos requisitos pré-estabelecidos.

Figura 10 - Perfis do lençol freático durante o processo de drenagem

4.5.2. Descrição da rede de fluxo

A caracterização do comportamento do lençol freático, através da planta de suas curvas de nível, constitui investigação básica para orientar a instalação de um sistema de drenagem subterrânea. Na presente pesquisa, tal investigação funciona como parâmetro determinante das condições de funcionamento dos drenos laterais.

De acordo com CRUCIANI & GODOY (1980), metodologias que caracterizem o comportamento do lençol freático são as únicas que apresentam eficiência em estudos para áreas com problemas de drenagem.

COSTA (1988) avaliou sistema de drenagem constituído de manilhas de barro, com base em mapas de isohypsas e critério agrônomo. SOUZA (1991) detectou, através de estudos de avaliação, erros no dimensionamento e na instalação, além de ausência de manutenção em sistema de drenagem constituído por tubos de PVC liso e parede delgada, no Perímetro de Maniçoba-Ba.

De posse dos dados de profundidade do lençol freático e do nivelamento geométrico da área experimental, calcularam-se as cotas do lençol freático para cada poço de observação. Em seguida, plotou-se a posição dos poços em um mapa planimétrico. Interpolando-se as cotas do lençol, confeccionou-se a planta de suas curvas de nível para o dia 15.01.1993, com equidistância vertical entre as curvas de 0,10m, conforme mostra a Figura 11.

A direção do fluxo subterrâneo mostra, com clareza, uma descarga no sentido dos drenos laterais, pelas linhas de fluxo aproximadamente ortogonais às linhas equipotenciais, supondo o solo aproximadamente isotrópico, evidenciando, portanto, um funcionamento adequado dos respectivos drenos laterais.

Δ DRENO ABERTO
 ○ DRENO FECHADO
 ● POÇO DE OBSERVAÇÃO

— EQUIPOTENCIAL
 - - - LINHA DE FLUXO

Fig. 11
 PLANTA DAS CURVAS DE NÍVEL DO LENÇOL FREÁTICO
 (15-01-93)

Escala: 1:500

- EQUIPOTENCIAL
 → LINHA DE FLUXO
 Δ DRENO ABERTO
 O DRENO FECHADO
 ● POÇO DE OBSERVAÇÃO

COTAS DO L.F. (m)

	A	B
1.	98.94	99.02
2.	99.52	99.67
3.	99.21	99.35
4.	99.82	99.84
5.	99.33	99.52
6.	99.68	100.05
7.	99.40	99.43
8.	99.86	99.88
9.	99.34	99.48
10.	99.65	100.00
11.	99.34	99.83
12.	99.57	99.99
13.	99.44	99.56
14.	99.86	99.94
15.	99.48	99.59
16.	99.96	99.95
17.	99.56	99.64
18.	99.92	100.03
19.	99.72	100.26

E N C O S T A

180 m

11
 NTA DAS CURVAS DE NÍVEL DO LENÇOL FREÁTICO
 -01-93)

Escala: 1:500

CONSIDERAÇÕES GERAIS:

Tendo em vista algumas limitações encontradas no trabalho, e a continuidade da presente linha de pesquisa, tem-se a considerar:

- A variedade de milho Piranão VD2, cujo porte do sistema radicular se revelou muito superficial, embora tenha se constituído em carácter indesejável no presente trabalho, demonstra ser vantajosa e recomendada para o cultivo em áreas com problemas de drenagem. Para isso, um sistema de drenagem superficial bem dimensionado é fundamental;
- As pequenas dimensões da área dificultaram a adequacidade do delineamento experimental, bem como a utilização de maiores espaçamentos como alternativas de análise;
- Sugere-se a utilização da metodologia do SEW, em conjunto com o fator de suscetibilidade da cultura, com análise individual para cada estágio do ciclo vegetativo.

5. CONCLUSÕES

Em face dos resultados obtidos para as condições do experimento e tendo em vista o porte do sistema radicular da cultura, além do dimensionamento econômico visando a maximização da renda líquida sem a minimização dos custos, o presente trabalho permitiu as seguintes conclusões:

- O espaçamento entre drenos laterais de 30,0m foi a melhor alternativa econômica, por apresentar maior valor de renda líquida anual. Verificou-se, também, a relevância dos custos fixos na análise de tomada de decisão;

- O resultado da análise do índice de estresse SEW_{20} , indicou que o rendimento da cultura não foi comprometido por excesso de umidade nos estádios analisados, devendo isso estar associado à variedade de milho estudada, que revelou possuir um sistema radicular muito superficial;

- Não foi totalmente consistente a análise do rendimento da cultura em função da profundidade média do lençol freático, por não ter esta representado fielmente as posições e durações das oscilações do lençol freático;

- As cargas hidráulicas sobre os drenos, 48h após a recarga do lençol freático, mostraram que os mesmos foram capazes de satisfazer ao coeficiente de drenagem adotado (rebaixamento do lençol freático em 0,2m após 2 dias). Ao mesmo tempo, a direção do fluxo subterrâneo, no sentido dos drenos laterais, evidenciou uma locação e, portanto, um funcionamento adequado dos mesmos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, N.; KANWAR, R. S.; KASPAR, T. C.; BAILEY, T. B. Effect of soil surface submergence and a water table on vegetative growth and nutrient uptake of corn. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **35**(4): 1173 - 7, 1992.
- ALVINO, A. & ZERBI, G. Water-table level effect on the yield of irrigated and unirrigated grain maize. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **29**(4): 1086 - 9, 1986.
- ANDRADE, L. M. Efeito de diferentes profundidades freáticas sobre a evapotranspiração e sobre a produção e os componentes da produção do milho-doce (*Zea mays*, L.). Viçosa, 1991. 53p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).
- ANDRADE, L. M. & REIS, A. E. G. Efeito da profundidade do lençol freático nas culturas de soja, de milho e de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, **27**(6): 923-33, 1992.
- BENZ, L. C.; DOERING, E. J.; REICHMAN, G. A. Water table and irrigation effects on alfalfa grown on sandy soils. **Canadian Agricultural Engineering**, Ottawa, **24**(2): 71 - 5, 1982.
- BENZ, L. C.; REICHMAN, G. A.; DOERING, E. J.; FOLLETT, R. F. Water table depth and irrigation effects on applied-water-use efficiencies of three crops. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **21**: 723 - 8, 1978.

- BOUWER, H. Developing drainage design criteria. In: VAN SCHILFGAARDE, J., ed. **Drainage for agriculture**. Madison, American Society of Agronomy, 1974. p. 67 - 79. (Monographs, 17).
- BOUYOUCOS, G. J. Estimation of the colloidal material in soils. **Science**, Washington, **64**: 362, 1926.
- CARTER, C. C.; HALVERSON, B.; ROGERS, J. S.; MUSGRAVE, M. Effects of excess soil water on sweet corn yield. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **33**(4): 1203 - 7, 1990.
- CERVELLINI, A.; SALATI, E.; BARROS FERRAZ, E. S.; VILLA NOVA, N. A.; REICHARDT, K.; DECICO, A.; OMETTO, J. C.; PEDRO JÚNIOR, M. J. **Análise dos dados meteorológicos de Piracicaba**. Piracicaba, ESALQ, 1973. 26p. (Boletim Científico, 36).
- CHAUDHARY, T. N.; BHATNAGAR, V. K.; PHINAR, S. S. Corn yield and nutrient uptake as affected by water table depth and soil submergence. **Agronomy Journal**, Madison, **67**: 745 - 9, 1975.
- COOPER, R. L.; FAUSEY, N. R.; STREETER, J. G. Yield potential of soybean grown under a subirrigation/drainage water management system. **Agronomy Journal**, Madison, **83**: 884 - 7, 1991.
- COSTA, R. N. T. Avaliação de um sistema de drenagem e tratamentos mecânicos na recuperação de um solo sódico no Vale do Curu-Ce. Fortaleza, 1988. 75p. (Mestrado - Universidade Federal do Ceará).
- CRUCIANI, D. E. Caracterização de coeficientes de drenagem com base nos parâmetros de produção das culturas. Piracicaba, 1981. 99p. (Livre-Docência - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

CRUCIANI, D. E. **A drenagem na agricultura**. 4.ed. São Paulo, Nobel, 1989, 337p.

CRUCIANI, D. E. & GODOY, R. Estudos do lençol freático em problemas de drenagem. **Revista de Agricultura**, 115 - 126, 1980.

CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, O. P. Solos de várzea de Minas Gerais. In: **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, **13**(152): p. 3 - 9, 1986.

EVANS, R. O.; SKAGGS, R. W.; SNEED, R. E. Normalized crop susceptibility factors for corn and soybean to excess water stress. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **33**(4): 1153 - 61, 1990.

FANCELLI, A. L. & LIMA, U. A. **Milho**: produção, pré- processamento e transformação agroindustrial. São Paulo, Sec. Ind. Com. Cienc. Tec. s.d. 112p. (Extensão Agroindustrial, 5), 1982.

FAO, **Drainage design factors**; 28 questions and answers. Rome, FAO, 1986. 52p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 38).

FAUSEY, N. R.; VAN-TOAI, T. T.; McDONALD, M. B. Response of ten corn cultivars to flooding. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **28**(6): 1794 - 7, 1985.

FOLLETT, R. F.; ALLMARAS, R. R.; REICHMAN, G. A. Distribution of corn roots in sandy soil with a declining water table. **Agronomy Journal**, Madison, **66**: 288 - 92, 1974.

FOLLETT, R. F.; DOERING, E. J.; REICHMAN, G. A.; BENZ, L.C. Effect of irrigation and water-table depth on crop yields. **Agronomy Journal**, Madison, **66**: 304 - 8, 1974.

GOINS, T.; LUNIN, J.; WORLEY, H. L. Water table effects on growth of tomatoes, snap beans and sweet corn. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **9**: 530 - 3, 1966.

- GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 13. ed. São Paulo, Nobel, 1990. 468p.
- HARDJOAMIDJOJO, S.; SKAGGS, R. W.; SCHWAB, G. O. Corn yield response to excessive soil water conditions. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **25**(4): 922 - 7, 34, 1982.
- HILER, E. A. Quantitative evaluation of crop-drainage requirements. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **12**(4): 499 - 505, 1969.
- HILER, E. A. & CLARK, R. N. Stress day index to characterize effects of water stress on crop yields. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **14**(4): 757 - 61, 1971.
- HILER, E. A.; CLARK, R. N.; GLASS, L. J. Effects of water table height on soil aeration and crop response. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **14**: 879 - 82, 1971.
- HOFFMANN, R.; ENGLER, J. J. C.; SERRANO, O.; THAME, A.C.M.; NEVES, E. M. **Administração da empresa agrícola**. 7. ed. São Paulo, Pioneira, 1992. 325p.
- HOWELL, T. A. & HILER, E. A. Effects of inundation period on seedling growth. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **17**: 286 - 8, 94, 1974.
- HOWELL, T. A.; HILER, E. A.; ZOLEZZI, O.; RAVELO, C. Grain sorghum response to inundation at three growth stages. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **19**: 876 - 80, 1976.
- JOSHI, M. S. & DASTANE, N. G. Studies in excess water tolerance of crop plants: II. Effect of different durations of flooding at different stages of growth under different layouts on growth, yield and quality of maize. **Indian Journal of Agronomy**, New Delhi, **11**(1): 70 - 9, 1966.
- KALITA, P. K. & KANWAR, R. S. Shallow water table effects on photosynthesis and corn yield. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **35**(1): 97 - 104, 1992.

- KANDIL, H. M. & WILLARDSON, L. S. Relating crop-yield response to water-table fluctuations. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, **118**(1): 113 - 21, 1992.
- KANWAR, R. S.; BAKER, J. L.; MUKHTAR, S. Excessive soil water effects at various stages of development on the growth and yield of corn. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **31**(1): 133 - 41, 1988.
- KRAMER, P. J. **Plant and soil water relationships: a modern syntesis**. New York, McGraw-Hill, 1969. 482p.
- LAL, R. & TAYLOR, G. S. Drainage and nutrient effects in a field lysimeter study: I. Corn yield and soil conditions. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, **33**: 937 - 41, 1969.
- LAMSTER, E. C. Programa nacional de aproveitamento racional de várzeas - PRO-VÁRZEAS nacional. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, **6**(65): 3 - 8, 1980.
- LIMA, C. A. S.; FERREIRA, P. A.; CAIXETA, T. J.; LOUREIRO, B.T. Efeito de seis profundidades do lençol freático sobre o comportamento da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). **Revista Ceres**, Viçosa, **33**(186): 99 - 107, 1986.
- MARQUES JÚNIOR, S.; PAZ, V. P. S.; COSTA, R. N. T.; FRIZZONE, J. A. Modelo computacional para estimativa das precipitações mensais prováveis utilizando a distribuição gama incompleta. **Revista Engenharia Rural**, Piracicaba, **5**(1): 20 - 33, 1994.
- MELLO, N. T. C. de; CEZAR, S. A. G.; REIS FILHO, J. G. dos; CHABARIBERY, D.; OKAWA, H. Estimativas de custo operacional de produção das principais atividades agropecuárias do Estado de São Paulo. **Informações Economicas**, São Paulo, **16**(7): 25-110, jul. 1986.

- MUKHTAR, S.; BAKER, J. L.; KANWAR, R. S. Corn growth as affected by excess soil water. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **32**(2): 437 - 42, 1990.
- PATERNIANI, E. **Origem e comportamento do milho piranão**. Piracicaba, ESALQ/Deptº Genética, 1973. 217p. (Relatório Científico, 7).
- PATWARDHAN, A. S.; NIEBER, J. L.; MOORE, I. D. Oxygen, carbon dioxide, and water transfer in soils: mechanisms and crop response. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **31**(5): 1383 - 95, 1988.
- PEREIRA, A. R. & ARRUDA, H. V. **Ajuste prático de curvas na pesquisa biológica**. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 50p.
- PEREIRA, R. S. B. Caracteres correlacionados com a produção e suas atrações no melhoramento genético do milho (*Zea mays*, L.). Piracicaba, 1990. 99p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- PINTO, J. M. Efeito de diferentes regimes hídricos no solo sobre a produção e os componentes da produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.). Viçosa, 1985. 56p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).
- PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos**. Madrid, Editorial Agrícola Española, 1978, 521p.
- PREÇOS AGRÍCOLAS, Piracicaba (98): 35, 1994.
- REICOSKY, D. C.; CAMPBELL, R. B.; DOTY, C. W. Corn plant water stress as influenced by chiseling, irrigation, and water-table depth. **Agronomy Journal**, Madison, **68**: 499 - 503, 1976.
- RITTER, W. F. & BEER, C. E. Yield reduction by controlled flooding of corn. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **12**: 46 - 50, 1969.

- SCHILFGAARDE, J. V. & WILLIAMSON, R. E. Studies of crop response to drainage: I. Growth Chambers. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **8**: 94 - 7, 1965.
- SINGH, R. & GHILDYAL, B. P. Soil submergence effects on nutrient uptake, growth and yield of five corn cultivars. **Agronomy Journal**, St. Joseph, **72**: 737 - 41, 1980.
- SOUZA, J. B. Avaliação e eficiência do sistema de drenos subsuperficiais e tratamentos mecânicos na melhoria das condições de drenabilidade dos solos do Perímetro Maniçoba-Ba. Fortaleza, 1991. 112. (Mestrado - Universidade Federal do Ceará).
- SUDAR, R. A.; SAXTON, K. E.; SPOMER, R. G. A predictive model of water stress in corn and soybeans. St. Joseph, 1979. 19p. (ASAE Paper, 79-2004).
- TOVEY, R. Alfalfa growth as influenced by static and fluctuating water tables. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **7**: 310 - 2, 1964.
- WESSELING, J. Crop growth and wet soils. In: VAN SCHILFGAARDE, J. **Drainage for agriculture**. Madison, American Society of Agronomy, 1974. cap.2, p. 7 - 37.
- WILLIAMSON, R. E. The effect of root aeration on plant growth. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, **28**: 86 - 90, 1964.
- WILLIAMSON, R. E. & KRIZ, G. J. Response of agricultural crops to flooding, depth of water table and gaseous composition. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **13**(1): 216 - 20, 1970.
- WILLIAMSON, R. E. & SCHILFGAARDE, J. V. Studies of crop response to drainage: II. Lysimeters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **8**: 98 - 102, 1965.
- WILLIAMSON, R. E.; WILLEY, C. R.; GRAY, T. N. Effect of water-table depth and flooding on yield of millet. **Agronomy Journal**, Madison, **61**: 310 - 3, 1969.

ZOLEZZI, O.; HOWELL, T. A.; RAVELO, C. J.; HILER, E. A. Grain sorghum response to inundation at the early reproductive growth stage. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **21**: 687 - 90, 1978.

APÊNDICE

Quadro 1. Precipitação pluvial(mm) no ciclo da cultura

Data	Prec.	Data	Prec.	Data	Prec.
06.11.92	0,9	21.12.92	0,0	04.02.93	5,7
07.11	0,0	22.12	0,0	05.02	2,3
08.11	7,4	23.12	0,0	06.02	0,6
09.11	0,2	24.12	0,0	07.02	4,5
10.11	0,0	25.12	0,0	08.02	5,9
11.11	0,0	26.12	2,9	09.02	4,4
12.11	12,2	27.12	0,0	10.02	12,8
13.11	0,0	28.12	0,0	11.02	37,2
14.11	0,0	29.12	0,0	12.02	0,5
15.11	0,0	30.12	0,0	13.02	0,0
16.11	12,7	31.12	0,0	14.02	30,0
17.11	0,0	01.01.93	0,0	15.02	19,9
18.11	0,0	02.01	2,3	16.02	21,3
19.11	0,0	03.01	3,4	17.02	5,0
20.11	0,0	04.01	0,3	18.02	0,0
21.11	0,5	05.01	1,1	19.02	24,4
22.11	3,5	06.01	3,2	20.02	8,2
23.11	2,6	07.01	0,9	21.02	0,3
24.11	87,8	08.01	7,8	22.02	20,1
25.11	17,1	09.01	11,0	23.02	3,3
26.11	2,5	10.01	23,3	24.02	0,0
27.11	0,0	11.01	28,4	25.02	0,0
28.11	0,0	12.01	39,4	26.02	0,0
29.11	0,0	13.01	0,2	27.02	3,5
30.11	6,0	14.01	2,6	28.02	0,0
01.12	32,4	15.01	0,0	01.03	0,0
02.12	0,0	16.01	0,0	02.03	0,0
03.12	0,0	17.01	0,0	03.03	0,0
04.12	0,0	18.01	2,0	04.03	0,0
05.12	0,0	19.01	1,2	05.03	0,0
06.12	7,0	20.01	5,9	06.03	0,0
07.12	0,0	21.01	0,0	07.03	0,0
08.12	0,0	22.01	0,0	08.03	0,0
09.12	7,2	23.01	5,4	09.03	0,0
10.12	66,2	24.01	4,5	10.03	0,0
11.12	8,9	25.01	19,3	11.03	0,0
12.12	0,0	26.01	7,1	12.03	0,0
13.12	0,0	27.01	1,5	13.03	0,0
14.12	0,0	28.01	0,0	14.03	0,0
15.12	0,0	29.01	0,0	15.03	0,0
16.12	0,0	30.01	0,0	16.03	2,9
17.12	12,5	31.01	9,1	17.03	0,0
18.12	5,1	01.02	0,0	18.03	2,4
19.12	0,0	02.02	9,5	19.03	34,4
20.12	0,0	03.02	12,7		

Quadro 2. Descarga dos drenos laterais(l/s)

Data	DL.01	DL.02	DL.03	DL.04	DL.05
15.01	0,025	0,060	0,065	0,075	0,070
18.01	0,020	0,037	0,055	0,070	0,025
19.01	0,020	0,032	0,055	0,060	0,025
20.01	0,020	0,030	0,055	0,060	0,025
21.01	0,022	0,035	0,055	0,060	0,025
22.01	0,021	0,030	0,055	0,060	0,025
26.01	0,110	0,120	0,080	0,085	0,045
27.01	0,090	0,093	0,080	0,090	0,045
29.01	0,026	0,036	0,055	0,060	0,022
31.01	0,021	0,029	0,045	0,055	0,021
01.02	0,030	0,046	0,052	0,057	0,025
03.02	0,045	0,056	0,061	0,065	0,030
04.02	0,089	0,079	0,069	0,075	0,037
08.02	0,035	0,044	0,057	0,059	0,036
09.02	0,032	0,043	0,056	0,058	0,028
11.02	0,058	0,059	0,070	0,075	0,039
12.02	0,900	0,190	0,100	0,105	0,067
14.02	0,050	0,054	0,063	0,064	0,030
19.02	afogado	0,084	0,097	0,096	0,051
24.02	0,360	0,110	0,120	0,130	0,100
27.02	0,093	0,083	0,110	0,100	0,055

Data	DL.06	DL.07	DL.08	DL.09	DL.10
15.01	0,045	0,095	0,035	0,045	0,045
18.01	0,035	0,075	0,025	0,029	0,020
19.01	0,035	0,075	0,025	0,025	0,015
20.01	0,035	0,070	0,025	0,020	0,015
21.01	0,035	0,071	0,025	0,020	0,015
22.01	0,035	0,070	0,025	0,020	0,015
26.01	0,055	0,100	0,035	0,045	0,030
27.01	0,055	0,100	0,036	0,047	0,039
29.01	0,031	0,075	0,024	0,020	0,012
31.01	0,029	0,069	0,021	0,016	0,010
01.02	0,030	0,067	0,020	0,013	0,008
03.02	0,038	0,073	0,024	0,017	0,011
04.02	0,047	0,090	0,040	0,052	0,029
08.02	0,027	0,065	0,020	0,018	0,013
09.02	0,026	0,067	0,022	0,018	0,013
11.02	0,045	0,083	0,034	0,044	0,032
12.02	0,105	0,150	0,100	0,146	0,130
14.02	0,039	0,081	0,035	0,037	0,034
19.02	0,100	0,136	0,065	0,092	0,110
24.02	afogado	0,190	0,110	0,160	0,160
27.02	afogado	0,155	0,080	0,100	0,130

Quadro 3. Leitura de poços de observação - Data: 15.01.93

Cotas dos poços(m) Leit.LF(m) Dados calculados(m)						
Nº	Sup.	Topo	Topo poço	Cota LF	PLFNS	CHPMD
A01	99,84	100,14	1,20	98,94	0,90	
A02	99,84	100,14	0,62	99,52	0,32	0,68
A03	99,79	100,09	0,88	99,21	0,58	
A04	99,90	100,20	0,38	99,82	0,08	0,92
A05	99,80	100,10	0,77	99,33	0,47	
A06	99,94	100,24	0,56	99,68	0,26	0,74
A07	100,00	100,30	0,90	99,40	0,60	
A08	99,94	100,24	0,38	99,86	0,08	0,92
A09	99,98	100,28	0,93	99,34	0,63	
A10	100,05	100,35	0,70	99,65	0,40	0,60
A11	100,03	100,33	0,99	99,34	0,69	
A12	100,12	100,42	0,85	99,57	0,55	0,45
A13	100,29	100,59	1,15	99,44	0,85	
A14	100,42	100,72	0,86	99,86	0,56	0,44
A15	100,28	100,58	1,10	99,48	0,80	
A16	100,37	100,67	0,77	99,90	0,47	0,53
A17	100,33	100,63	1,07	99,56	0,77	
A18	100,32	100,62	0,70	99,92	0,40	0,60
A19	100,20	100,50	0,78	99,72	0,48	
B01	99,69	99,99	0,97	99,02	0,67	
B02	99,73	100,03	0,36	99,67	0,06	0,94
B03	99,71	100,01	0,66	99,35	0,36	
B04	99,89	100,19	0,35	99,84	0,05	0,95
B05	99,98	100,28	0,68	99,59	0,38	
B06	100,08	100,38	0,33	100,05	0,03	0,97
B07	100,09	100,39	0,96	99,43	0,66	
B08	100,13	100,43	0,55	99,88	0,25	0,75
B09	100,19	100,49	1,01	99,48	0,71	
B10	100,31	100,61	0,61	100,00	0,31	0,69
B11	100,38	100,68	0,85	99,83	0,55	
B12	100,38	100,68	0,69	99,99	0,39	0,61
B13	100,42	100,72	1,16	99,56	0,86	
B14	100,44	100,74	0,80	99,94	0,50	0,50
B15	100,45	100,75	1,15	99,59	0,85	
B16	100,45	100,75	0,79	99,95	0,49	0,51
B17	100,44	100,74	0,90	99,84	0,60	
B18	100,49	100,79	0,76	100,03	0,46	0,54
B19	100,50	100,80	0,54	100,26	0,24	

PLFNS: profundidade do lençol freático ao nível do solo
 CHPMD: carga hidráulica no ponto médio entre drenos

Quadro 4. Profundidades do lençol freático(m)

Data	Parcelas experimentais					
	I.10	I.20	I.30	II.10	II.20	II.30
15.01.93	0,06	0,05	0,03	0,32	0,08	0,26
16.01.93	0,13	0,08	0,06	0,40	0,08	0,28
17.01.93	0,15	0,09	0,08	0,43	0,10	0,29
18.01.93	0,17	0,10	0,10	0,44	0,11	0,30
19.01.93	0,17	0,10	0,10	0,46	0,12	0,32
20.01.93	0,19	0,14	0,13	0,50	0,14	0,33
21.01.93	0,20	0,16	0,15	0,53	0,14	0,33
22.01.93	0,22	0,17	0,16	0,55	0,15	0,34
26.01.93	0,02	0,03	0,03	0,47	0,04	0,18
27.01.93	0,04	0,03	0,06	0,58	0,09	0,22
28.01.93	0,10	0,04	0,09	0,62	0,14	0,27
29.01.93	0,13	0,04	0,09	0,65	0,16	0,30
30.01.93	0,15	0,07	0,10	0,68	0,18	0,34
31.01.93	0,16	0,09	0,10	0,70	0,18	0,36
01.02.93	0,14	0,07	0,09	0,70	0,15	0,34
02.02.93	0,09	0,06	0,09	0,68	0,14	0,26
03.02.93	0,07	0,06	0,09	0,68	0,13	0,22
04.02.93	0,05	0,06	0,08	0,65	0,09	0,18
08.02.93	0,15	0,11	0,16	0,75	0,16	0,28
11.02.93	0,10	0,08	0,12	0,65	0,13	0,13
12.02.93	0,02	0,03	0,04	0,23	0,06	0,10
13.02.93	0,08	0,07	0,09	0,29	0,12	0,22
14.02.93	0,12	0,10	0,12	0,33	0,15	0,30
19.02.93	0,02	0,00	0,01	0,26	0,05	0,15
24.02.93	0,01	0,00	0,00	0,24	0,03	0,07
27.02.93	0,08	0,00	0,00	0,33	0,04	0,19

Quadro 4 - continuação.

Data	Parcelas experimentais					
	III.10	III.20	III.30	IV.10	IV.20	IV.30
15.01.93	0,31	0,25	0,39	0,40	0,08	0,55
16.01.93	0,33	0,27	0,42	0,47	0,10	0,65
17.01.93	0,34	0,28	0,44	0,49	0,12	0,68
18.01.93	0,35	0,28	0,45	0,52	0,13	0,70
19.01.93	0,36	0,28	0,46	0,56	0,14	0,74
20.01.93	0,38	0,29	0,47	0,61	0,14	0,77
21.01.93	0,39	0,29	0,47	0,64	0,14	0,78
22.01.93	0,39	0,30	0,49	0,64	0,15	0,80
26.01.93	0,20	0,12	0,32	0,61	0,02	0,78
27.01.93	0,22	0,13	0,36	0,65	0,06	0,89
28.01.93	0,31	0,22	0,42	0,66	0,08	0,91
29.01.93	0,37	0,27	0,45	0,67	0,09	0,91
30.01.93	0,39	0,29	0,47	0,68	0,12	0,93
31.01.93	0,40	0,29	0,49	0,68	0,14	0,94
01.02.93	0,38	0,27	0,47	0,68	0,11	0,93
02.02.93	0,35	0,24	0,44	0,67	0,08	0,92
03.02.93	0,34	0,23	0,42	0,67	0,06	0,92
04.02.93	0,30	0,14	0,32	0,57	0,05	0,87
08.02.93	0,40	0,26	0,48	0,54	0,15	0,88
11.02.93	0,33	0,19	0,36	0,51	0,06	0,55
12.02.93	0,25	0,07	0,22	0,13	0,05	0,34
13.02.93	0,31	0,17	0,34	0,27	0,11	0,46
14.02.93	0,33	0,24	0,41	0,36	0,14	0,53
19.02.93	0,12	0,04	0,19	0,26	0,10	0,11
24.02.93	0,02	0,02	0,02	0,11	0,05	0,02
27.02.93	0,03	0,02	0,12	0,37	0,10	0,28

Quadro 4 - continuação.

Data	Parcelas experimentais					
	V.10	V.20	V.30	VI.10	VI.20	VI.30
15.01.93	0,49	0,46	0,50	0,47	0,40	0,56
16.01.93	0,51	0,50	0,53	0,51	0,43	0,59
17.01.93	0,52	0,52	0,54	0,53	0,44	0,60
18.01.93	0,52	0,54	0,55	0,55	0,45	0,61
19.01.93	0,56	0,58	0,55	0,55	0,45	0,63
20.01.93	0,58	0,57	0,57	0,60	0,47	0,64
21.01.93	0,58	0,58	0,57	0,63	0,48	0,64
22.01.93	0,60	0,58	0,58	0,65	0,48	0,64
26.01.93	0,52	0,33	0,40	0,62	0,36	0,51
27.01.93	0,53	0,39	0,47	0,74	0,37	0,54
28.01.93	0,56	0,47	0,51	0,75	0,43	0,58
29.01.93	0,58	0,52	0,54	0,75	0,47	0,60
30.01.93	0,61	0,56	0,56	0,76	0,50	0,63
31.01.93	0,63	0,58	0,57	0,76	0,51	0,64
01.02.93	0,63	0,58	0,56	0,74	0,50	0,62
02.02.93	0,60	0,56	0,51	0,72	0,47	0,61
03.02.93	0,59	0,56	0,48	0,72	0,46	0,60
04.02.93	0,56	0,54	0,46	0,70	0,37	0,47
08.02.93	0,62	0,61	0,58	0,79	0,50	0,63
11.02.93	0,57	0,45	0,53	0,60	0,38	0,56
12.02.93	0,43	0,14	0,33	0,32	0,25	0,25
13.02.93	0,49	0,36	0,44	0,45	0,35	0,44
14.02.93	0,54	0,54	0,50	0,52	0,43	0,56
19.02.93	0,37	0,29	0,31	0,41	0,28	0,50
24.02.93	0,27	0,07	0,12	0,23	0,06	0,17
27.02.93	0,33	0,30	0,22	0,51	0,23	0,44