**EFEITOS DA VELOCIDADE DE REBAIXAMENTO DO NÍVEL
FREÁTICO NA PRODUTIVIDADE DA SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill)
E DA ERVILHA (*Pisum sativum* L.)**

JOCELITO SACCOL DE SÁ

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo – Brasil
Novembro - 2001

**EFEITOS DA VELOCIDADE DE REBAIXAMENTO DO NÍVEL
FREÁTICO NA PRODUTIVIDADE DA SOJA (*Glycine max* L. Merrill)
E DA ERVILHA (*Pisum sativum* L.).**

JOCELITO SACCOL DE SÁ

Engenheiro Agrícola

Orientador: Dr. DÉCIO EUGÊNIO CRUCIANI

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo – Brasil

Novembro – 2001

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Sá, Jocelito Saccol de
Efeitos da velocidade de rebaixamento do nível freático na produtividade da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e da
ervilha (*Pisum sativum* L.) / Jocelito Saccol de Sá. - - Piracicaba, 2001.
68 p.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2001.
Bibliografia.

1. Água de drenagem 2. Drenagem agrícola 3. Efeito do encharcamento 4. Ervilha 5. Fisiologia vegetal 6. Lençol
freático 7. Soja I. Título

CDD
631.6

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

À minha mãe Julieta Saccol de Sá
(*in memoriam*) pelo seu amor, pelas suas
palavras de incentivo e dedicação e à
minha esposa Adriana R. Romano pela
compreensão, alegria, amizade e amor.

DEDICO

Aos meus irmãos
Enilson, Enilda, Eronilda e Eduardo,
que me acompanham em todos os
momentos e ao meu pai Umbelino de
Sá.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Deus.

À Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz” – ESALQ/USP.

Ao CNPq, pela bolsa de estudo concedida durante o curso.

Ao Prof. Décio Eugênio Cruciani, pela orientação e incentivos dados durante a realização deste trabalho.

À todos os professores do curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem pelos ensinamentos transmitidos.

Ao Prof. Sérgio Duarte, pelo interesse e sugestões apresentadas.

À todos os funcionários do Departamento de Engenharia Rural, pela ajuda indispensável durante o trabalho.

Aos colegas de curso, Ariovaldo, Adriano, Anderson, Ênio, José Roberto, Luís Geraldo, Luís Fernando, Manuel, Pablo, Rodrigo, Valter e Walter pela amizade e convívio durante o curso.

À meu sogro e sogra Gilberto e Isabel Romano pelo apoio e carinho.

À todos meus entes queridos e,

À todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	x
SUMMARY	xii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1 Modificações no solo e na planta, provocadas pela inundação do solo	4
2.2 Cultivo da soja em solos hidromórficos.....	10
2.3 Cultivo da ervilha em solos de várzea	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Unidades experimentais	16
3.2 Solo, calagem e adubação das culturas	18
3.3 Cultivares e semeadura	19
3.4 Inundação dos lisímetros.....	20

3.5 Metodologia para o estabelecimento de diferentes velocidades de rebaixamento do NF	21
3.6 Tratamentos e delineamento experimental.....	22
3.7 Tratos Culturais.....	23
3.8 Irrigação das plantas de soja e de ervilha.....	24
3.9 Determinação dos parâmetros micro-climáticos da casa de vegetação	26
3.10 Avaliação da produção das culturas.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 Efeitos da velocidade de rebaixamento do NF sobre as plantas de soja.	29
4.2 Efeitos da velocidade de rebaixamento do NF sobre as plantas de ervilha.....	36
4.3 Efeitos da velocidade de rebaixamento do NF sobre a produtividade das plantas de soja e de ervilha.	47
5 CONCLUSÕES	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Disposição dos lisímetros no interior da casa de vegetação e vista parcial da área experimental.	17
2 Representação gráfica dos elementos utilizados na inundação dos lisímetros.	21
3 Curva característica do solo contido nos lisímetros.	25
4 Efeitos causados pelo rebaixamento do NF em 10 cm por dia em plantas de soja durante o estágio vegetativo	30
5 Efeitos causados pelo rebaixamento do NF em 20 cm por dia em plantas de soja durante o estágio vegetativo.	30
6 Variações das temperaturas máximas e mínimas do ar na casa de vegetação durante o cultivo da soja.	32
7 Efeito das diferentes velocidades de rebaixamento do NF na densidade de raízes das plantas de soja.....	34
8 Efeito das velocidades de rebaixamento do NF sobre a altura (cm) das plantas de soja.	35

9 Efeito das velocidades de rebaixamento do NF sobre a massa seca da parte aérea das plantas de soja (g por planta).....	36
10 Efeitos do rebaixamento do NF em plantas de ervilha no estágio vegetativo (a) e no reprodutivo (b).....	37
11 Temperaturas máximas e mínimas do ar registradas no interior da casa de vegetação.....	38
12 Variações da temperatura média do ar e do solo no interior dos lisímetros, durante o desenvolvimento das plantas de ervilha.	39
13 Efeito das diferentes velocidades de rebaixamento do NF na densidade de raízes das plantas de ervilha.	40
14 Efeito das velocidades de rebaixamento do NF sobre a altura das plantas de ervilha (cm).	41
15 Efeito das velocidades de rebaixamento do NF sobre a massa seca da parte aérea das plantas de ervilha (g por planta)..	42
16 Efeitos do rebaixamento do NF na taxa de crescimento da cultura de ervilha, no estágio vegetativo.....	43
17 Efeitos do rebaixamento do NF na taxa de crescimento das plantas de ervilha, variedade Axé, no estágio reprodutivo.	44

18 Efeito da aplicação dos tratamentos no estágio vegetativo na transpiração das folhas (a) e na resistência estomática das plantas de ervilha (b).....	45
19 Efeito da aplicação dos tratamentos no estágio reprodutivo na transpiração das folhas (a) e na resistência estomática das plantas de ervilha (b).....	46
20 Efeito da velocidade de rebaixamento do NF no número relativo de grãos produzidos por plantas de soja e de ervilha.....	50
21 Efeitos dos tratamentos no peso de grãos de soja produzidos por planta (g por plantas).....	51
22 Efeitos dos tratamentos no peso de grãos de ervilha produzidos por planta (g por plantas).	52

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Granulometria do solo utilizado no experimento.....	18
2 Características químicas do solo utilizado.	19
3 Tratamentos adotados para as plantas de soja e de ervilha.	23
4 Efeitos dos tratamentos no número de vagens e no número de grãos de soja produzidos por plantas.	48
5 Efeitos dos tratamentos no número de vagens e no número de grãos produzidos por plantas de ervilha.....	49

**EFEITOS DA VELOCIDADE DE REBAIXAMENTO DO NÍVEL FREÁTICO
NA PRODUTIVIDADE DA SOJA (*Glycine max* L. Merrill)
E DA ERVILHA (*Pisum sativum* L.).**

Autor: JOCELITO SACCOL DE SÁ

Orientador: Prof. Dr. DÉCIO EUGÊNIO CRUCIANI

RESUMO

No Brasil, os solos hidromórficos são basicamente utilizados no cultivo de arroz, principalmente na região Sul do Brasil. O plantio de outras culturas em substituição ao arroz, pode ser uma alternativa viável para a melhor exploração destes solos durante o inverno e no pousio da área. O presente trabalho foi realizado em casa de vegetação do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” em Piracicaba, SP, tendo como objetivos avaliar os efeitos do rebaixamento do nível freático no desenvolvimento e na produtividade de plantas de soja, cv. BR-16 e de ervilha, cv. Axé, pelos parâmetros produtivos: altura e massa seca da parte aérea da planta, número de vagens e de grãos produzidos e peso total de grãos por planta; determinar o estágio de desenvolvimento das culturas mais sensível ao excesso de umidade no solo e determinar a velocidade de rebaixamento do nível freático mais adequada ao desenvolvimento das plantas de soja e de ervilha, dentro das condições experimentais propostas. As plantas foram conduzidas em lisímetros

construídos em tubos de concreto preenchidos com Latossolo Vermelho-Amarelo Álico. Os ensaios foram realizados nos estádios vegetativo e reprodutivo das culturas, com o rebaixamento do nível freático (NF) em 10, 20, 30, 40 e 60 cm por dia e comparando-se com um tratamento de controle, somente irrigado. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, arranjado em esquema fatorial $[(2 \times 5) + 1]$, com 4 repetições. Os efeitos do rebaixamento do NF foram observados na massa seca da parte aérea das plantas, número de vagens, número de grãos por planta e peso de grãos em soja e ervilha, em comparação com as plantas testemunhas. O peso de grãos de soja produzidos em plantas inundadas durante o estágio reprodutivo, foi 3% maior do que verificado na testemunha, indicando que certos períodos de inundação podem aumentar o peso de grãos. Já as plantas de soja inundadas no estágio vegetativo apresentaram reduções significativas de 37% do peso do grão, demonstrando maior susceptibilidade à inundação neste estágio. Foram observadas reduções no peso de grãos de ervilha em ambos os estádios, sendo o reprodutivo o mais afetado (52%). Os efeitos causados pela inundação do solo, observados no número de vagens e de grãos produzidos pelas plantas de soja e de ervilha foram proporcionais ao tempo em que as raízes permaneceram submersas e variaram com a cultura e com estágio de desenvolvimento da planta. Acredita-se que velocidades de rebaixamento do NF superiores a 30 cm por dia são capazes de promover uma adequada aeração do solo, situação observada na rápida recuperação das plantas de soja inundadas no estágio vegetativo e submetidas ao rebaixamento do NF em 30 cm por dia e também no aumento da taxa de transpiração das plantas de ervilha submetidas à inundação do solo no estágio vegetativo e reprodutivo, após o rebaixamento de 30 cm do NF. O maior prejuízo à produtividade das culturas foi causado pela velocidade de rebaixamento do NF em 10 e 20 cm de profundidade.

**EFFECTS OF THE DRAWDOWN VELOCITY OF THE WATER TABLE IN
THE CROP YIELD OF SOYBEAN (*Glycine max* L. Merrill) AND
OF PEA (*Pisum sativum* L.).**

Author: JOCELITO SACCOL DE SÁ

Adviser: Prof. Dr. DÉCIO EUGÊNIO CRUCIANI

SUMMARY

In Brazil, most of hidromorfic soils are cultivated with rice. The growth of alternative crops to rice, is a feasible option for better use of hidromorfic soils. The present work was realized in the Department of Rural Engineering of Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” in Piracicaba, São Paulo – Brazil. The objectives were to study the effects of the water table drawdown in the growth and crop yield of soybean, cv. BR-16, and pea, cv. Axé, at specific stages of their cycle. Yield parameters for these crops were valuated, such as: plant height, dry shoot weight, number of pods per plant, number of seed per plant and seed weight per plant. Also, to determine the growth stage of crop cycle more sensitive to waterlogging and the more appropriate velocity of water table lowering for to development of soybeans and peas plants, by the analysis of the yield parameters, in the experimental conditions proposed. Both crops were cultivated in lysimeters in a greenhouse. The soil used was the Orthic Hapludent. The study was realized in the vegetative and reproductive crop stages. The water table was lowered by

10, 20, 30, 40 e 60cm per day, from initial level. Control plants where only irrigated without flooding. The statistical experimental design was a randomized complete in factorial arrange $[(2 \times 5) + 1]$ with four replications. The effects from different drawdown velocity of water table, were observed in the all parameters in comparison with the control. For soybean, waterlogging during reproductive stage, caused a higher seed weight than control without waterlogging, showing that short waterlogging periods may increase seed weight. The waterlogging of plants at the vegetative stage crop cycle, showed significant reductions in seed weight in all treatments, indicating low waterlogging tolerance. In pea, the seed weight showed for all treatments was lower than control plants. The effects caused by waterlogging of the soil the number of the pods and soybean and pea seed, were proportional to root flooding time and to development stage of the plant. By physiologic responses of the soybeans and pea plants, was possible to determine that the lower limit of reduction of the water table was the 30 cm per day. The water table lowering by 10 and 20 cm per day severely affected the growth and seed yield, in the experiment conditions.

1 INTRODUÇÃO

A principal forma de exploração das áreas de várzeas é através da monocultura. Esta prática é um empecilho à exploração do potencial agrícola representado por estas várzeas.

Entende-se por solos de várzeas, solos formados sob condições hidromórficas, desenvolvidos a partir de sedimentos depositados em planícies de rios e lagoas. No Brasil, grande parte destes solos está distribuída na região Sul e destinam-se basicamente ao cultivo de arroz irrigado.

O plantio continuado desta cultura tem como consequência o aumento da infestação de invasoras, como o arroz vermelho e o preto, o que pode impossibilitar o uso consecutivo da área. O método normalmente adotado para diminuir a infestação de invasoras é a utilização do solo por 2 a 3 anos com a pecuária. Esta prática tem sido adotada com sucesso por muitas décadas, porém atualmente é considerada economicamente inviável, devido ao baixo rendimento e a subutilização da área e da infra-estrutura. Neste caso, situa-se como uma alternativa viável, o plantio de culturas que possibilitem a substituição do arroz irrigado durante o pousio da área agrícola.

A diversificação de culturas traz uma série de benefícios como a melhor utilização das máquinas agrícolas, a redução de invasoras do solo, o aumento do efeito residual dos fertilizantes, melhora as características hidrodinâmicas do solo e proporciona maior estabilidade econômica e social, contribuindo para expansão da fronteira agrícola e para a fixação do trabalhador rural no campo.

Em geral, os solos de várzeas podem estar aptos ao cultivo de culturas como alface, alho, amendoim, aveia, batata, berinjela, cebola, ervilha, feijão, melancia,

melão, milho, pimentão, tomate, trigo, soja e sorgo. No entanto, muitas destas culturas não estão adaptadas a ambientes suscetíveis a variações extremas de falta ou de excesso de água. Neste caso, a drenagem deficiente dos solos hidromórficos torna-se um impedimento natural ao desenvolvimento das culturas mesófitas.

A remoção do excesso de água acumulada na superfície e no perfil do solo por intermédio da implantação de um sistema de drenagem adequado é um meio eficiente e necessário para promover a adaptação e o desenvolvimento das plantas.

O dimensionamento do sistema de drenagem deve permitir efetuar-se a retirada do excesso de água dentro dos limites de tolerância de cada cultura, para não acarretar injúrias ao desenvolvimento da mesma. Para isto, os critérios de drenagem utilizam dois parâmetros básicos, que são a altura do lençol freático e o tempo que o rebaixamento do lençol freático deve levar para atingir a profundidade preestabelecida.

A tolerância das culturas ao encharcamento é muito variável, existindo diferenças entre espécies e cultivares. Na literatura, ainda são poucas as informações a respeito do efeito do encharcamento do solo em leguminosas e olerícolas, ao contrário do que se conhece sobre o efeito do déficit hídrico. Na maioria das vezes, tais informações, provêm de pesquisas realizadas em regiões de clima temperado e devem ser analisadas com cuidado, pois a temperatura é um dos inúmeros fatores que exercem influência na tolerância das plantas ao encharcamento.

Geralmente, a metodologia empregada nos estudos sobre a tolerância e o comportamento das plantas ao encharcamento do solo, baseia-se na elevação do nível freático durante um certo período de tempo em um determinado estágio de desenvolvimento da cultura seguido de um rebaixamento imediato do nível freático. Poucos trabalhos efetuam o rebaixamento do nível freático em diferentes velocidades e, conseqüentemente, tempos de rebaixamento, procurando simular as reais condições encontradas nas áreas de várzeas.

Pelo exposto, a hipótese da presente pesquisa é que a intensidade de rebaixamento do nível freático influencia a produtividade das plantas em função do estágio de desenvolvimento da cultura em que o rebaixamento é aplicado.

Este trabalho teve os seguintes objetivos: a) Avaliar os efeitos de velocidades de rebaixamentos do nível freático no desenvolvimento e na produtividade de plantas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) cv. BR-16 e de plantas de ervilha (*Pisum sativum* L.) cv. Axé, pelos parâmetros produtivos altura de planta, massa seca da parte aérea da planta, número de vagens, número de grãos produzidos por planta e peso total de grãos por planta; b) Determinar o estágio de desenvolvimento das culturas com maior sensibilidade ao excesso de umidade no solo, por meio da análise dos parâmetros produtivos e c) Determinar a velocidade de rebaixamento do nível freático mais adequada ao desenvolvimento das plantas de soja e de ervilha, por meio da análise dos parâmetros produtivos dentro das condições experimentais propostas

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Modificações no solo e na planta, provocadas pela inundação do solo

Nos solos hidromórficos, freqüentemente ocorrem inundações temporárias ou contínuas, ocasionadas principalmente pelo excesso de precipitação e pela drenagem natural deficiente. Nestas condições, o excesso de umidade interfere na aeração do solo, diminuindo a disponibilidade de oxigênio para a planta.

A renovação do oxigênio pelo fluxo do ar atmosférico é prejudicada pela difusão do oxigênio no solo saturado, cerca de 10.000 vezes mais lenta do que nos solos bem drenados (Grable, 1966; Patrick & Mahapatra, 1968 e Sanchez, 1976). Consequentemente ocorrem uma série de modificações nas propriedades físicas, químicas e bioquímicas do solo, que afetam de várias formas o desenvolvimento e a produtividade da planta (Shapiro, 1958; Letey et al., 1962; Abreu & Lopes, 1988 e Voesenek et al., 1992). Desta forma, os danos causados pela inundação do solo às plantas não devem ser atribuídos apenas à deficiência de oxigênio no solo, o que torna esta situação difícil de ser simulada (Kramer, 1951). A aeração deficiente do solo e o aumento da atividade microbológica anaeróbica podem ser os principais responsáveis pelos danos causados às plantas pela inundação do solo (Russel, 1959).

A deficiência de O_2 no solo, diminui o número de microorganismos aeróbios e aumenta o número de microorganismos anaeróbios, que passam a utilizar elétrons para a sua oxidação respiratória, resultando na baixa produção de adenosina

trifosfata (ATP) e na redução do potencial de oxidação-redução do solo (Kawase, 1981 e Dennis et al. 2000).

Com a redução da concentração de O_2 no solo, o potencial redox, inicialmente evolui, mas logo após ocorre à redução de nitratos, seguida da redução de manganês, devido a ação de microorganismos anaeróbicos. Seqüencialmente ocorre a redução de Fe^{3+} para Fe^{2+} , compostos orgânicos (ácido láctico e ácido pirúvico) são reduzidos a compostos alcoólicos e os sulfatos reduzidos a sulfitos e sulfetos (Ponnamperuma, 1972 e Abreu & Lopes, 1988).

As condições de oxi-redução podem ser determinadas pelo potencial redox, que varia de +400 a +700 mV para os solos aerados e de -250 a -300 mV para os solos alagados. A pequena amplitude da escala do potencial redox encontrado em solos bem drenados e a péssima reproducibilidade resultam na rejeição deste índice para a caracterização da aeração do solo (Patrick & Mahapatra, 1968 e Callebaut et al. 1981).

Fatores como teor de matéria orgânica, temperatura e a quantidade de receptores de elétrons existentes no solo influenciam o decréscimo do potencial redox após a inundação do solo (Abreu & Lopes, 1988).

Os processos de reduções afetam o pH e a condutividade elétrica dos solos de várzea. Em solos ácidos ocorre o aumento de pH e redução nos solos alcalinos. As alterações do pH nos solos ácidos tendem a ficar próximos a 6,0 devido à oxidação química do Fe^{2+} e do Mn^{2+} (Silva, 1984).

Nos solos inundados, a redução de O_2 no solo, afeta o crescimento da parte aérea e das raízes da planta, provoca o escurecimento e a morte dos ápices radiculares e alterações nas organelas celulares, reduzindo a absorção de água e nutrientes pelas raízes (Kawase, 1981; Patwardhan et al., 1988 e Rodrigues et. al., 1993).

Segundo Letey et al. (1962), baixas concentrações de O_2 no solo, durante o estágio vegetativo, provocaram reduções no crescimento das raízes e da parte aérea de plantas de girassol, de algodão e de feijão.

Sérios prejuízos ao desenvolvimento da planta podem ocorrer quando o nível de oxigênio está abaixo de 10% (Aubertin & Kardos, 1965). Estes autores, estudando em laboratório, o crescimento do sistema radicular da cultura de milho em

função de níveis de aeração do solo, concluíram que, o crescimento do sistema radicular da cultura com 10% de oxigênio foi maior do que 21% de oxigênio. No entanto, com 5% de oxigênio no solo o crescimento radicular foi significativamente menor.

O tomateiro, no entanto, necessita de uma concentração de 21% de O_2 disponível no solo para o pleno crescimento radicular, ao contrário da cultura de soja, cujo o crescimento das raízes não é afetado por níveis de oxigênio abaixo de 5%, sugerindo maior tolerância a aeração deficiente do que outras culturas (Hopkins et al., 1950). Já Yentur & Leopold (1976), verificaram que a taxa de crescimento do sistema radicular da cultura de soja cv. Wayne, não foi afetada por níveis de O_2 abaixo de 2,5%, quando cultivada em câmara úmida.

Cannell et al. (1979), submeteram plantas de ervilhas a inundações temporárias em diferentes estádios de desenvolvimento e notaram que após 24 horas de inundação a concentração de O_2 no solo era menor do que 2%, interferindo diretamente no crescimento e produtividade da cultura.

A divergência dos valores críticos de O_2 para o crescimento das culturas, pode ser explicado, segundo Turner et al. (1983), pela tolerância característica de cada cultura, a idade da planta, a temperatura e os diferentes meios de cultura.

Segundo Letey¹, citado por Silveira et al. (1987), existem muitos métodos para caracterizar e descrever a aeração do solo, mas segundo Camargo (1971), o método largamente utilizado é o da taxa de difusão do oxigênio (T.D.O).

De acordo com Stolzy & Letey (1964), o crescimento das raízes na maioria das culturas é suspenso quando a T.D.O. é menor do que $20 \times 10^{-8} \text{ g cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$. Para a germinação e emergência das plântulas mencionam valores mínimos de T.D.O entre $40 \times 10^{-8} \text{ g cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ a $80 \times 10^{-8} \text{ g cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$. No caso da ervilha, a T.D.O. que afeta o crescimento aéreo, segundo Cline & Erickson (1959) é da ordem de $15 \times 10^{-8} \text{ g cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$.

¹ LETEY, J. Measuring aeration. In: DRAINAGE FOR EFFICIENT CROP PRODUCTION CONFERENCE. 1., Chicago, 1965. **Proceedings**. St. Joseph: ASAE, 1965. p.6-10.

Culturas do milho, sorgo, algodão e feijão caupí submetidas à diferentes períodos de inundação durante o estágio vegetativo, apresentaram reduções na taxa de crescimento e na massa seca da parte aérea das plantas quando a T.D.O. atingiu valores inferiores a $15 \times 10^{-8} \text{ g cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ (Howell & Hiler, 1971).

Embora correlações entre crescimento de raízes e TDO tenham sido estabelecidas para solos e condições experimentais particulares, essas correlações não podem, em geral, ser extrapoladas para o crescimento de plantas em solos diferentes dos estudados (McIntyre, 1970).

A T.D.O também pode ser utilizada para indicar a restrição da absorção de nutrientes pelas raízes das plantas em solos inundados. Segundo Stepniewski & Przywara (1990), plantas de soja submetidas a diferentes potenciais de água no solo, apresentaram concentrações menores de Mg nas folhas durante o estágio vegetativo, quando a T.D.O atingiu valores inferiores a $15 \times 10^{-8} \text{ g cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$. Valores de T.D.O inferiores a $20 \times 10^{-8} \text{ g cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$, durante o florescimento, prejudicou a absorção total de N, K, Ca, Mg e de P.

Mukhtar et al. (1996), estudaram a aeração do solo durante intervalos de inundações e verificaram que em menos de 24 horas o encharcamento artificial reduziu a concentração de O_2 , a taxa de difusão de oxigênio e o potencial redox a valores abaixo de 20%, $20 \times 10^{-8} \text{ g cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ e 600 mV respectivamente, indicando a restrição de oxigênio para as raízes da planta.

Para Barclay & Crawford (1982), os prejuízos provocados pelo encharcamento do solo devem-se ao aumento de íons e compostos tóxicos como o sulfeto de hidrogênio, resultante da decomposição dos sulfatos e das proteínas em solos saturados e compactados.

Entretanto, os efeitos de inundações no solo, nas folhas e nas raízes de plantas de trigo verificados por Trought & Drew (1980), foram atribuídos a diminuição da concentração de oxigênio no solo, maior do que os decréscimos nas concentrações nutrientes na solução do solo ou do acúmulo de substâncias tóxicas no solo.

A deficiência de O_2 nos solos inundados, pode ocasionar, especialmente nos solos ácidos, o aumento na disponibilidade para as plantas de nutrientes, como ferro,

enxofre, cálcio, molibidênio, níquel, zinco, chumbo e cobalto, ocasionando toxidez às plantas, principalmente pelo excesso de ferro e manganês e pelo acúmulo de substâncias fitotóxicas (Shapiro, 1959, Silva, 1984 e Rodrigues et al., 1993). No entanto, nestas condições as plantas em geral, apresentam uma menor absorção de nutrientes e, conseqüentemente, menor acúmulo de íons K^+ , Ca^{2+} , N^{3-} , Mg^{2+} e P^{5+} (Silveira, 1992). Harris & Van Bavel, (1957), verificaram em plantas de fumo, que a redução na absorção de íons obedeceu a seguinte ordem $K^+ > N^{3-} > P^{5+} > Mg^{2+} > Ca^{2+}$. Segundo estes autores, as funções das plantas não apresentam reduções significativas até que a concentração de CO_2 no solo venha ser maior que a concentração de O_2 .

O aumento da concentração de substâncias tóxicas como dióxido de carbono, etileno, ferro reduzido, metano, sulfetos e outros compostos no solo não devem ser atribuídos a deficiência de O_2 , mas ao acúmulo de água no solo, que impede a liberação dos gases para a atmosfera (Benicasa, 1984).

Em estudo realizado com milho, Cruciani (1985) constatou que após 2 horas de inundação do sistema radicular do milho, a concentração de CO_2 elevou-se de 1% para 35,5% e em 216 horas a concentração de CO_2 no solo aumentou para 64%.

As raízes das plantas não toleram elevadas concentrações de CO_2 , no caso da soja a concentração tolerável é de 20%, no entanto, outras culturas não toleram este nível (Silva, 1984).

Em resposta às modificações decorrentes da deficiência de O_2 e do aumento da concentração de gases tóxicos no solo, a planta apresenta uma série sintomas como murchamento, epinastia, clorose das folhas, hipertrofia do caule, formação de raízes adventícias e arênquimas, diminuição no crescimento da planta e da produtividade, aumento na suscetibilidade ao ataque de pragas e doenças, morte das raízes e em alguns casos a morte das plantas (Vant'Woudt & Hangan, 1957; Grable, 1966; Millar, 1978; Bradford & Yang, 1981; Kramer, 1983 e Del Rosario & Fajardo, 1991). Dentre estes sintomas, murchamento das folhas é freqüentemente o primeiro a ser notado, especialmente se o estresse é imposto rapidamente e em condições atmosféricas favoráveis à transpiração (Kramer & Jackson, 1954 e Levitt, 1980). Juntamente com o murchamento das folhas

ocorre a redução da transpiração e da fotossíntese, implicando no fechamento dos estômatos. Alguns desses sintomas podem ser considerados mecanismos fisiológicos de adaptação das plantas ao encharcamento do solo (Bradford & Yang, 1981).

A tolerância e consequentemente a extensão dos danos causados pelas inundações depende da espécie cultivada, do estágio de desenvolvimento da cultura, da duração do fenômeno, da temperatura predominante no momento da inundação e dos organismos formados durante o processo (Russell, 1959 e Letey et al., 1962). A fertilidade, a porosidade, o tipo de solo e o manejo da água ao longo do desenvolvimento da cultura, são fatores que segundo Schaffer et al. (1992), também devem ser considerados.

Sabe-se de longa data que as plantas apresentam diferentes tolerâncias ao excesso de umidade do solo. Espécies hidrófitas, como o arroz e algumas gramíneas, se desenvolvem normalmente em solos inundados. Por outro lado, as culturas mesófitas apresentam um comportamento variável em relação à falta de oxigênio, já que não estão adaptadas às condições de excesso ou falta de água.

A tolerância apresentada por algumas culturas à inundação do solo pode estar relacionada com a capacidade das plantas em desenvolverem sistemas de raízes adventícias, arênquimas e espaços intracelulares maiores (Russell, 1959 e Hosner & Leaf, 1962). Estas modificações morfo-anatômicas permitem a difusão do oxigênio da parte aérea da planta para as raízes, mantendo o processo de respiração aeróbia. No entanto são mecanismos que garantem temporariamente a sobrevivência das plantas.

O aumento da concentração de etileno no solo pode induzir em certas espécies de plantas sob encharcamento o crescimento de raízes adventícias, produção de arênquima, hipertrofia dos caules e epinastia foliar. Nas leguminosas, a atividade da nitrogenase é afetada pelo aumento da taxa de produção do etileno em condições de anoxia, podendo ser um importante fator na determinação da sensibilidade dessas espécies à inundação (Bradford & Yang, 1981; Kawase, 1981; Smith, 1984 e Voesenek et al., 1992). Além disso, a fixação de nitrogênio também é reduzida pela

menor disponibilidade de oxigênio, pois o rizóbio, que está localizado no interior dos nódulos é um microorganismo aeróbio.

Justin & Armstrong, (1987), relacionaram para 91 espécies, a extensão do aerênquima desenvolvido como resistência ao encharcamento, e observaram que nos espaços para a condução de ar havia menos células respiratórias, o que reduziria a resistência interna à difusão de oxigênio. As plantas que não desenvolveram arênquima, pertencem ao grupo mais sensível ao encharcamento.

Finalmente, um fator importante que influencia a resistência das plantas ao encharcamento é a temperatura.

Luxmore et al. (1973), notaram pequena redução na produtividade quando a inundação ocorreu com a temperatura do solo em 5°C, mas com temperaturas do solo em 15 e 25°C a produtividade foi reduzida de 20 e 70% respectivamente. A temperatura elevada em solos inundados afeta a taxa de difusão de oxigênio, apresentando um impacto adverso no crescimento radicular (Letey, 1962 e Sojka et al 1975).

Em muitas regiões de clima temperado, as inundações durante o inverno raramente são uma ameaça, em função das plantas perenes encontrarem-se em estágio de dormência, sob baixa atividade metabólica e transpirométrica (Blackwell, 1983). Já em regiões de clima tropical, com o aumento da temperatura, o efeito do déficit de O₂ é maximizado, devido ao maior consumo das plantas e microorganismos e também pela velocidade de transformações químicas realizadas no solo (Patwardhan et al. 1988).

2.2 Cultivo da soja em solos hidromórficos

A soja é uma cultura de grande valor comercial e industrial. O seu cultivo em solos hidromórficos é de grande interesse em diversas regiões do mundo, especialmente nas regiões onde o arroz irrigado é o principal produto.

Existe certa unanimidade entre pesquisadores a respeito da alta resistência da cultura de soja ao excesso de umidade do solo e da rápida recuperação com o término da inundação (Barni & Gonçalves, 1977, Nathanson et al., 1984 e Lawn & Byth, 1989).

Acredita-se que a soja, sendo originária do continente asiático, tenha sofrido adaptações ao excesso de umidade dos solos hidromórficos. Com o cultivo da cultura em solos drenados, essas características foram perdidas (Ralph², citado por Gastal, 2000).

Santos et al. (1989), avaliaram a resistência dos genótipos de soja a diferentes potenciais de água no solo e concluíram que os genótipos foram mais sensíveis à deficiência do que ao excesso de água no solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Schulz et al (1998) que concluíram que o déficit foi mais prejudicial que o excesso, segundo avaliações de peso e comprimento do sistema radicular e no número de nódulos.

A produtividade média de cultivares de soja em solos de várzeas no Rio Grande do Sul tem sido de aproximadamente de 3,0 t ha⁻¹ (Santos & Vieira, 1975; Sutili & Fleck, 1978 e Barni & Silva, 1979). Estes resultados demonstram que os solos de várzeas apresentam um grande potencial agrícola para a produção de soja (Santos & Estefanel, 1984).

Trabalhos desenvolvidos na Austrália tem mostrado que a soja apresenta uma auto adaptação ao ambiente de solo saturado, manifestando taxas de crescimento e produção maiores que sob condição de aeração e bem irrigada (Troedson et al., 1983).

Segundo Nathanson et al. (1984), uma cultivar de soja de ciclo curto, produziu mais em solo saturado que sob irrigação convencional; enquanto a de ciclo mais longo, sob nível do lençol freático a 3 e 15cm de profundidade, produziram respectivamente 65 e 71% a mais que sob irrigação convencional.

Quanto ao estágio de desenvolvimento da soja mais sensível ao encharcamento, existe certa concordância de que a fase reprodutiva é mais afetada pelo excesso de água no solo, principalmente o florescimento. No entanto, nos estádios

² RALPH, W. Soybeans respond to controlled waterlogging. **Rural Research**, v.120, p.4-8, 1983.

vegetativos os efeitos podem ser significativos. Segundo Barni & Gonçalves (1977), o excesso de umidade não deve coincidir com o estabelecimento da cultura ou com a floração. O excesso de umidade durante a floração determina reduções no rendimento de grãos superiores a 60%. O acúmulo de água no solo logo após a semeadura, poderá ocasionar grandes perdas, pois o excesso de umidade influencia negativamente a distribuição e o aprofundamento das raízes, formando estandes pobres e desuniformes (Whitt & Van Bavel³, citados por Lago et al., 1980).

O excesso de umidade durante a germinação pode acarretar maior ramificação e menor crescimento das plantas, diminuição da altura de inserção da primeira vagem e na produtividade. Neste caso, recomenda-se um sistema de drenagem, que evite a inundação do solo ou a elevação do lençol freático por períodos prolongados durante o desenvolvimento da cultura.

Bergamaschi & Berlato (1974), avaliaram o comportamento de duas variedades de soja, Planalto, de ciclo curto e Hardee, de ciclo longo, em função da drenagem do solo. Constataram que o peso médio de 100 grãos, a altura das plantas e produtividade aumentaram enquanto que o acamamento diminuiu na área drenada em relação a área não drenada. A soja se desenvolve melhor em solos dotados de boa drenagem superficial e interna.

Culturas de milho, sorgo, feijão caupi, soja e amendoim, submetidas à inundação, em diferentes estádios de desenvolvimento, em cultivos em solo de várzea, apresentaram reduções na produtividade devido ao excesso de umidade, de acordo com a espécie cultivada, sendo as leguminosas mais suscetíveis (Herrera & Zandstra, 1979). No estágio vegetativo ocorreram maiores efeitos da inundação do que nos estádios posteriores de crescimento.

Em experimento realizado em campo de arroz na Tailândia, observou-se que o sucesso do estabelecimento da cultura de soja em rotação com a cultura de arroz dependeu da umidade disponível no solo (Yingchol & Pookpakdi, 1984). Segundo os

³ WHITT, D. M.; VAN BAVEL, C. H. M. Irrigation of tobacco, peanuts and soybeans. In: STEFFERUD, A. (Ed.) **Water**. Washington: USDA, 1955. p.376-381.

autores pode-se obter um stand de 90% se as sementes de soja forem semeadas quando a umidade do solo for de 44% aproximadamente. Valor atingido, para as condições do experimento, sete dias após a irrigação.

Sallam & Scott (1987), estudaram o efeito de sete dias de inundação em plantas de soja durante os estádios vegetativos, V1 e V4, e concluíram que os tratamentos reduziram significativamente o crescimento foliar e radicular da planta. No estádio V1 a inundação inibiu a formação de nódulos. Já Scott et al. (1989) submeteram oito cultivares de soja à inundações por 2, 4, 7 e 14 dias nos estádios de desenvolvimento V4 e R2, e concluíram que a tolerância à inundações variaram entre as cultivares, sendo algumas mais susceptíveis no estádio reprodutivo do que no vegetativo. A altura das plantas e a massa seca decresceram linearmente com a duração da inundação em ambos estádios de desenvolvimento.

De acordo com Barni (1976) e Verneti (1989), a planta de soja, após atingido 40 a 45 cm de altura suporta bem períodos de inundação de até 15 dias, desde que a água não cubra a maior parte das folhas superiores.

Pookpakdi & Kuo (1992), pesquisaram a resposta de cinco cultivares de soja semeadas em solo de várzea em condições saturadas. Notaram que o crescimento das plantas e a produção de grãos foram menores em condições saturadas do que sob irrigação convencional. No entanto, experimentos conduzidos em campo, indicaram que a produção de grãos de soja, em condições de solo saturado, pode ser incrementada de 2,0 para 3,7 t ha⁻¹ pelo aumento do número de plantas de 200.000 para 400.000 plantas por hectare. A soja como uma cultura única em solo sob condições saturadas apresentou maior produtividade do que a soja intercalada com arroz. Entretanto, a utilização da terra e a renda bruta da lavoura de soja intercalada com arroz foram maiores do que a monocultura de soja, sugerindo que diversificação da soja e arroz em solo sob condições saturadas pode ser uma boa alternativa naquelas condições.

Seong et al. (2000), determinaram as reduções no crescimento e na produtividade das plantas de soja cultivada em sucessão ao arroz, submetidas a elevados teores de água no solo devido a prolongadas irrigações por inundação, durante os estágios V6 e R8. Verificaram que o tempo de irrigação teve influência nas

características dos estádios vegetativo e reprodutivo das plantas. As plantas de soja foram mais afetadas quando irrigadas antes do florescimento do que após o florescimento. No estágio V6, a redução do crescimento dos órgãos vegetativos foi significativa.

Sugimoto et al. (2000), verificaram o efeito produzido por condições de hipoxia e anoxia durante o estágio de pós-florescimento e de maturação dos grãos em plantas de soja cultivadas em solo de várzea. Verificaram que no estágio de pós-florescimento, os parâmetros produção de sementes e crescimento vegetativo, foram acendadamente afetados pelos tratamentos. Quanto mais longa a duração dos tratamentos, maiores foram os efeitos negativos na produtividade. No estágio de maturação do grão, as plantas foram mais tolerantes ao excesso de umidade no solo.

2.3 Cultivo da ervilha em solos de várzea

A ervilha é uma planta originária do Oriente e desenvolvida na Europa, exige temperaturas amenas ou frias entre 13 a 18°C. A produtividade da cultura é bastante prejudicada por temperaturas acima de 27°C. No Brasil, é uma cultura bastante difundida no Rio Grande do Sul, devido às condições climáticas favoráveis (Rocha, 1960). A partir de 1980, a cultura de ervilha passou a ser cultivada no cerrado e expandiu-se para os estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul. É uma cultura de baixo custo, alto valor nutritivo e de boa rentabilidade, no entanto seu consumo é pequeno no Brasil (Giordano et al., 1997).

Estudos realizados em diferentes regiões comprovam a adaptação e a rentabilidade da cultura da ervilha em várias regiões do país (Abe & Churata-Masca, 1975 e Resende & Vieira, 1999).

A cultura da ervilha pode ser uma opção para o aproveitamento das áreas de várzeas nos períodos de inverno (Carvalho et al., 1980 e Ferreira & Garrido, 1980).

No entanto, existem poucos trabalhos sobre o comportamento de cultivares de ervilha em solos de várzea e a tolerância destas as inundações do solo.

Testes de tolerância a inundações temporárias durante o desenvolvimento de plantas de ervilhas indicaram que durante o florescimento, inundação do solo por mais de 24 horas, resultaram em redução do crescimento foliar e da produção de grãos (Cannell et al., 1979).

Diferentes de outras culturas mais tolerantes à inundação como girassol, milho e soja, as ervilhas falham na produção de raízes adventícias. As folhas das plantas de ervilha inundadas necessitam então tolerar a ausência de algumas substâncias normalmente fornecidas pelas raízes (Jackson & Kowalewska, 1983).

Um dos problemas da ervilha em solos encharcados é o excesso de umidade, que juntamente com outros fatores como compactação e temperatura, podem contribuir para o surgimento de doenças como a podridão de raízes, causada pelos fungos *Fusarium solani* f. *pisi*, *Phytophthora* spp, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia sclerotiorum* e outros (Tu, 1994 e McDonald & Dean, 1996).

Tu (1991), estudou o efeito da inundação em plantas de ervilhas cultivadas em solo infestado com *Fusarium oxysporum* e *Fusarium solani*. Segundo o autor, os solos inundados desenvolveram sintomas da doença menos severos do que em solo infestado e não-inundados. Em solo não-inundado, a população de bactérias e fungos decresceu lentamente ao longo do tempo ao contrário do solo inundado onde a população de fungos diminuiu rapidamente. Para o autor, os resultados sugerem que a inundação dos solos pode ser um método efetivo para o controle do *Fusarium* em ervilhas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a avaliação dos efeitos do rebaixamento freático sobre a produtividade em diferentes estádios de desenvolvimento das culturas foram desenvolvidos cultivos de soja e ervilha. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, localizada no Município de Piracicaba – SP.

A casa de vegetação apresentava uma cobertura tipo arco, com as dimensões de 8,0 m de largura, 15,0 m de comprimento e pé direito de 3,0 m. A cobertura, as paredes frontais e as cortinas foram revestidas com manta de polietileno de baixa densidade, transparentes, com 10 mm de espessura. As paredes laterais foram confeccionadas com sombrites.

3.1 Unidades experimentais

As unidades experimentais, chamadas de lisímetros, foram construídas utilizando-se tubos de concreto, com 0,4 m de diâmetro interno, 1,2 m de altura e volume útil de 150 litros, confeccionados especialmente para o experimento. Os tubos de concreto foram assentados diretamente no solo e suas bases e paredes laterais foram impermeabilizadas a fim de evitar a perda de água por infiltração. A disposição dos lisímetros no interior da casa de vegetação é apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Disposição os lisímetros no interior da casa de vegetação e vista parcial do experimento com soja (a) e ervilha (b).

Para a admissão de água e para a drenagem, próximo à base dos lisímetros foram feitos orifícios, onde inseriram-se tubos de PVC de 12,5 mm de diâmetro. Os tubos apresentavam um comprimento de 60 cm, com furos de 10 mm de diâmetro em seu perímetro espaçados entre si de 10 cm. Para facilitar a drenagem e evitar o carreamento de solo, utilizou-se como materiais filtrantes mantas sintéticas (bidim OP-20) e uma camada de 15 cm de brita lavada.

A alimentação de água para os lisímetros foi realizada através de dois reservatórios de cimento-amianto com capacidade de 1000 litros cada, providos de chave bóia e colocados sobre um tablado de madeira com 2,5 m de comprimento, 1,6 m de largura e 1,6 m de altura, localizado no interior da casa de vegetação.

A distribuição da água, realizou-se através de uma rede de tubos de PVC e de polietileno, ambos com 12,5 mm de diâmetro, enterrados a 20 cm de profundidade, próximos aos lisímetros. Os tubos de polietileno foram seccionados a cada 0,6 m para a colocação de uma derivação onde acoplava-se uma mangueira cristal de 12,5 mm conectada a um registro de PVC. As mangueiras foram acopladas a pequenos reservatórios cilíndricos, confeccionados em PVC, providos com chave bóia, com

diâmetro e altura de 0,30 m. Estes reservatórios destinavam-se a controlar e manter constante o nível freático no interior dos lisímetros durante a realização dos tratamentos.

3.2 Solo, calagem e adubação das culturas

Para o preenchimento dos lisímetros, utilizou-se o solo Latossolo Vermelho-Amarelo Álico (Orthic Hapludent) descrito e classificado por Ranzani et al. (1966), pertencente à série Sertãozinho, retirado do seu perfil natural, na profundidade de 0 a 20 cm. O solo foi peneirado e homogeneizado antes do preenchimento dos lisímetros.

Retiraram-se amostras compostas de solo para análise granulométrica e de fertilidade do solo (Tabela 1) e da fertilidade do solo (Tabela 2).

Tabela 1. Granulometria do solo utilizado no experimento. Análise realizada pelo Laboratório de Solos do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ.

Areia (%)						Silte	Argila
Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina	Total	(%)	(%)
0,45	1,80	15,49	42,50	10,65	70,89	7,47	21,64

A calagem foi realizada, no momento em que os lisímetros eram preenchidos, utilizando-se calcário dolomítico, na dosagem 2 g por lisímetro. Juntamente com o calcário incorporou-se 1 kg por lisímetro de material orgânico de compostagem de estrume e restos culturais de cana-de-açúcar.

Para o plantio da soja, a fertilidade do solo foi corrigida de acordo com os resultados da análise de fertilidade do solo (Tabela 2), adicionando-se 90 g por lisímetro de superfosfato simples, em única aplicação; 15 g por lisímetro de cloreto de potássio, 380 mg por lisímetro de sulfato de manganês, 120 mg por lisímetro de ácido bórico,

50 mg por lisímetro de sulfato de cobre e 1 g por lisímetro de sulfato de zinco divididos em 4 aplicações, sendo, uma no plantio e após a emergência, a cada 10 dias.

Tabela 2. Características químicas do solo utilizado, segundo análise realizada pelo Laboratório de nutrição de plantas do Departamento de Solos e Nutrição de plantas da ESALQ.

PH	P	M.O	K	Ca	Mg	H+Al	S	T	V
CaCl ₂	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³						%
4,6	1,0	11,0	0,5	8,0	1,0	34,0	9,7	44,0	22,0

Para o plantio da ervilha, o solo recebeu os elementos químicos em quantidades de 10 g por lisímetro de superfosfato simples, em única aplicação, 1,6 g por lisímetro de uréia, 8 g por lisímetro de cloreto de potássio, 4 g por lisímetro de ácido bórico e 4 g por lisímetro de sulfato de zinco, em 4 aplicações, sendo uma no plantio e a após a emergência, a cada 10 dias

3.3 Cultivares e semeadura

No experimento com cultivo de soja, utilizou-se a cultivar de soja BR-16, semiprecoce, de crescimento determinado, resistente ao cranco da haste e recomendada para as regiões Sul e Sudeste.

As sementes foram cedidas pelo Laboratório de Melhoramento de Soja do Departamento de Genética da ESALQ. As mesmas, receberam o tratamento com fungicida Carboxin mais Thiram na dose do produto comercial equivalente a 280 ml por 100 kg de sementes.

Antes da semeadura realizou-se a inoculação das sementes com inoculante turfoso, na dose de 0,6 kg por 40 kg de sementes. A semeadura ocorreu no

dia 14 de dezembro de 2000 e foram semeadas 4 sementes em cada lisímetro, a 3 cm de profundidade aproximadamente, com o solo previamente umedecido. Realizou-se um desbaste no 20º dia após a emergência (DAE), deixando-se uma planta por lisímetro.

No experimento com ervilha, adotou-se a cultivar Axé, de crescimento determinado, ciclo de desenvolvimento curto, de aproximadamente 80 dias, de porte ereto, mediantemente resistente ao oídio e recomendada para regiões de clima ameno. As sementes foram cedidas pela EMBRAPA-CNPQ.

As sementes de ervilha foram tratadas com uma mistura de fungicidas Iprodione mais Thiram na dose de 4,0 g por 1,0 kg de sementes. Antes da semeadura realizou-se a inoculação das sementes com inoculante turfoso, na dose de 0,4 kg por 20 kg de sementes.

Foram colocadas 6 sementes por lisímetros, a 3 cm de profundidade, aproximadamente, e com o solo previamente umedecido. A semeadura ocorreu no dia 28 de maio de 2001 e o desbaste foi realizado vinte dias após a emergência (20DAE), deixando-se três plantas por lisímetro.

3.4 Inundação dos lisímetros

Para promover a inundação dos lisímetros, os reservatórios foram colocados em suportes metálicos, fixados por parafusos em caibros de madeira com 1,6 m de altura, os quais foram enterrados a 0,3 m de profundidade ao lado de cada lisímetro. As mangueiras de cristal com registro eram conectadas às entradas dos reservatórios e as saídas eram ligadas, por meio de mangueiras aos tubos de PVC, instalados nas bases dos lisímetros. A Figura 2, ilustra o esquema utilizado para elevação do nível freático no interior dos lisímetros.

A utilização dos suportes metálicos possibilitou a elevação e o rebaixamento progressivo do nível freático de acordo com os intervalos e profundidades

desejados em cada repetição de cada tratamento. A elevação do nível freático (NF), foi realizada lentamente, visando o completo preenchimento dos poros do solo com água.

Figura 2 – Representação gráfica dos elementos utilizados na inundação dos lisímetros.

3.5 Metodologia para o estabelecimento de diferentes velocidades de rebaixamento do NF

Para estudar o efeito causado pelas diferentes velocidades de rebaixamento do NF, nas plantas de soja e ervilha, adotou-se a metodologia anteriormente utilizada por Williamson & Schilfgaarde (1965), já empregada em várias pesquisas sobre o comportamento de culturas a períodos de inundações do solo água no solo em casa de vegetação ou em experimento de campo.

A metodologia consiste, basicamente na elevação do NF em um determinado estágio de desenvolvimento da cultura durante intervalos de tempo, seguido de um rebaixamento imediato do nível freático. Neste trabalho, empregou-se o

rebaixamento do NF em diferentes velocidades, após um período de completa inundação do sistema radicular das plantas.

O momento da inundação foi determinado pelos estádios de desenvolvimento das culturas. Para a soja, os estádios fenológicos vegetativo e reprodutivo, foram estabelecidos de acordo com a escala de Fehr & Caviness (1977). A inundação no estágio vegetativo ocorreu no 40 DAE, quando as plantas apresentavam oito nós no caule e folhas trifoliadas completamente desenvolvidas, características do estágio V8.

No estágio reprodutivo, a inundação ocorreu quando as plantas atingiram a fase de formação da vagem, definido como estágio R4, verificado quando a planta apresenta uma vagem com 20 a 40 mm de comprimento em um dos quatros últimos nós superiores, o que ocorreu a partir do 63 DAE

As plantas de ervilha foram inundadas no estágio vegetativo quando apresentavam as características do estágio IV, descrito por Makasheva (1973). Este estágio é distinguido pela formação da zona reprodutiva da planta e ocorreu no 44 DAE. A inundação na fase reprodutiva ocorreu no 65 DAE, quando as plantas apresentavam as características do estágio X, definido pela formação dos primeiros grãos de ervilha juntamente com abertura de novas flores.

3.6 Tratamentos e delineamento experimental

O efeito da inundação nas plantas foi estudado nos estádios vegetativo (V) e reprodutivo (R) das culturas e com o rebaixamento progressivo do NF efetuado nas profundidades de 10, 20, 30, 40 e 60 cm por dia. Também utilizou-se um tratamento de controle que não foi inundado (T= Testemunha).

Cada lisímetro foi inundado uma vez, no momento em a planta atingiu o estágio fenológico estabelecido, exceto para o tratamento de controle, que era somente irrigado.

As plantas foram submetidas a uma inundação completa do sistema radicular durante 6 horas, mantendo-se uma lâmina de água acima da superfície de aproximadamente 2 cm.

O rebaixamento nível freático era realizado por intermédio do rebaixamento do reservatório de PVC a cada 6 horas até a profundidade de 90 cm. Após desconectava-se as mangueiras e era efetuada a drenagem total do lisímetro.

Adotou-se, para ambas culturas, o delineamento experimental inteiramente casualizado, arranjado em esquema fatorial $[(2 \times 5) + 1]$, totalizando 11 tratamentos com 4 repetições. Sendo os tratamentos apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Tratamentos adotados para as plantas de soja e de ervilha.

Inundação/Estádio	Rebaixamento do nível freático (cm/dia)				
	10	20	30	40	60
Vegetativo	V10	V20	V30	V40	V60
Reprodutivo	R10	R20	R30	R40	R60
T	Tratamento de controle				

Os tratamentos foram sorteados e distribuídos aleatoriamente nos lisímetros no interior da casa de vegetação.

3.7 Tratos Culturais

Durante o desenvolvimento das plantas de soja foram realizadas aplicações de produtos específicos para o controle de trips (*Trips tabaci*) e de lagartas falsa medideira (*Rachiplusia nu*). Não foi observada a ocorrência de doenças causadas por fungos e ou bactérias.

A semeadura da soja ocorreu no dia 14 de dezembro de 2000 e a colheita da soja teve início a partir do 117 DAE, quando os legumes apresentavam uma coloração amarela palha.

Para a ervilha, apesar da cultivar ser de porte ereto, houve a necessidade de tutoramento das plantas, devido a tendência de tombamento das mesmas. Para isso utilizaram-se estacas de bambu e barbante.

Para o controle de pragas como tripes, pulgão da ervilha (*Acyrtosiphon pisum*) e lagarta falsa medianera foram realizados aplicações de Diazinon e Malathion, recomendados para a cultura (Giordano 1997). Realizaram-se aplicações de bicarbonato de sódio à 0,5% para o controle de oídio.

A colheita foi realizada a partir do 80 DAE, quando as vagens apresentaram uma coloração verde clara.

3.8 Irrigação das plantas de soja e de ervilha

Para ambas as culturas, o controle da irrigação foi realizado por tensiômetros, instalados em uma das repetições de cada tratamento, na profundidade de 20 cm. Os tensiômetros foram previamente testados no Laboratório de Solos do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ.

O manejo da irrigação foi fundamentado em um turno de rega de 3 em 3 dias até o 15 DAE, aplicando-se em cada irrigação uma lâmina líquida de 6 mm, (Marouelli et al., 1987). A partir do 15 DAE, efetuou-se a irrigação, somente quando o valor médio das leituras de todos tensiômetros atingia o valor de -35 kPa (Taylor, 1965).

A quantidade de água aplicada foi determinada pela curva de retenção da água no solo (Figura 3), obtida através da correlação de leituras tensiométricas e a umidade gravimétrica solo. A umidade gravimétrica foi determinada através de amostras retiradas dos lisímetros na profundidade de 15 cm em 8 lisímetros, determinando-se a também a densidade média do solo, cujo valor foi da ordem de $1,67 \text{ g cm}^{-3}$.

Figura 3 – Curva característica do solo contido nos lisímetros, utilizada para as duas culturas.

Durante os tratamentos, as plantas submetidas a inundação não eram irrigadas. A irrigação destas plantas recomeçava no momento em que o valor médio das leituras dos tensiômetros instalados nos lisímetros inundados atingisse o valor de -35 kPa. A leitura dos tensiômetros era realizada diariamente, utilizando-se um tensímetro digital.

A lâmina aplicada em cada irrigação era a suficiente para elevar novamente a umidade do solo próxima ao valor da umidade na capacidade de campo (-8 kPa). A profundidade efetiva do sistema radicular considerada foi de 20 cm até o florescimento e de 40 cm após este estágio (Espinoza, 1982).

Na cultura da soja, a aplicação de água era efetuada através de gotejadores tipo botão com vazão nominal de 3 L h⁻¹ inseridos em 4 tubos de polietileno de 12,5 mm, colocados sobre os lisímetros. Para a ervilha, o volume de água era aplicado usando-se uma proveta graduada de 1 litro.

3.9 Determinação dos parâmetros micro-climáticos da casa de vegetação

A temperatura do ar, a umidade relativa e a evaporação da água foram registradas utilizando-se aparelhos instalados em um abrigo meteorológico, localizado no interior da casa de vegetação. A evaporação da água foi medida com o uso de um atmômetro de cápsula porosa de porcelana com 100 mm de diâmetro. A leitura era realizada diretamente no artefato em uma escala em milímetros. As variações de temperatura e umidade relativa do ar foram registradas em um termohigrógrafo de registro semanal, previamente calibrado, com escala graduada em 5% para umidade e em 1°C para temperatura.

Durante a 2ª fase do experimento incluiu-se um termohigrômetro digital para os registros das temperaturas instantâneas, máximas e mínimas do ambiente e do solo, por meio de um sensor instalado na profundidade de 10 cm em um dos lisímetros utilizado.

A temperatura do solo durante os tratamentos foi obtida usando-se geotermômetros instalados na profundidade de 10 cm, em duas repetições de cada tratamento.

3.10 Avaliação da produção das culturas

Foram analisados nas plantas de soja e ervilha os seguintes parâmetros de produção: altura da planta, massa seca da parte aérea da planta, densidade de raízes por planta (g raiz m^{-3} de solo), número de vagens por planta, número de grãos produzidos por planta e massa total de grãos por planta (g por planta).

Para ervilha, além destes, também foram realizadas determinações de parâmetros fisiológicos como taxa de crescimento da cultura (T.C.C), transpiração e resistência estomática das folhas.

Para a soja, considerou-se como altura da planta a distância entre o solo e ponto de inserção da última folha no caule principal, realizada no 82 DAE. Para a ervilha, determinou-se a altura das plantas medindo-se a distância compreendida do solo até a borda superior da última folha estendida do ramo principal. As medições ocorreram semanalmente até a colheita dos grãos. A análise dos efeitos dos tratamentos foi realizada com os dados obtidos na última medição. A massa seca da parte aérea das plantas foi determinada, pela pesagem de folhas, caule e ramos, após secagem complementar em estufa com circulação forçada de ar a 60-65°C durante 48 horas.

O número de vagens e de grãos produzidos pelas plantas de soja e ervilha, foram determinados no momento da colheita. Por meio do número de grãos obteve-se o número relativo de grãos para ambas as culturas. Calculado pela divisão entre o número de grãos produzidos em plantas submetidas aos diferentes tratamentos e o número de grãos produzidos em plantas não-inundadas. Para a avaliação do peso de grãos de soja, fez-se necessário a padronização da umidade entre os tratamentos. Para tal, adotou-se a metodologia utilizada por Sakai (1996).

A densidade de raízes, para a soja, foi determinada retirando-se de 2 repetições de cada tratamento 4 amostras indeformadas na profundidade de 0-10 cm, utilizando-se um trado cilíndrico com 6 cm de diâmetro e 13 cm de altura. As amostras foram coletadas ao redor da planta, distanciadas 5 cm do caule.

Para a cultura de ervilha, devido ao maior número de plantas nos lisímetros, retirou-se somente uma amostra coletada no centro do lisímetro na camada de 0-30 cm de profundidade com o auxílio de um tubo metálico com diâmetro de 100 mm e 50 cm de comprimento. Posteriormente, para ambas culturas, as amostras foram acondicionadas em um recipiente juntamente com uma solução de 10% de álcool para a conservação das raízes. Para a separação das raízes utilizou-se o método de Gottingen (Bohn, 1979). Após a separação, as raízes foram secas em estufa a 60°C e pesadas em balança de precisão de 0,1 mg.

A taxa de crescimento da cultura da ervilha (T.C.C) foi obtida através da relação de Radford (1967).

$$T.C.C = \frac{(W_2 - W_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (1)$$

onde, T.C.C é a taxa de crescimento médio da cultura em g dia⁻¹, W₁ e W₂ são os pesos médios da matéria seca da parte aérea coletada nos tempos t₁ e t₂.

O peso médio da matéria seca foi obtido pela amostragem de 4 plantas por tratamento, coletadas aos 20, 44, 64 DAE e no momento da colheita.

A resistência estomática e a transpiração das folhas de ervilha foram determinadas por meio de um porômetro de equilíbrio dinâmico, diariamente, durante os tratamentos. As medições foram realizadas, entre 12 e 14 horas em 5 folhas das plantas de cada repetição dos tratamentos inundados e testemunha. Foram escolhidas as folhas mais altas, completamente expandidas e expostas ao sol.

Para a análise estatística, utilizaram-se os programa estatístico STAT-5 e SANEST (Zonta et al., 1984) e cálculos realizados no EXCEL. Foram realizados o teste de variância e o teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade para a comparação entre as médias dos tratamentos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Efeitos da velocidade de rebaixamento do NF sobre as plantas de soja

Os tratamentos aplicados no estágio vegetativo da soja provocaram sintomas característicos da deficiência de oxigênio no solo, como murchamento, amarelecimento e clorose das folhas.

O murchamento e o amarelecimento das folhas foram verificados 24 horas após o início do rebaixamento do nível freático (Figuras 4 e 5). Estes sintomas ocorreram principalmente nas folhas mais baixas, de grande parte das plantas inundadas, porém notou-se que o amarelecimento das folhas, foi mais severo nas plantas submetidas ao rebaixamento do NF em 10, 20 e 30cm (V10, V20 e V30) do que no rebaixamento do NF de 40 e 60cm (V40 e V60). No entanto, no tratamento V30, as plantas afetadas apresentaram uma rápida recuperação, o que não foi verificados nas plantas submetidas aos tratamentos V10 e V20.

Neste caso, acredita-se que o rebaixamento do NF efetuado em 30cm por dia, foi suficiente para promover uma adequada aeração do solo, permitindo a recuperação das planta e a retomada do crescimento vegetativo. Resultados semelhantes foram encontrados em plantas de soja por Andrade & Reis (1992).

Figura 4 – Efeitos causados pelo rebaixamento do NF em 10 cm por dia em plantas de soja durante o estágio vegetativo, no início (a) e após o término do tratamento (b).

Figura 5 – Efeitos causados pelo rebaixamento do NF em 20 cm por dia em plantas de soja durante o estágio vegetativo, no início (a) e após o término do tratamento (b).

Após 48 horas do início da aplicação dos tratamentos, notaram-se sinais de clorose nas folhas das plantas submetidas aos tratamentos V10 e V20. Este sintoma, foi observado em plantas de soja (Hunter et al., 1980; Griffin & Saxton, 1988) e em plantas de trigo (Chaudhary et al., 1974; Calheiros, 2000). As plantas de soja, submetidas aos tratamentos V10 e V20, também apresentaram um desfolhamento acentuado.

A clorose das folhas é muitas vezes associada à deficiência de nutrientes na planta, principalmente de nitrogênio. O transporte deficiente de nitrogênio e outros nutrientes para as folhas e também a denitrificação do N_2 no solo podem ser os principais responsáveis pela clorose nas folhas (Troedson et al., 1998).

Por outro lado, de acordo com Mozafar et al. (1992), o fornecimento insuficiente de oxigênio às raízes é provavelmente a principal causa da clorose das folhas, devido à falta de uma relação definida entre as concentrações de Fe, P, K, Ca, Mg e Mn e o desenvolvimento ou recuperação da clorose de folhas de soja submetidas à inundação.

Barni (1999), relacionou os sintomas observados em plantas de soja submetidas à inundações do solo, ao excesso de Fe no tecido das folhas. Porém, níveis tóxicos de Fe são atingidos em inundações prolongadas do solo, causados pela redução dos compostos de ferro e manganês (Silva, 1984).

Com a aplicação dos tratamentos no estágio reprodutivo da soja, algumas plantas, apresentaram murchamento e amarelecimento das folhas, principalmente as do tratamento R10, que foram mais afetadas. No entanto, observou-se uma rápida recuperação destas, após o término da inundação.

Não foram observadas variações no ciclo de desenvolvimento das plantas de soja, porém notou-se que as plantas submetidas aos tratamentos V10 e V20 anteciparam florescimento, durante a aplicação dos tratamentos. Nos demais tratamentos, o florescimento ocorreu, quando a maioria das plantas apresentava nove ou dez nós.

A indução do florescimento é causada quando a planta é submetida à algum estresse como alterações do fotoperíodo, temperatura elevadas e por excesso ou

falta de água (Câmara & Heiffing, 2000). O excesso de umidade retarda o crescimento das plantas novas e reduz o número de flores de plantas que estejam próximas ao florescimento (Verneti, 1988).

A temperatura é um fator importante no desenvolvimento da soja, pois influencia diretamente o crescimento e o processo de floração da plantas. Os limites de temperatura do solo e do ar, para o cultivo da soja, estão entre 18°C, para a emergência das plântulas e 35°C para a continuidade do seu crescimento. Temperaturas superiores a 38°C, paralisam o crescimento das plantas e provocam queda de flores e de vagens e intensificam a maturação dos grãos (Gastal, 1984).

A temperatura no interior da casa de vegetação, durante o cultivo da soja, manteve-se em 31°C em média, com variações de 13 a 48°C (Figura 6), enquanto, a temperatura média do ar registrada no posto meteorológico da ESALQ/USP, no mesmo período foi de 26°C.

Figura 6 – Variações das temperaturas máximas e mínimas do ar na casa de vegetação durante o cultivo da soja.

A temperatura média do ar, durante a aplicação dos tratamentos, não variou significativamente, mas permaneceu elevada, sendo da ordem de 31°C no estágio vegetativo e 32°C no reprodutivo. A lâmina média de água evaporada no período foi de 4,98 mm por dia. No decorrer dos tratamentos, a demanda evaporativa manteve-se

elevada, atingindo valores de 5,71 e 4,57 mm por dia, no estágio vegetativo e reprodutivo, respectivamente.

Os sintomas observados nas plantas de soja foram, provavelmente, influenciados pelas condições climáticas do local e também pela não formação de sistemas radiculares adventícios e possivelmente de aerênquimas.

Em condições de elevada temperatura e alta demanda evaporativa, os sintomas causados pela deficiência de oxigênio no solo, são mais severos (Russell, 1959). Temperaturas elevadas aumentam a necessidade de oxigênio para planta e também a atividade de microorganismos, diminuindo ainda mais a disponibilidade de oxigênio para planta e aumentando as concentrações de elementos tóxicos no solo como CO₂ e etileno (Kramer, 1964). De acordo com Barni (1999), a temperatura elevada do ar pode favorecer a formação de raízes adventícias pelas plantas de soja. A ocorrência de aerênquima em plantas de soja submetidas à inundações, auxilia na absorção de água, nutrientes e oxigênio, mantendo suas atividades metabólicas e sobrevivência (Woudt & Hagan, 1957; Barni, 1973 e Kawase, 1981).

A não formação de sistemas radiculares adventícios pode ser atribuído ao intervalo de inundação total do sistema radicular da planta soja e também ao rebaixamento progressivo do NF, que aumentou a disponibilidade de O₂ no solo, permitindo a planta manter suas atividades metabólicas.

O tempo de inundação do solo, juntamente com as diferentes velocidades de rebaixamento do NF, possivelmente afetaram a densidade de raízes das plantas de soja, como mostrado na Figura 7.

Reduções marcantes na densidade de raízes, foram verificadas principalmente nas plantas submetidas ao rebaixamento do NF em 10, 20 e 30cm durante o estágio vegetativo (V10, V20 e V30). Já a densidade de raízes das plantas dos tratamentos V40 e V60 não apresentam diferenças significativas. O mesmo ocorreu nos tratamentos aplicados no estágio reprodutivo da soja. No entanto, maiores reduções ocorreram nas plantas inundadas no estágio vegetativo. Este resultado confirma a afirmação de Letey et al., (1962), indicando que os efeitos da deficiência de oxigênio na planta são maiores antes do completo estabelecimento radicular.

Figura 7 – Efeito das diferentes velocidades de rebaixamento do NF na densidade de raízes das plantas de soja

A redução da densidade de raízes das plantas de soja observadas em todos os tratamentos pode estar relacionados com o tempo em que as plantas foram submetidas à redução da aeração do solo pelo alagamento. Resultados semelhantes foram observados em plantas de soja e algodão por Huck (1970).

Já as reduções na densidade de raízes das plantas submetidas aos tratamentos V10, V20 e V30, podem estar relacionadas a deficiência de oxigênio no solo, provocada pela maior permanência do nível freático na região do sistema radicular.

As velocidades de rebaixamento do NF afetaram o desenvolvimento radicular das plantas de soja e conseqüentemente o crescimento aéreo das mesmas, verificado pelas reduções na altura (Figura 8) e na massa seca da parte aérea das plantas de soja. Observações semelhantes foram registradas por Kawase (1981), Patwardhan et al. (1988) e Rodrigues et. al. (1993).

O maior efeito dos tratamentos sobre a altura das plantas de soja, foi observado naquelas submetidas à inundação no estágio vegetativo (15%), enquanto que nas inundadas no estágio reprodutivo a redução foi de 12%, em relação à altura média apresentada pela testemunha.

As plantas submetidas ao tratamento R60, apresentaram uma altura média ligeiramente superior em relação a altura das plantas não inundadas e das plantas submetidas ao tratamento V60, porém não diferiram significativamente entre si. Nos demais tratamentos observou-se o efeito negativo da velocidade de rebaixamento do NF. As maiores reduções na altura da planta foram verificadas nas plantas submetidas ao rebaixamento do nível freático em 10 cm por dia em ambos os estádios, no entanto não diferiram significativamente dos outros tratamentos.

Figura 8 – Efeito das velocidades de rebaixamento do NF sobre a altura (cm) das plantas de soja. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; d.m.s = 6,72.

Em relação à massa seca da parte aérea das plantas de soja (Figura 9), verificou-se o mesmo comportamento. Os maiores efeitos do rebaixamento do NF sobre a massa seca da parte aérea das plantas foram observados naquelas submetidas à inundação no estágio vegetativo, com redução média de 32,32%, enquanto que no reprodutivo a redução média foi de 6,7%, em comparação a massa seca das plantas de controle. Estas observações concordam com as obtidas em plantas de soja por diversos pesquisadores (Barni & Costa, 1976; Sallam & Scott, 1987; Linkemer et al., 1998; Griffin & Saxton, 1989; Scott et al., 1989; Xu et al., 1993).

Figura 9 – Efeito das velocidades de rebaixamento do NF sobre a massa seca da parte aérea das plantas de soja (g por planta). Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; d.m.s = 5,6.

Reduções significativas na massa seca das plantas foram verificadas naquelas submetidas ao rebaixamento do NF nas profundidades de 10, 20 e 30 cm, durante o estágio vegetativo V8. No entanto, não houve efeito do rebaixamento do NF na massa seca das plantas submetidas aos tratamentos V40, V60, R30, R20, R40 e R60.

4.2 Efeitos da velocidade de rebaixamento do NF sobre as plantas de ervilha

As plantas de ervilha submetidas aos rebaixamentos do NF no estágio vegetativo, não os sintomas como amarelecimento e o murchamento das folhas (Figura 10a), notados nas plantas de soja durante a aplicação dos tratamentos no estágio vegetativo.

Em relação ao ciclo fenológico, as plantas de ervilha inundadas no estágio vegetativo floresceram juntamente com as demais plantas que não foram inundadas, porém, verificou-se um maior ciclo de desenvolvimento ao contrário das plantas

inundadas no estágio reprodutivo, que anteciparam a colheita dos grãos. No entanto, tal diferença apresentada entre os estádios não foi significativa.

A antecipação da maturação dos grãos de ervilha pode estar relacionada a maior suscetibilidade das plantas, no estágio reprodutivo, ao estresse provocado pelo excesso de água do que as plantas inundadas no estágio anterior. Fato, verificado pelos sintomas de murchamento, amarelecimento e senescência prematura das folhas mais velhas localizadas principalmente na ramificação principal (Figura 10b), das plantas submetidas aos tratamentos neste estágio. Estes sintomas, também foram observados em plantas submetidas à inundação por 24 horas, após o florescimento (Cannell et al., 1979).

Figura 10 – Efeitos do rebaixamento do NF em plantas de ervilha no estágio vegetativo (a) e reprodutivo (b), após 15 dias do início dos tratamentos.

Segundo Belford et al. (1980), o efeito da inundação na absorção de água do solo é maior nas plantas velhas do que em plantas novas, devido aos danos nas raízes

da planta ou devido ao fechamento dos estômatos (Jackson, 1979). De acordo com Jackson & Kowalewska (1983), a senescência verificada nas folhas de ervilha, está associada com a condição anaeróbia do solo, ao aumento da permeabilidade do tecido das folhas e ao baixo conteúdo de água nas folhas.

O murchamento das folhas é freqüentemente o primeiro sintoma provocado pela deficiência de oxigênio no solo a ser notado. Principalmente se o estresse é imposto rapidamente e em condições atmosféricas favoráveis à transpiração (Kramer & Jackson, 1954).

A temperatura do ar no interior da casa de vegetação, durante o período de desenvolvimento das plantas de ervilha, variou entre 4,8 a 37°C, sendo a temperatura média do ar de 22°C (Figura 11).

Figura 11 – Temperaturas máximas e mínimas do ar registadas no interior da casa de vegetação durante o desenvolvimento das plantas de ervilha.

A lâmina de água média evaporada foi de 2,61 mm por dia, cerca de 45% menor quando comparada ao período de cultivo da soja. As temperaturas médias durante a inundação no estágio vegetativo e reprodutivo foram de 22,4 e 23°C, respectivamente, abaixo do limite de 27°C, onde a produção de grãos é bastante prejudicada pela queda de flores e de vagens. (Giordano 1997).

Em relação à temperatura do solo, verificaram-se variações semelhantes da temperatura do ar, no entanto com menor amplitude. As temperaturas máximas e a mínimas observadas no solo foi de 33,3 e 7°C respectivamente (Figura 12), sendo a média observada de 20,2°C. A temperatura máxima do ar ocorria em torno das 12 horas, enquanto no solo a máxima era atingida em torno das 16 horas, devido ao retardo térmico do concreto.

Durante os tratamentos a temperatura no solo mantinha-se 2 a 4°C menor do que a registrada nos lisímetros não inundados, resultados semelhantes foram observados em feijão (Silva,1982) e milho (Cruciani,1985). Segundo Silva (1984), a temperatura dos solos inundados tende a ser mais estável, em relação aos solos secos.

Figura 12 – Variações da temperatura média do ar e do solo no interior dos lisímetros, durante o desenvolvimento das plantas de ervilha.

Assim como na soja, o tempo de inundação do solo, juntamente com as velocidades de rebaixamento do NF, possivelmente afetaram a densidade das raízes das plantas de ervilha inundadas no estágio vegetativo e reprodutivo.

A redução da densidade de raízes das plantas de ervilha (Figura 13), foi semelhante à verificada na soja (Figura 7). As menores densidades de raízes foram obtidas nos tratamentos V10, V20, R10 e R20, indicando que na cultura de ervilha, os estádios vegetativo e reprodutivo foram afetados, pelo rebaixamento de 10 e 20 cm do

nível freático. No entanto, o estágio vegetativo apresentou maiores reduções em relação ao estágio vegetativo. Fato também verificado na densidade de raízes das plantas de soja. Resultados diferentes foram obtidos por Cannell et al. (1979), que observaram maior redução na massa de raízes das plantas inundadas nos estádios finais de desenvolvimento da cultura. A densidade de raízes das plantas de ervilha submetida aos tratamentos em que o rebaixamento do NF foi superior a 20cm, não apresentaram diferenças, no entanto foram menores do que a obtida no tratamento de controle (T).

Figura 13 – Efeito das diferentes velocidades de rebaixamento do NF na densidade de raízes das plantas de ervilha.

Em relação aos efeitos dos tratamentos sobre o crescimento vegetativo das plantas de ervilha, houve efeitos negativos causados pelas diferentes velocidades de rebaixamento do NF. Notaram-se reduções na altura da plantas da ordem de 3,6 e 6,7%, nos estádios vegetativo e reprodutivo, mais afetado. No entanto, as reduções na altura das plantas ervilha (Figura 14) não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos.

Figura 14 – Efeito dos rebaixamentos do NF sobre a altura das plantas de ervilha (cm). Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; d.m.s = 7,7.

Ocorreram também reduções na massa seca da parte aérea das plantas, sendo as maiores reduções verificadas no estágio reprodutivo, principalmente nos tratamentos R10 e R20. As reduções na massa seca da parte aérea das plantas no estágio vegetativo e reprodutivo foram da ordem de 7,6 e 14,6% respectivamente, em comparação com as plantas não inundadas. Os tratamentos V60, V40, V30 e R30, não diferiram significativamente da testemunha (Figura 15).

Os sintomas como murchamento, amarelecimento e senescência prematura das folhas, apresentados pelas plantas de soja e de ervilha, provocados principalmente pela deficiência de oxigênio no solo, durante o estágio vegetativo e reprodutivo, respectivamente, juntamente com a redução do crescimento vegetativo contribuíram para a redução substancial da massa seca da parte aérea da planta. Resultados semelhantes foram observados com plantas de soja (Sallam & Scott, 1987; Sorte et al., 1995), com plantas de feijão (Singh et al., 1991) e também com plantas de ervilha (Belford et al., 1980).

Figura 15 – Efeito das velocidades de rebaixamento do NF sobre a massa seca da parte aérea das plantas de ervilha (g por planta). Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; d.m.s = 2,03.

Em função da análise da taxa de crescimento das plantas de ervilha (T.C.C.) após a inundação no estágio vegetativo (44DAE), mostrado na Figura 16, os tratamentos V10 e V20, apresentaram reduções na T.C.C., o que não ocorreu nos outros tratamentos (V30, V40 e V60). Este comportamento parece estar relacionado com tempo de permanência do sistema radicular submerso, provocado pelo rebaixamento do nível freático em 10 e 20cm por dia, prejudicando a atividade respiratória da planta e também a absorção de nutrientes pelas raízes. Neste caso, o efeito do rebaixamento sobre a T.C.C, foi maior no Tratamento V10.

Segundo Letey et al. (1962), após um curto período de estresse, as plantas mais novas retomam seu crescimento normal. No entanto, o tratamento V20, não apresentou a mesma intensidade de crescimento pós-estresse, demonstrada pelo tratamento V10.

Figura 16 – Efeitos do rebaixamento do NF na taxa de crescimento da cultura de ervilha, no estágio vegetativo.

A aplicação dos tratamentos no estágio reprodutivo das plantas de ervilha apresentaram um efeito semelhante na T.C.C., conforme ilustrado na Figura 17. Este fenômeno poderia estar relacionado com o período de inicial de inundação e não com o manejo do nível freático. Segundo Belford et al. (1980), a expansão foliar é rapidamente afetada pela inundação do solo, sendo mais severa nas fases pós-florescimento.

A inibição da expansão foliar, resultado da redução no número e no tamanho de folhas são respostas comuns das plantas ao encharcamento (Kozlowski, 1984). Porém, o tratamento R30, apresentou incremento na produção de massa seca, fato que também ocorreu nas plantas de soja, nos tratamentos R40 e R60. Estes resultados poderiam ser atribuídos à estímulos no metabolismo das plantas provocados por inundações de curta duração (Barni, 1999).

Figura 17 – Efeitos do rebaixamento do NF na taxa de crescimento da cultura de ervilha, no estágio reprodutivo.

A diminuição do crescimento foliar das plantas de ervilha pode ser relacionado à redução da fotossíntese, resultante do decréscimo da transpiração da planta e pelo aumento da resistência estomática, provocada pelo encharcamento do solo durante os estádios vegetativo e reprodutivo (Bradford & Hsiao, 1982 e Jackson & Kowalewska, 1983).

O fechamento dos estômatos ocorre devido a redução da permeabilidade das raízes, causada pela respiração anaeróbia, que aumenta a resistência a absorção de água, ocasionando a queda no potencial da água na folha e o murchamento (Bradford & Yang, 1981). A variação da transpiração e da resistência estomática durante o estágio vegetativo é mostrada na Figura 18 e durante o estágio reprodutivo é mostrada na Figura 19.

Figura 18 – Efeito da aplicação dos tratamentos no estágio vegetativo na transpiração das folhas (a) e na resistência estomática das plantas de ervilha (b).

Figura 19 – Efeito da aplicação dos tratamentos no estágio reprodutivo na transpiração das folhas (a) e na resistência estomática das plantas de ervilha (b).

Observa-se nestas, que após 24 horas do início dos tratamentos, verificou-se a redução da transpiração e o aumento da resistência estomática, caracterizando a inibição da fotossíntese. No 2º dia, os tratamentos em que o rebaixamento do NF era efetuado em 40 e 60 cm, já indicavam aumento da transpiração em detrimento da redução da resistência estomática, enquanto que os tratamentos com rebaixamento do

NF em 10, 20 e 30 cm, continuavam apresentar maiores reduções na transpiração e aumento da resistência estomática. A partir do 3º dia, apenas as plantas submetidas ao rebaixamento do NF em 10 cm por dia, apresentavam elevada resistência estomática e menor taxa de transpiração, indicando o máximo período de estresse.

Resultados semelhantes foram observados em plantas de ervilha, onde a redução da fotossíntese ocorreu após 24 horas de inundação e a inibição da transpiração, devido ao fechamento dos estômatos, com dois dias de inundação (Jackson, 1979). Del Rosario et al. (1991), verificaram reduções na produtividade, área foliar, na transpiração e aumento da resistência estomática nas culturas soja, feijão caupí e em tomateiros, submetidas à períodos de inundação do solo. Também em tomateiros, Bradford & Hsiao (1982), notaram reduções na condutância estomática e na transpiração, de 30 a 40% aproximadamente, após 24 horas de inundação do solo.

Setenta e duas horas após o início do rebaixamento do nível freático, o tratamento V10 e R10, apresentam sinais de recuperação, após o NF estar a 30 cm de profundidade, indicam que a profundidade crítica de rebaixamento do nível freático, para ambos os estádios é de 30 cm.

4.3 Efeitos da velocidade de rebaixamento do NF sobre a produtividade das plantas de soja e de ervilha.

Efeitos dos diferentes tratamentos foram também notados no número de vagens formadas, número e peso de grãos produzidos em plantas de soja e em plantas de ervilha. Não foram observadas diferenças significativas quanto ao número de grãos de soja produzidos por planta (Tabela 4), nos tratamentos R20, R30, R40 e R60. Da mesma forma, não foram observadas diferenças quanto ao número de vagens por planta de soja. No entanto o rebaixamento do nível freático em 10 cm no reprodutivo (R1), diferiu da testemunha em relação ao número de vagens formadas e no número de grãos de soja. Reduções no número de vagens e de grãos de soja, também ocorreram no estádio

vegetativo, principalmente nos tratamentos V10, V20 e V30 e V40. Reduções no número de vagens e de grãos de soja em relação a testemunha, também foram apresentadas pelo tratamento V60.

Tabela 4. Efeitos dos tratamentos no número de vagens e no número de grãos de soja produzidos por plantas.

Tratamento	Número de vagens	Número de grãos
T	154,25 a	417,25 a
R6	143,50 abc	383,50 ab
R4	136,25 abcd	370,50 abc
R3	149,25 ab	390,70 ab
R2	129,00 bcde	342,75 abcd
R1	122,75 cde	326,50 bcd
V6	125,25 cde	330,0 bcd
V4	114,24 def	301,25 cde
V3	107,25 ef	294,25 de
V2	93,75 f	233,50 e
V1	22,75 g	63,5 f
d.m.s	22,48	75,63

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O rebaixamento do NF em 10 cm por dia afetou a produtividade das plantas em ambos os estádios vegetativo e reprodutivo. Porém, reduções drásticas no número de vagens e de grãos produzidos, ocorreram nas plantas submetidas aos tratamentos V10 e V20. Isto deve-se provavelmente ao baixo número de vagens formadas por nó reprodutivo e a baixa quantidade de nós.

Estes resultados diferem de observações, que apontam maiores reduções na produção de grãos causadas por inundações no estágio reprodutivo da soja (Griffin & Saxton, 1988; Scott et al., 1989). Entretanto, outros trabalhos têm mostrado resultados semelhantes (Barni & Costa, 1976; Herrera & Zandstra, 1979; Singh & Sinhg, 1993;

Goto et al., 1995; Seong et al., 2000; Sugimoto et al., 2000). Aparentemente, os efeitos da inundação do solo sobre a produção de grãos em soja, dependem de quando o estresse ocorre. Alguns estádios vegetativos são sensíveis à inundação do solo e alguns estádios reprodutivos são mais sensíveis do que outros (Linkemer et al., 1998).

Em relação ao número de vagens formadas em plantas de ervilha, os tratamentos R60, R40, V40, V30 e V60, não diferiram significativamente quando comparados com a testemunha. As plantas submetidas aos tratamentos R10, R20, V10 e V20, apresentaram as menores produções de vagens e de grãos de ervilha. Nesta cultura, apenas os tratamentos em que o rebaixamento do nível freático foi efetuado em 60 e 40cm, não diferiram do tratamento testemunha em relação ao número de grãos produzidos por planta (Tabela 5).

Tabela 5. Efeitos dos tratamentos no número de vagens e no número de grãos produzidos por plantas de ervilha.

Tratamento	Número de vagens	Número de grãos
T	27,75 a	119,75 a
R.6	19,50 abc	72,50 b
R.4	20,0 abc	71,50 b
R.3	19,25 bc	70,0 bc
R.2	16,0 c	70,25 bc
R.1	15,5 c	61,50 c
V.6	25,75 ab	111,25 a
V.4	22,25 abc	108,75 a
V.3	23,52 abc	85,25 b
V.2	17,75 bc	67,50 bc
V.1	15,75 c	63,75 c
d.m.s	8,44	17,84

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O número relativo de grãos produzidos em soja variou de 15,2 a 92%. O menor número relativo de grãos em soja em relação à testemunha, foi verificada nas plantas submetidas ao rebaixamento do NF em 10 cm por dia no estágio vegetativo. Já o número relativo de grãos produzidos em ervilha apresentou variações de 51,2 a 93%. As plantas submetidas ao rebaixamento do nível freático em 10 cm por dia no estágio reprodutivo e também no vegetativo apresentaram as maiores variações em relação à testemunha (Figura 20).

Figura 20 – Efeito da velocidade de rebaixamento do NF no número relativo de grãos produzidos por plantas de soja e de ervilha.

Os resultados obtidos (Figura 20) demonstram que a severidade dos efeitos causados pela inundação do solo são proporcionais ao tempo em que as raízes permaneceram submersas e variam com a cultura e com estágio de desenvolvimento da planta. Essas observações já haviam sido realizadas por Kamer (1951); Russel, (1959) e Kawese, (1981). Os resultados também indicam que a ervilha é mais suscetível à inundação do solo durante o estágio reprodutivo. Neste caso, o rebaixamento progressivo do NF não evitou os danos causados pelo excesso de umidade no solo durante este estágio ao contrário do que foi verificado no estágio anterior ao florescimento.

Os efeitos dos tratamentos no peso de grãos produzidos pelas plantas de soja e de ervilha foram evidentes. Em plantas de soja, inundadas durante o estágio

reprodutivo (Figura 21), observou-se maior peso de grãos produzidos do que nas plantas não inundadas, indicando que certos períodos de inundação podem aumentar o peso de grãos. Resultados semelhantes foram observados por Barni, (1976). O peso de grãos não foi afetado em plantas inundadas no estágio reprodutivo. Já as plantas inundadas no estágio vegetativo, apresentaram significativas reduções no peso de grãos produzidos, demonstrando maior susceptibilidade à inundação neste estágio. As plantas submetidas aos tratamentos V10 e V20, apresentaram maiores reduções do peso de grãos.

Figura 21 – Efeitos dos tratamentos no peso de grãos de soja produzidos por planta (g por plantas). Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; d.m.s = 6,46.

Em ervilha, o peso de grãos foi afetado pelos tratamentos de forma diferente do que o observado em plantas de soja. O peso total de grãos apresentado pelos diferentes tratamentos não foi superior ao peso de grãos produzidos pelas plantas não inundadas (Figura 22), indicando influências negativas dos tratamentos em ambos estádios de desenvolvimento.

Figura 22 – Efeitos dos tratamentos no peso de grãos de ervilha produzidos por planta (g por plantas). Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; d.m.s = 7,35.

Apenas o tratamento V60 não apresentou diferença significativa em relação à testemunha. No entanto, o tratamento V60 não difere significativamente dos tratamentos V30 e V40, indicando que o estágio vegetativo foi menos afetado quando o rebaixamento do nível freático foi efetuado a partir de 30cm por dia. Neste parâmetro, ao contrário da soja, a ervilha apresentou reduções significativas em ambos os estádios, sendo o reprodutivo o mais afetado. Resultados semelhantes foram obtidos por Cannell et al. (1979) e Belford et al. (1980).

A interferência dos tratamentos no peso do grão (Figuras 22 e 23) poderia ser explicada de acordo com as observações do trabalho de Egli et al (1989), onde a taxa de crescimento das sementes foi afetada pelo número de células cotilédones quando o fornecimento de assimilados foi reduzido durante o período de formação destas células.

Além disto, as alterações verificadas nas plantas de soja e ervilha, causadas pela deficiência de O_2 no solo, podem ser as responsáveis pela redução da produtividade de grãos de soja e de ervilha. A senescência das folhas, assim como o murchamento e a clorose, verificadas nas plantas de soja e também nas plantas de ervilha, reduzem a área fotossinteticamente ativa da planta, afetando a produção final das culturas (Wolfe, 1988). O desfolhamento, prejudica a translocação de assimilados,

reduzindo a área foliar da planta, também afetando a produtividade (Board & Settini, 1986 e Board & Tan, 1995).

A indução do florescimento, verificado nas plantas de soja submetidas aos tratamentos V.1 e V.2, provocou a formação de menor número de flores e consequentemente menor número de nós reprodutivos e de vagens formadas. Resultados semelhantes tem sido observados em outros trabalhos onde o número de vagens por nó reprodutivo é o componente produtivo mais afetado pela inundação (Belford et al., 1980 e Heatherly & Pringle, 1991). A formação de vagens parece ser muito sensível a variações na capacidade assimilatória durante este período (Board & Harville, 1993).

A inundação do solo influencia a produção por meio da formação de mecanismos similares àqueles apresentados por outras formas de estresse como o espaçamento reduzido entre plantas, a redução da luz e a desfolhação parcial, cujo o efeito principal é a redução da taxa de crescimento da cultura (Linkemer et al., 1989).

Isto demonstra que independentemente dos tipos de estresses que influenciam a taxa de crescimento da cultura, os efeitos na produção são similares.

5 CONCLUSÕES

Nas condições em que o experimento foi conduzido, a análise dos resultados obtidos permitiu concluir que:

- a) A inundação do solo e subsequente rebaixamento do nível freático afetaram o crescimento e a produtividade das culturas como evidenciado pelas reduções de 13 e 4% na altura das plantas, de 17 e 11% na massa seca da parte aérea das plantas, de 25 e 29% no número de vagens, de 27 e 34% no número de grãos por planta e de 17 e 42% no peso de grãos, verificadas em plantas de soja e de ervilha, respectivamente, em comparação com as testemunhas.
- b) Os efeitos negativos causados pela inundação do solo, observados na densidade de raízes, no número e no peso total de grãos produzidos pelas plantas de soja e de ervilha foram proporcionais à duração do período em que as raízes permaneceram submersas e variaram com a cultura e com estágio de desenvolvimento da planta.
- c) As plantas de soja e ervilha possuem sensibilidade diferente à inundação do solo. A soja é mais sensível à inundação do solo principalmente no estágio vegetativo e a ervilha é mais sensível à inundação do solo durante o estágio reprodutivo.

- d) A inundação do solo e as velocidades de rebaixamento do nível freático não afetaram a produtividade das plantas de soja no estágio reprodutivo. Contudo, no estágio vegetativo, as plantas apresentaram reduções significativas, de 81 e 40%, respectivamente, quando o rebaixamento do nível freático foi efetuado em 10 e 20 cm por dia, em relação à testemunha.
- e) A redução da produtividade da ervilha, quando os tratamentos foram aplicados no estágio reprodutivo, está relacionada com o período de inundação inicial, não havendo interferências das velocidades de rebaixamento do nível freático. Entretanto, quando os tratamentos foram aplicados no estágio vegetativo, verificaram-se influências da velocidade de rebaixamento do nível freático na produtividade das plantas de ervilha. A menor redução da produtividade, comparadas com a testemunha, foi observada nas plantas submetidas à velocidade de rebaixamento do nível freático de 60 cm por dia (13%). As maiores reduções foram verificadas no rebaixamento do nível freático de 10 e 20 cm (51 e 50%).
- f) As velocidades de rebaixamento do NF superiores à 30 cm por dia são capazes de promover uma adequada aeração do solo, situação observada na rápida recuperação das plantas de soja inundadas no estágio vegetativo, submetidas ao rebaixamento do NF em 30 cm por dia e também no aumento da taxa de transpiração das plantas de ervilha, em todos os tratamentos, após o rebaixamento de 30 cm do NF. O maior prejuízo à produtividade das culturas foi causado pela velocidade de rebaixamento do NF de 10 e 20 cm de profundidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABE, M. K.; CHURATA-MASCA, M. G. C. Estudo sobre o comportamento de cultivares de ervilha (*pisum sativum* L.), para fins industriais. **Científica**, v.3, n.1, p.87-93, 1975.
- ABREU, C. A. de; LOPES, A. S. Alterações físico-químicas e químicas dos solos inundados. **Informe Agropecuário**, v.13, n.152, p.14-21, 1988.
- ANDRADRE, L. M. de; REIS, A. E. G. dos. Efeito da profundidade do lençol freático nas culturas de soja, de milho e de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, n.6, p.923-933, 1992.
- AUBERTIN, G. M.; KARDOS, L. T. Root growth through porous media under controlled conditions II. Effect of aeration levels and rigidity. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 29, p. 363-365, 1965.
- BARCLAY, A. M.; CRAWFORD, R. M. M. Plant growth and survival under strict anaerobiosis. **Journal of Experimental Botany**, v.33, p. 541-549, 1982.
- BARNI, N. A. Efeitos de períodos de inundação sobre o rendimento de grãos e características agronômicas da soja (*Glycine max* (L.) Merrill.), em terras de arroz. **Agronomia Sulriograndense**, v.10, n.1, p.73-85, 1973.
- BARNI, N. A. Efeito do período de inundação do solo na absorção de nutrientes, uso da água e crescimento da planta de soja. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.5, n.1, p.7-18, 1999.
- BARNI, N. A.; COSTA, J. A. Efeito de períodos de inundação do solo sobre o crescimento e características morfológicas da planta de soja (*Glycine max* (L.) Merrill.) **Agronomia Sulriograndense**, v.12, n.2, p.163-172, 1976.

- BARNI, N. A.; GONÇALVES, J. C. Cultivo da soja em terras de arroz. **IPAGRO Informa**, n.8, p.15-18, 1977
- BARNI, N. A.; SILVA, P. R. F. Comportamento de cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill.) em terras de arroz irrigado. **Agronomia Sulriograndense**, v. 15, n. 1, p. 23-31, 1979.
- BELFORD, R. K.; CANNELL, R. Q.; THOMSON, R. J.; DENNIS, C. W. Effects of waterlogging at different stages of development on the growth and yield of peas (*Pisum sativum* L.) **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.31, p.857-869, 1980.
- BENICASA, M. M. P. Fisiologia de culturas adaptadas as condições de várzeas. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE O APROVEITAMENTO DE VÁRZEAS, 1., Jaboticabal, 1984. **Anais**. Jaboticabal: FCAV, 1984. p.131-139.
- BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A. Efeitos de tratamentos de drenagem na produção de duas cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill.). **Agronomia Sulriograndense**, v. 10, n. 1, p. 73-85, 1974.
- BLACKWELL, P. S. Measurements of aeration in waterlogged soils: some improvements of techniques and their applications to experiments using lysimeters. **Journal of Soil Science**, v.34, p.271-285, 1983.
- BOARD, J. E.; HARVILLE, B. G. Soybean yield component responses to a light inteception gradient during the reproductive period. **Crop Science**, v.33, p.772-777, 1993.
- BOARD, J. E.; SETTIMI, J. R. Photoperiod effect before and after flowering on branch development in determinate soybean. **Agronomy Journal**, v.78, 995-1002, 1986.
- BOARD, J. E.; TAN, Q. Assimilatory capacity effects on soybean yield components and pod number. **Crop Science**, v.35, p.846-851, 1995.
- BOHN, W. **Methods of studing root systems**. Berlin: Springer-Verlag, 1979. 189p.
- BRADFORD, K. J.; HSIAO, T. C. Stomatal behavior and water relations of waterlogged tomato plants. **Plant Physiology**, v.70, p.1508-1513, 1982.
- BRADFORD, K. J.; YANG, S. F. Physiological responses of plants to waterlogging. **HortScience**, v.16, n.1, p.25-30, 1981.

- CALHEIROS, R. O. Efeito do manejo da água de drenagem na adaptação fisiomorfológica de plantas mesófitas ao encharcamento. Piracicaba, 2000. 127p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- CALLEBAUT, F.; GABRIELS, D.; BOODT, M. Time responses of sugar beet germination, oxygen diffusion and redox potential to crust formation, polyacrylamide stabilization and peroxide fertilization. **Geoderma**, v. 25, n. 3, p. 275-283, May 1981. /Resumo em **AGRIS Abstracts on CD-ROM**, 1981-85/
- CÂMARA, G. M. S; HEIFFIG, L. S. Fisiologia, ambiente e rendimento da cultura da soja. In: CÂMARA, G. M.S (Coord.) **Soja: tecnologia e produção II**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2000. cap. 5, p.81-119.
- CAMARGO, O. A. Contribuição ao estudo da composição do ar do solo. Piracicaba, 1971. 61p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- CANNELL, R. Q.; GALES, K.; SNAYDON, R. W.; SUHAIL, B. A. Effects of short-term waterlogging on the growth and yield of peas (*Pisum sativum* L.). **Annals of Applied Biology**, v.93, n.3, p.327-335, 1979.
- CARANGAL, V. R.; MORRIS, R. A. Associated crops in rice-based cropping systems (Asia). MACLEAN, J.; BANTA, S. J.; ARGOSINO, G. S. (Ed.) **Progress in rainfed lowland rice**. Los Banos: International Rice Research Institute, 1986. p. 323-334. /Resumo em **AGRIS Abstracts on CD-ROM**, 1989-90/
- CARVALHO, E.M.; PIRES, T.E.; SANTOS, M. M.; FELIPE, P. M. Aproveitamento atual de várzeas sistematizadas. **Informe Agropecuário**, v.6, n.65, p.14-23, 1980.
- CHAUDHARY, T. N.; BHATNAGAR, V. K.; PRIHAR, S. S. Growth response of crops to depth and salinity of ground water, and soil submergence. I. Wheat (*Triticum aestivum* L.). **Agronomy Journal**, v.66, p. 32-35, 1974.
- CLINE, R. H.; ERICKSON, E. The effect of oxygen diffusion rate and applied fertilizer on growth, yield and chemical composition of pea. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.23, n.5, p.333-335, 1959.

- COELHO, E. F.; PEREIRA, P. M.; CAIXETA, T. J.; VIANA, M. C. M.; MAIA, A. H. N. Comportamento da cultura do milho sob diferentes profundidades do lençol freático em várzea. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, n.6, p.881 – 891, jun. 1992.
- CRUCIANI, D. E. Caracterização agronômica do coeficiente de drenagem para a elaboração de projetos com cultura de milho (*Zea mays*, L.). **ITEM. Irrigação e Tecnologia Moderna**, v. 22, p.28-31, 1985.
- DENNIS, E. S.; DOLFERUS, R. ELLIS, M.; RAHMAN, M.; WU, Y.; HOEREN, F. U.; GROVER, A.; ISMOND, K. P.; GOOD, A. G.; PEACOCK, W. J. Molecular strategies for improving waterlogging tolerance in plants. **Journal of Experimental Botany**, v.51, n.342, p.88-97, 2000.
- DEL ROSARIO, D.A.; FAJARDO, F. F. Waterlogging resistance in crops. **Philippine Agriculturist**, v. 74, n.1, p. 51-58, Jan./Mar 1991. /Resumo em **AGRIS Abstracts on CD-ROM**, 1991-92/
- EGLI, D. B.; RAMSEUR, E. L; ZHEN-WEN, Y.; SULLIVAN, C. H. Source-sink alterations affect the number of cells in soybean cotyledons. **Crop Science**, v.29, p.732-735, 1989.
- ESPINOZA, W. Resposta de doze cultivares de soja ao déficit hídrico num Latossolo Vermelho-Escuro de cerrados do Distrito Federal. I. Rendimentos, área foliar e desenvolvimento radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, n.3, p.447-458, 1982.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. Stages of soybean development. Iowa Agricultural Experiment Station, Rep. 80, 1977.
- FERREIRA, F. A.; GARRIDO, M. A. Olericultura. **Informe Agropecuário**, v.6, n.65, p.54-56, 1980.
- GASTAL, M. F. C. Aspectos da cultura da soja em várzeas. In: SIMPÓSIO SOBRE ALTERNATIVAS AO SISTEMA TRADICIONAL DE UTILIZAÇÃO DAS VÁRZEAS DO RIO GRANDE DO SUL, 1., Porto Alegre, 1984. **Anais**. Brasília: PROVÁRZEAS;PROFIR, 1986. p. 166-181.

- GASTAL, M. F. C. Excesso de água no solo – Efeitos na soja. **Agropecuária Clima Temperado**, v.3, n.1, p.93-110, 2000.
- GIORDANO, B. L. (Coord.) **Cultivo da ervilha (*Pisum sativum* L.)**. Brasília: EMBRAPA, CNPH, 1997. 20p. (Instruções Técnicas, 1).
- GOTO, K.; TAKAHASHI, M.; NISHIRI, K.; ABE, K. Effect of overhead flooding on growth and yield on soybeans and azuki beans. **Research Bulletin of the Hokkaido National Agricultural Experiment Station**, v.141, p.127-145, 1985.
- GRABLE, A. R. Soil aeration and plant growth. **Advances in Agronomy**, v.18, p.57-106, 1966.
- GRIFFIN, J. L.; SAXTON, A. M. Response of solid-seeded soybean to flood irrigation. II. Flood duration. **Agronomy Journal**, v.80, p.885-888, 1988.
- HARRIS, D. G.; VAN BAVEL, C. H. M. Growth, yield, and water absorption of tobacco plants as affected by composition of the root atmosphere. **Agronomy Journal**, v.49, n.1, p.11-14, 1957.
- HEATHERLY, L. G.; PRINGLE, H. C. Soybean cultivars' response to flood irrigation of Clay soil. **Agronomy Journal**, v.83, p.231-236, 1991.
- HERRERA, W. A. T.; ZANDSTRA, H. G. The response of some major upland crops (maize, sorghum, mungbean, soybean) to excessive soil moisture. **Philippine Journal of Crop Science**, v.4, n.4, p.146-152, Dec. 1979. /Resumos em **AGRIS Abstracts on CD-ROM**, 1981-85/
- HOPKINS, H. T.; SECHT, A. W.; HENDRICKS, S. B. Growth and nutrient accumulation as controlled by oxygen supply to plant roots. **Plant Physiology**, v.25, p.193-209, 1950.
- HOSNER, J. F.; LEAF, A. L. The effect of soil saturation upon the dry weight, ash content and nutrient absorption of various bottom land tree seedlings. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.26, n.4, p.401-404, 1962
- HOWELL, T. A.; HILER, E. A. Effects of inundation on seedling growth. **Transactions of the ASAE**, v.17, n.2, p. 286-94, 1974.
- HUCK, M. G. Variation in taproot elongation rate as influenced by composition of the soil air. **Agronomy Journal**, v. 62, p. 815-818, 1970.

- HUNTER, M. N.; DE JABRUN, P. L. M.; BYTH, D. E. Response of nine soybean lines to soil moisture conditions close to saturation. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.20, p.339-345, 1980.
- JACKSON, M. B. Rapid injury to peas by soil waterlogging. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.30, p. 143-152, 1979.
- JACKSON, M. B.; KOWALEWSKA, A. K. B. Positive and negative messages from roots induce foliar desiccation and stomatal closure in flooded pea plants **Journal of Experimental Botany**, v.34, n.142, p.493-506, 1983.
- JACKSON, M.B.; GALES, K.; CAMPBELL, D. J. Effect of waterlogged soil conditions on the production of ethylene and on water relationships in tomato plants **Journal of Experimental Botany**, v. 29, n. 108, p. 183-93, Fev. 1978.
- JUSTIN, S. H. F. W.; ARMSTRONG, W. The anatomical characteristics of roots and plant response to soil flooding. **New Phytologist**, v. 106, p.465-495, 1987.
- KAWASE, M Anatomical and morphological adaptation of plants to waterlogging. **HortScience**, v.16, n.1, p.30-34, 1981.
- KOZLOWSKI, T. T. **Flooding and plant growth**. 1984. New York: Academic Press, 168p.
- KRAMER, J. P. Causes of injury to plants resulting from flooding of the soil. **Plant Physiology**, v.26, p.722-736, 1951.
- KRAMER, P. J. **Water relations of plants**. New York: Academic Press, 1983. cap.6, p.146-186: Development of root system.
- KRAMER, J. P.; JACKSON, W. T. Causes of injury to flooded tobacco plants. **Plant Physiology**, v.29, p.241-245, 1954.
- LAGO, J. C.; GOULART, J. P.; GOMES, A. S.; VIANA, A. C. T. Influências da época e da duração do encharcamento do solo sobre a cultura de soja. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 1., Londrina, 1978. **Anais**. Londrina: EMBRAPA,CNPSO, 1978. p.299-305.
- LAMSTER, E. C. Programa Nacional de Aproveitamento Racional de Várzeas – Provárzeas nacional. **Informe Agropecuário**, v. 65, n.6, p. 308, 1980.

- LAWN, R. J.; BYTH, D. E. Saturated soil culture – A technology to expand the adaptation of soybean. In: CONFERENCIA MUNDIAL DE INVESTIGACION EN SOJA, 4., Buenos Aires, 1989. **Resúmenes**. Buenos Aires: AASOJA, 1989. p.13.
- LETEY, J.; STOLZY, H.; BLANK, G. B. Effect of duration and timing of low soil oxygen content on shoot and root growth. **Agronomy Journal**, v. 54, p. 34-37, 1962.
- LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stresses: water, radiation, salt and other stresses**. New York: Academic Press, 1980. v.2, 607p.
- LINKEMER, G.; BOARD, J. E.; MUSGRAVE, M. E. Waterlogging effects on growth and yield components in late-planted soybean. **Crop Science**, v.38, n.6, p.1576-1584, 1998.
- LU, J. The injury to winter wheat growth by soil waterlogging and its mechanism. **Acta Phytophysiological Sinica**, v.20, n.3, p.221-226, 1994.
- LUXMOORE, R. J.; FISCHER, R. A.; STOLZY, L. H. Flooding and soil temperature effects on wheat during grain filling. **Agronomy Journal**, v.54, p.34-37, 1973.
- MAKASHEVA, R. KH. **The pea**. Trad. de A. Balkema e A. Rotterdam. Lenigrado: Kolo Publ., 1973. 218p.
- MAROUELLI, W. A.; GIORDANO, L. B.; SILVA, W. L. C.; GUEDES, A. C. Época de paralização das irrigações em ervilha. **Horticultura Brasileira**, v.5, n.1. p.18-20, 1987.
- MASCARENHAS, M. H. T., O que pode ser plantado em várzeas na entressafra. **Informe Agropecuário**, v. 13, n.152, p.40-43, 1988.
- MCDONALD, G. K.; DEAN, G. Effect of waterlogging on the severity of disease caused by *Mycosphaerella pinodes* in peas (*Pisum sativum* L.). **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.36. n.2, p.219-222, 1996. /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM**, 1996-98/
- MCINTYRE, P. S. The platinum microelectrode method for soil aeration measurement. **Advances in Agronomy**, v. 22, p. 235-81, 1970.

- MOZAFAR, A.; GAMPERLE, R.; LOCH, J. Root aeration inhibits the recovery of soybean from flooding-induced chlorosis under non calcareous conditions. **Journal Plant Nutrition**, v. 15, n. 10, p. 1927-1937, 1992. /Resumo em **AGRICOLA Abstracts on CD- ROM**, 1992-97/
- MUKHTAR, S.; BAKER, J. L.; KANWAR, R. S. Effect of short-term flooding and drainage on soil oxygenation. **Transactions of the ASAE**, v. 39, n. 3, p. 915-920, 1996.
- NATHANSON, K; LAWN, R. J.; DE JABRUN, P. L. M.; BYTH, D. E. Growth, nodulation and nitrogen accumulation by soybean in saturated soil culture. **Field Crops Research**, v.8, p.73-92, 1984.
- PATRICK Jr., W. M. H.; MAHAPATRA, I. C. Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. **Advances in Agronomy**, v. 20, p.323-359, 1968.
- 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**, v. 31, n.5, p.1383- 1395, 1988.
- PAULETTO, E. A.; SOUSA, R. O. de; GOMES A. S. Caracterização e manejo de solo de várzea cultivado com arroz irrigado. In: PAULETTO, E. A.; SOUSA, R. O. de; FRANZ, R. O. S.; GOMES, A. S (Ed.) **Curso de especialização em produção de sementes de arroz irrigado: manejo da água e do solo em arroz irrigado**. Pelotas: UFPel, 1996. cap.1, p.7-33.
- PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**, v.24, p.274-309, 1972.
- POOKPAKDI, A.; KUO, C. G. Soybean production under saturated soil conditions in Thailand. In: ADAPTATION OF FOOD CROPS TO TEMPERATURE AND WATER STRESS, Taiwan, 1992. **Proceedings**, Taiwan: AVRDC, 1992. p.479-485. /Resumos **CAB Abstracts on CD-ROM** 1995/
- RADFORD, P. J. Growth analysis formulae – their use and abuse. **Crop Science**, v.7, n.3, p.171-175, 1967.

- RANZANI, G.; FREIRE, O.; KINJO, T. **Carta de solos do município de Piracicaba. Piracicaba: ESALQ, 1966. 85p.**
- RESENDE, M. A. V.; VIEIRA, R. F. Viabilidade do cultivo da ervilha no norte de Minas Gerais. **Horticultura Brasileira**, v.17, n.1, p.60-64, 1999.
- ROCHA, F. F. **Hortaliças – cultura da ervilha e feijão vagem**. Minas gerais: UFMG, 1960, n.7, cap.I, p.1-19. Métodos culturais para ervilha.
- RODRIGUES, T. J. D.; RODRIGUES, L. R. A.; REIS, R. A. Adaptação de plantas forrageiras às condições adversas. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 2., Jaboticabal, 1993. **Anais**. Jaboticabal: FUNEP, 1993. p.17-61.
- RUSSELL, M.B. Water and its relation to soils and crops. **Advances in Agronomy**, v.11, p.1-131, 1959.
- SAKAI, E. Desenvolvimento da cultura do milho em diferentes condições de drenagem subterrânea, no Vale do Ribeira. Piracicaba; 1996. 105p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- SALLAM, A.; SCOTT, H. D. Effects of prolonged flooding on soybeans during early vegetative growth. **Soil Science**, v. 144, n.1, p. 61-66, 1987.
- SANCHEZ, P. A. **Properties and management of soils in the tropics**. New York: John Willey, 1976. 618p.
- SANTOS, F. R.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.287-294, 1998.
- SANTOS, O. S. dos; ESTEFANEL, V. Avaliação de cultivares de soja em solos de várzea, na depressão central do Rio Grande do Sul. **Trigo e Soja**, v. 75, p. 13-17, Set-Out., 1984.
- SANTOS, O. S. dos; VIEIRA, C. Comportamento de dez variedades de soja em diferentes ambientes do Estado do Rio Grande do Sul. **Experientiae**, v. 20, n. 4, p. 89-116, 1975.

- SANTOS FILHO, A. S. G.; SANTOS, D. S. B.; GOMES, A. S.; MESQUITA, J. E.; SCHUCH, L. B. A. Comportamiento estomático y rendimiento de cinco genotipos de soja sometidos a diferentes niveles de humedad en el suelo. In: CONFERENCIA MUNDIAL DE INVESTIGACION EN SOJA, 4., Buenos Aires, 1989. **Resúmenes**. Buenos Aires: AASOJA, 1989. p.102.
- SCHULZ, C. F.; GASTAL, M. F. C.; GOMES, A. S.; ZONTA, E. P. Efecto de niveles de humedad del suelo en el desarrollo del sistema radicular de soja. In: CONFERENCIA MUNDIAL DE INVESTIGACION EN SOJA, 4., Buenos Aires, 1989. **Resúmenes**. Buenos Aires: AASOJA, 1989. p.13.
- SCOTT, H. D.; DEANGULO, J.; DANIELS, M. B.; WOOD, L. S. Flood duration effects on soybean growth and yield. **Agronomy Journal**, v. 81, p. 631-636, 1989.
- SEONG, R. C.; SOHN, J. Y.; SHIM, S. Responses of soybean cultivars to excessive soil moisture imposed at different growth stages. **Korean Journal of Crop Science**, v. 45, n.5, p. 282-287, 2000. /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM**, 2000-01/
- SHAFFER, B.; ANDERSEN, P. C.; PLOETZ, R. C. Responses of fruit crops to flooding. **Horticultural Reviews**, v.13, p. 257-313, 1972.
- SHAPIRO, R. E. Effect of flooding on availability of phosphorus and nitrogen. **Soil Science**, v.85, p. 190-197, 1958.
- SILVA, A. R. Tolerância das plantas ao encharcamento. In: SIMPÓSIO SOBRE ALTERNATIVAS AO SISTEMA TRADICIONAL DE UTILIZAÇÃO DAS VÁRZEAS DO RIO GRANDE DO SUL, 1., Porto Alegre, 1984. **Anais**. Brasília: PROVARZEAS;PROFIR, 1986. p. 166-181.
- SILVA, E. L. da Suscetibilidade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Goiano precoce, a inundações temporárias do sistema radicular em diferentes fases do seu ciclo vegetativo. Piracicaba, 1982. 77p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- SILVEIRA, P. M.; FERNANDES, B. HENRIQUES, H. P. Montagem do medidor e avaliação da taxa de difusão de oxigênio (T.D.O.) no solo. **ITEM – Irrigação e Tecnologia Moderna**, v.29, p.37-39,1987.

- SILVEIRA, P. M. **Drenagem para a cultura do feijão**. Goiânia: EMBRAPA, CNPAF, 1992, 36p. (EMBRAPA,CNPAF. Circular Técnica, 26).
- SINGH, K. D.; SINGH, N. P. Yield and quality of soybean (*glycine max* L. Merrill) as influenced by excess soil water at different stages of growth. **Annals of Agricultural Research**, v.14, n.1, p.95-99, 1993. /Resumos em **CAB Abstracts on CD-ROM**, 1993-94/
- SINGH, B. P.; TUCKER, K. A.; SUTTON, J. D.; BHARDWAJ, H. L. Flooding reduces gas exchange and growth in snap bean. **HortScience**, v.26, n.4, p.372-373, 1991.
- SMITH, K. A. The effects of waterlogging on root growth and on symbiotic nitrogen fixation by legumes In: ADAPTATION OF CHICKPEA AND PIGEONPEA TO ABIOTIC STRESSES. Patancheru, India, 1984. **Proceedings**. Patancheru: ICRISAT, 1987. p. 77-89. /Resumos em **AGRIS Abstract on CD-ROM** , 1989 – 90/
- SOJKA, R. E.; STOLZY, L. H. Soil-oxygen effects on stomatal response. **Soil Science**, v. 130, n.6, p. 350-358, 1980.
- SORTE, N. V; RAUT, J. S. ; DEOTALE, R. D.; PATEL, M.C.; KATEKHAYE, S.D. Effect of waterlogging on soybean at critical growth stages. **Journal of Soils and Crops**, v.5 n.2, p.141-144, 1995. /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM** 1996-98/
- STEPNIEWSKI, W.; PRZYWARA, G. The influence of soil oxygen availability on soybean yield and nutrient uptake Part II. The content and uptake of N, P, K, Ca, Mg and Na. **Polish Journal of Soil Science**, v.23, n. 1, p. 11-16, 1990. /Resumo em **CAB Abstracts on CD-ROM**, 1992/
- STOLZY, L. H.; LETEY, J. Measurement of oxygen diffusion rates with the platinum microelectrode. III. Correlation of plant response to soil oxygen diffusion rates. **Hilgardia**, v.35, p.567-76, 1964.
- SUGIMOTO, H.; KOESMARYONO, Y.; NAKANO, R. Effects of excess moisture in the soil at different stages of development on the growth and seed yield of soybean. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v.3, n.9, p.1465-1667, 2000. /Resumo em **AGRIS Abstracts on CD-ROM**, v.5, 1999-01/

- SUTILI, V. R.; FLECK, N. G. Avaliação de cultivares de soja semeadas em terras de arroz dentro de um plano de rotação de culturas. **Agronomia Sulriogradense**, v.14, n.2, p.203-214, 1978.
- TAYLOR, S. A. Managing irrigation water on the farm. **Transactions of the ASAE**, v.8, p.433-436, 1965.
- TROEDSON, R. J.; LAWN, R. J. BYTH, D. E.; WILSON, G. L. Saturated soil culture- An innovative water management option for soybean in the tropic and subtropics. In: SHANMGASUNDARAM, S.; SULZBERGER, E. W. (Ed.) **Soybean in tropical and subtropical cropping systems**. Tsukuba, 1983. /Resumos em **CAB Abstracts on CD-ROM**, 1980-84/
- TROEDSON, R. J.; LAWN, R. J.; BYTH, D. E.; WILSON, G. L. Response of field-growth soybean to saturated soil culture. 1. Patterns of biomass and nitrogen accumulation. **Field Crops Research**, v.21, p.171-187, 1989.
- TROUGHT, M. C. T.; DREW, M. C. The development of waterlogging damage in wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.). I. shoot and root growth in relation to changes in the concentrations of dissolved gases and solutes in the soil solution. **Plant and Soil**, v. 54, n. 1, p. 77-94, 1980 /Resumo em **AGRIS Abstracts on CD-ROM** 1975-1980/
- TU, J. C. Effect of soil flooding on the survival of *Fusarium oxysporum* f.sp. pisi and *Fusarium solani* f.sp. pisi. **Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen**, v.56, n.2b, p.431-438, 1991. /Resumos em **CAB Abstracts on CD-ROM**, 1992/
- TU, J. C. Effects of soil compaction, temperature, and moisture on the development of the *Fusarium* root rot complex of pea in southwestern Ontario. **Phytoprotection**, v.75, n.3, p.125-131, 1994. /Resumos em **CAB Abstracts on CD-ROM**, 1995/
- TURNER, F. T.; SIJ, J. W.; MC CAULEY, G. N.; CHEN, C. C. Soybean seedling response to anaerobiosis. **Crop Science**, v. 23, p. 40-44, 1983.
- VANT'T WOUTD, B. D. ; HAGAN, R. M. Crop responses at excessively high soil moisture levels. In: LUTHIN, J. N. (Ed.). **Drainage of agricultural lands**. Madison: American Society of Agronomy, 1957. p.514-578.

- VERNETTI, F. J., Época de semeadura. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA TERRAS BAIXAS. **Soja, nas várzeas da Região Sudeste do Rio Grande do Sul**: indicação para o cultivo. Pelotas: EMBRAPA,CPATB, 1988, 64p. (EMBRAPA,CPATB. Circular Técnica, 1).
- VOESENEK, L. A. C. J.; SMAN, A. J. M.; VAN-DER HARREN, F. J. M.; BLOM, C. W. P. M. An amalgamation between hormone physiology and plant ecology: a review on flooding resistance and ethylene. **Journal of Plant Growth Regulation**. v.11, n.3, p.171-188. 1992. /Resumos em **AGRIS Abstract on CD-ROM**, 1993-94/
- WILLIAMSON, R. E.; SCHILFGAARDE J. VAN Studies of crop response to drainage: II. Lysimeters. **Transactions of the ASAE**, v.8, n.1, p.98-100, 1965.
- WOLFE, D. W.; HENDERSON, D. W.; HSIAO, T. C.; ALVINO, A. L. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize: I. Leaf area duration, nitrogen distribution, and yield. **Agronomy Journal**, v.80, p.859-864, 1988.
- XU, Y. H.; HE, Z. H.; SONG, Y. S.; DU, Z.; YIN, D. Waterlogging damage of soybean and variety resistance. **Soybean Genetics Newsletter**, v.18, p.78-81, 1991.
- YENTUR, S.; LEOPOLD, A. C.; Respiration transition during seed germination. **Plant Physiology**, v.57, p.274-276, 1976.
- YINGCHOL, P.; POOKPAKDI, A. Improved cultural practices in soybean. In: KASETSART UNIVERSIT, 1984. **Research reports 1984**. Bangkok, 1984. p. 3-4. /Resumos em **AGRIS Abstract on CD-ROM**, 1993-94/
- ZONTA, E. P.; MACHADO, A. A.; SILVEIRA Jr, P. Sistema de análise estatística (SANEST) para microcomputadores. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA A EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 1., Piracicaba, 1984. **Anais**. Piracicaba: ESALQ, 1994. p.74-90