

SEÇÃO: AGRONOMIA

EFEITO DO PERÍODO DE INUNDAÇÃO DO SOLO NA ABSORÇÃO DE NUTRIENTES, USO DA ÁGUA E CRESCIMENTO DA PLANTA DE SOJA¹

NÍDIO ANTONIO BARNI²

RESUMO – Este estudo, realizado em casa de vegetação, avaliou o efeito do período de inundação do solo (série Guaíba - Ultisol) sobre o uso da água, absorção de nutrientes e crescimento da planta de soja. Períodos de inundação de 5, 10, 20 e 26 dias de duração, impostos quando a planta apresentava três folhas trifolioladas desenroladas, comparados com a condição hídrica de capacidade de campo, constituíram os tratamentos. O tratamento de 26 dias de inundação encerrou, quando surgiu a primeira flor na planta de soja. O consumo de água por grama de massa seca produzida elevou-se, progressivamente, com a duração da inundação, reduzindo a eficiência da planta em relação a este fator. A absorção de água por planta diminuiu com a inundação. A inundação reduziu a estatura e o peso de massa seca da planta, mas aumentou a quantidade de raízes pela emissão de raízes adventícias, como reação ao ambiente com baixa disponibilidade de oxigênio. Os teores de P, K, Ca, Mg e Mn no tecido da planta diminuiram com a duração da inundação, enquanto foi detectado um teor elevado de Fe, com a inundação imposta até o início da floração.

Palavras-chave: *Glycine max*, nutrição mineral.

EFFECT OF SOIL FLOOD DURATION ON NUTRIENT UPTAKE, WATER USAGE, AND GROWTH OF SOYBEAN PLANT

ABSTRACT – A study was conducted in greenhouse to evaluate the effect of different flooding periods on water utilization, nutrient uptake, and growth of the soybean plant in a soil of Guaíba series (Ultisol). The treatments consisted in flooding for 5, 10, 20, and 26 days, started when the plants presented three developed trifoliolate leaves, and compared to the soil water content at the field capacity. The treatment of flooding for 26 days ended when the plants showed the first flower. Soybean water consumption per unit of dry matter weight increased with the flooding duration, reducing the efficiency of water usage by the plants. Flooding reduced the water intake, dry matter weight, and plant height as well. The amount of roots increased due to the secondary root development, a reaction to low oxygen availability in the flooding condition. The P, K, Ca, Mg, and Mn content in the plant tissue decreased with the flood duration, whereas high Fe content was detected as a result of flood until the beginning of flowering.

Key words: *Glycine max* (L.) Merrill, mineral nutrition.

INTRODUÇÃO

A fronteira agrícola gaúcha pode ser expandida com a utilização de três milhões de hectares de solos hidromórficos apropriados ao cultivo do arroz irrigado (KLANT, 1986). A ocupação dessa expressiva área poderá ocorrer com espécies, como a soja, compondo um sistema diversificado de rotação cultural com o arroz, pastagens e outras criações e culturas. O uso da irrigação garantiria estabilidade e segurança ao sistema.

Entretanto, os solos de várzea apresentam características físicas que determinam índices deficientes de difusão de oxigênio ao sistema radicular de espécies vegetais mesófitas. A baixa difusão de oxigênio, de uma maneira geral, ocasiona uma série de alterações na fisiologia da planta no que se refere ao uso da água e nutrientes (CARLESSO, 1995; GRABLE, 1966; GRAVEN, 1965; HOVELAND e DONNELLY, 1966; KRAMER, 1969; SLATYER, 1970; SALLAM e SCOTT, 1987; SCOTT, 1989; STANLEY, 1980). A falta de

1. Trabalho apresentado na XXI Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul, Santa Rosa, RS, 1993.

2. Eng. Agr., Dr. – Equipe de Agrometeorologia, Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária - FEPAGRO. Rua Gonçalves Dias 570, 90130-060 Porto Alegre, RS.

Recebido para publicação em 21/02/1997.

oxigênio ao sistema radicular determina redução do crescimento e morte de raízes e da parte aérea da planta (KRAMER, 1969), formação de substâncias tóxicas no solo devido ao ambiente de redução e a produção de substâncias incompletamente oxidadas da fermentação e respiração anaeróbia (CRUCIANI, 1980; DAVIES, 1980; CRAWFORD, 1982; CÔRTE FILHO, 1984; JAKSON, 1985; SALLAM e SCOTT, 1987; EVANS, et al. 1990; PERATA e ALPI, 1993; CARLESSO, 1995; SCHOFFEL, 1997; THYNN e WERNER, 1990; VANTOAI, 1994).

Todos estes fenômenos são relatados na literatura. Entretanto, são mínimas as informações existentes relacionadas com a dimensão desses efeitos para espécies mesófitas nas condições do estado do Rio Grande do Sul, especialmente com a cultura da soja. Neste contexto, esta investigação científica procurou dimensionar o uso da água, a absorção de nutrientes e o crescimento da planta de soja, quando submetida a períodos de inundação do solo, situação de ocorrência freqüente nos cultivos em solos hidromórficos, que constituem as terras de arroz irrigado no Rio Grande do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em vasos plásticos com capacidade volumétrica para 6 litros. Utilizou-se solo da série Guaíba (Ultisol), descrito por MELLO et al. (1966). O solo foi secado e peneirado à sombra, determinando-se a quantidade de água correspondente à sua capacidade de campo. O solo, em capacidade de campo, apresentou 24,7% de umidade gravimétrica.

Cada vaso recebeu 4210 g de solo seco, mais 1040 g de água, correspondendo à quantidade relativa à capacidade de campo. A adubação do solo consistiu em 842 mg de P_2O_5 e 505 mg de K_2O por vaso. O nitrogênio foi aplicado na forma amoniacal, em cobertura, na base de 9,45 mg por vaso, aos oito dias após a emergência das plantas de soja, diluído na água de irrigação.

A semeadura foi realizada em 06/10/1990, utilizando-se a cultivar de soja Planalto do grupo de maturação precoce. Após a semeadura, os vasos foram vedados com plástico transparente durante um período de 28 horas, para evitar o ressecamento da camada superficial do solo e assegurar boa umidade para a germinação. A emergência das plantas ocorreu em 10/10/1990. As plantas foram mantidas livres de pragas e doenças através de tratamentos com fungicidas e inseticidas recomendados. Em 19/10/1990 realizou-se o desbaste, deixando-se quatro plantas por vaso. Nesta data, iniciaram-se os registros diários de consumo de água

pela planta de soja. Para isso, todos os vasos eram pesados diariamente e acrescentada a quantidade de água necessária para atingir o peso preestabelecido de 5250 g. Até esta data, o consumo médio de água por vaso foi de 600 ml.

Os tratamentos de inundação (lâmina de água de 3 cm de espessura, cobrindo a superfície do solo no interior de cada vaso) iniciaram, quando as plantas estavam emitindo a terceira folha trifoliolada (estádio V4, da escala de FHER e CAVINESS, 1977). Isto ocorreu em 27/10/1990. Nesta data, todos os vasos foram vedados com plástico transparente. Com isso, a água consumida por vaso passou a ser via planta, ou seja, via transpiração. Até então, a água consumida por vaso era por evapotranspiração. Os vasos que receberam inundação passaram a pesar 7300 g, enquanto que os demais permaneceram com 5250 g. A partir desta data, foram aplicados os seguintes tratamentos:

I. 5 – inundação por 5 dias – colheita logo após (01/11/90);

I.10 – inundação por 10 dias – colheita logo após (06/11/90);

I.20 – inundação por 20 dias – colheita logo após (16/11/90);

I.26 – inundação por 26 dias – (até o início da floração, estágio R1), colheita logo após (22/11/90);

CC. 5 – capacidade de campo mantida até a colheita, realizada na mesma data do tratamento I.5 (01/11/90);

CC.10 – capacidade de campo mantida até a colheita, realizada na mesma data do tratamento I.10 (06/11/90);

CC.20 – capacidade de campo mantida até a colheita, realizada na mesma data do tratamento I.20 (16/11/90);

CC.26 – capacidade de campo mantida até a colheita, realizada no início da floração (22/11/1990);

I. 5-F – inundação por 5 dias, com os vasos drenados após e mantidos em capacidade de campo até a colheita, efetuada no início da floração (R1), em 22/11/1990;

I.10-F – inundação por 10 dias, com os vasos drenados após e mantidos em capacidade de campo até a colheita, efetuada no início da floração (R1), em 22/11/1990;

I.20-F – inundação por 20 dias, com os vasos drenados após e mantidos em capacidade de campo até a colheita, efetuada no início da floração (R1), em 22/11/1990.

Os tratamentos, em três repetições, foram dispostos no delineamento experimental completamente casualizado. Foi realizada a análise da variância com uso do teste DMS para a separação das médias dos tratamentos, ao nível de significância de 1% de probabilidade (Tabela 1).

Na colheita de cada tratamento foram medidas a estatura, a massa verde da parte aérea e das raízes da planta. A parte aérea foi colocada em estufa a 60° C, com ar forçado para

secagem. Após 48 horas, realizou-se a pesagem da massa seca e a determinação do conteúdo de água no tecido de cada tratamento.

TABELA 1 – Sumário da análise da variância e testes estatísticos relativos a alguns parâmetros medidos em soja submetida a quatro períodos de inundação (5, 10, 20 e 26 dias) do solo; capacidade de campo; inundação seguida de capacidade de campo, em casa de vegetação na Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1990

Parâmetros	F-teste ^{1/}	Coefficiente de Variação C.V. (%)	Diferença ^{2/} Mínima Significativa
Transpiração/g de massa seca	12,60**	12,4	38,00 ml/g
Evapotranspiração/g de massa seca	20,31**	14,5	212,00 ml/g
Massa verde de raízes/planta	18,10**	20,1	2,40 g/planta
Massa seca aérea/planta	15,40**	12,5	920 mg/planta
Estatura da planta	31,20**	14,5	12,00 cm
Massa verde aérea/planta	21,50**	16,7	3,70 g/planta
Conteúdo de umidade da planta	11,80**	15,3	7,20%
Fósforo no tecido	66,50**	9,2	0,05%
Magnésio no tecido	27,46**	8,0	0,07%
Cálcio no tecido	5,00**	19,5	0,59%
Potássio no tecido	26,40**	11,1	0,22%
Manganês no tecido	12,50**	13,1	60,50 ppm
Ferro no tecido	29,60**	19,6	669,00 ppm

1/Significativo ao nível de 1% de probabilidade (**).

2/Teste DMS.

A massa seca foi moída e retirou-se amostra de 200 mg com a qual foi feita a digestão seca em mufla na temperatura de 550° C durante um período de seis horas. Após, foram adicionados 3 ml de HCl 2 N. Passadas três horas, foram adicionados 40 ml de água destilada. Esta solução foi deixada decantar por um período de quatro horas. Após, foram realizadas as determinações dos teores de P, K, Ca, Mg, Mn e Fe no tecido da parte aérea das plantas de soja de todos os tratamentos, seguindo-se a metodologia descrita por TEDESCO et al. (1985).

O consumo de água, para a produção de 1 g de matéria seca por transpiração, foi determinado subtraindo-se do peso final a matéria seca de cada planta no início da inundação, o que correspondeu, em média, a 100 mg por planta ou 0,4 g de matéria seca por vaso, uma vez que cada vaso continha quatro plantas. Nos tratamentos de inundação, seguidos de drenagem à capacidade de campo até o início da floração, foi determinado o espaço aéreo do solo a partir do qual a planta recobrava seu desenvolvimento, seguindo a metodologia de LIBARDI (1984), $m = ms + mag + mar$, onde m é a massa total, ms a massa de solo, mag a massa de água e mar a massa de ar do solo. Simplificando, pode-se considerar que $m = ms + mag$, desprezando-se a massa de ar para fins práticos. Através

de pesagens diárias de cada termo componente da equação, da quantidade de água drenada após 5, 10 e 20 dias de inundação, e da quantidade de matéria seca acrescida em cada tratamento, foi possível determinar, com algum grau de aproximação, o espaço aéreo mínimo acima do qual a planta de soja recobra o crescimento e o desenvolvimento, após ter sido submetida à inundação do solo durante o subperíodo vegetativo.

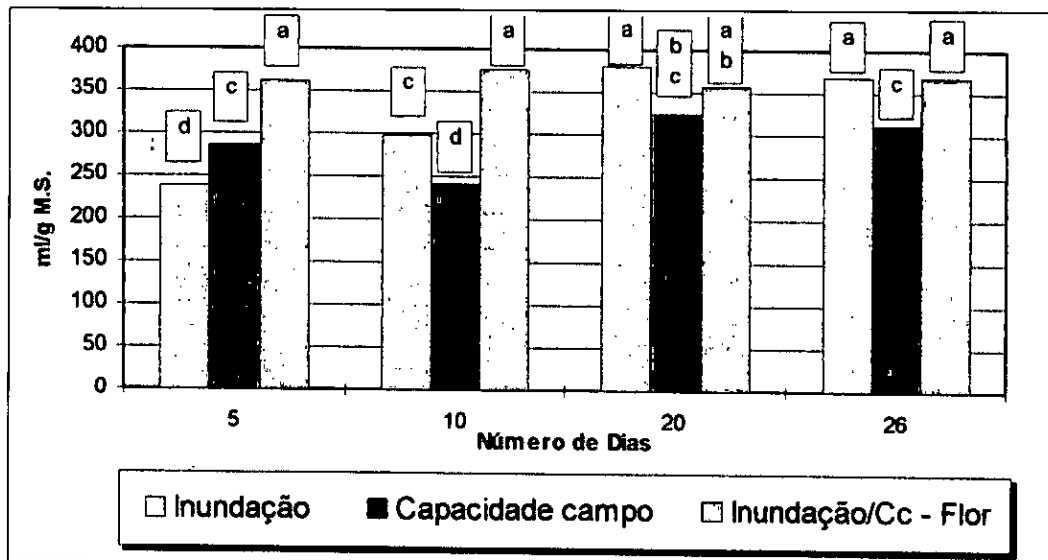
RESULTADOS E DISCUSSÃO

O consumo de água por grama de massa seca produzida, via transpiração da planta, variou de 238 ml a 370 ml, como pode ser constatado na Figura 1. A inundação de cinco dias de duração determinou um menor consumo de água pela planta de soja. Entretanto, com dez dias de inundação, o consumo de água passou a ser maior do que aquele verificado com o tratamento mantido em regime hídrico de capacidade de campo, para o mesmo período. Este consumo maior de água foi constante, com a inundação de vinte dias de duração e a inundação até a floração. O mesmo ocorreu com a evapotranspiração. Inicialmente, aos cinco dias de inundação, o consumo de água, por grama de massa seca produzida, foi pequeno, mas com a inundação prolongada, houve maior consumo de água do

que aquele apresentado pelos tratamentos de capacidade de campo de mesma duração (Figura 2). Uma explicação provável desse comportamento pode estar fundamentada no desenvolvimento de raízes adventícias (CRAWFORD, 1982; EVANS, 1990; PERATA e ALPI, 1993; SALLAM e SCOTT, 1987; SCOTT, 1989; STANLEY et al., 1980; VANTOAI et al., 1994) nos tratamentos inundados, que propiciaram às plantas absorverem maiores quantidades de água. A Figura 3 mostra que os tratamentos de inundação do solo (Inundação) e de inundação do solo, seguidos da condição de capacidade de campo até o início da floração (Inundação/Cc-Flor), estimularam o surgimento de raízes, quando comparados ao tratamento de capacidade de campo de mesma duração. Entretanto, a inundação até o início da floração (26 dias de duração) apresentou quantidade de massa verde de raízes semelhante ao tratamento de capacidade de campo durante todo o período. O tratamento de capacidade de campo, durante todo o período, foi o que também apresentou maior peso de matéria seca aérea (Figura 4). Com os tratamentos de inundação houve aumento da quantidade de raízes em relação à massa seca aérea, uma vez que a deficiên-

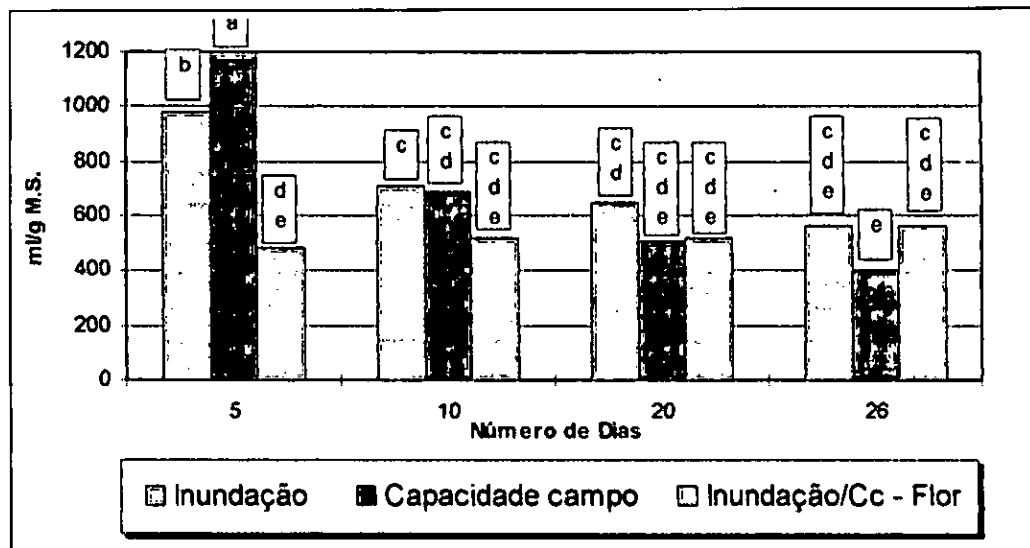
cia de oxigênio provocou redução do crescimento da parte aérea da planta e o concomitante surgimento de raízes adventícias.

A Figura 2 também deixa claro um decréscimo da evapotranspiração, dos cinco dias de inundação até a floração. Ocorre que o consumo de água é referido por grama de massa seca produzida em cada período. Por outro lado, as plantas de todos os tratamentos permaneceram evapotranspirando do momento da semeadura (06/10/1990) até a data do início da inundação (27/10/1990). Neste período de 21 dias, o consumo médio de água por vaso esteve ao redor de 1100 g, ou seja, cerca de 13,1 ml/planta/dia, uma vez que cada vaso apresentava quatro plantas. Após o início dos tratamentos de inundação, todos os vasos foram vedados e a água consumida passou a ser via transpiração da planta. Por isso, o efeito inicial da evapotranspiração foi sendo diluído com a duração dos tratamentos que aumentaram a produção de massa seca da parte aérea, como pode ser visualizado na Figura 4, corroborando, com isso, a estatura e a massa verde aérea da planta (Figuras 5 e 6).



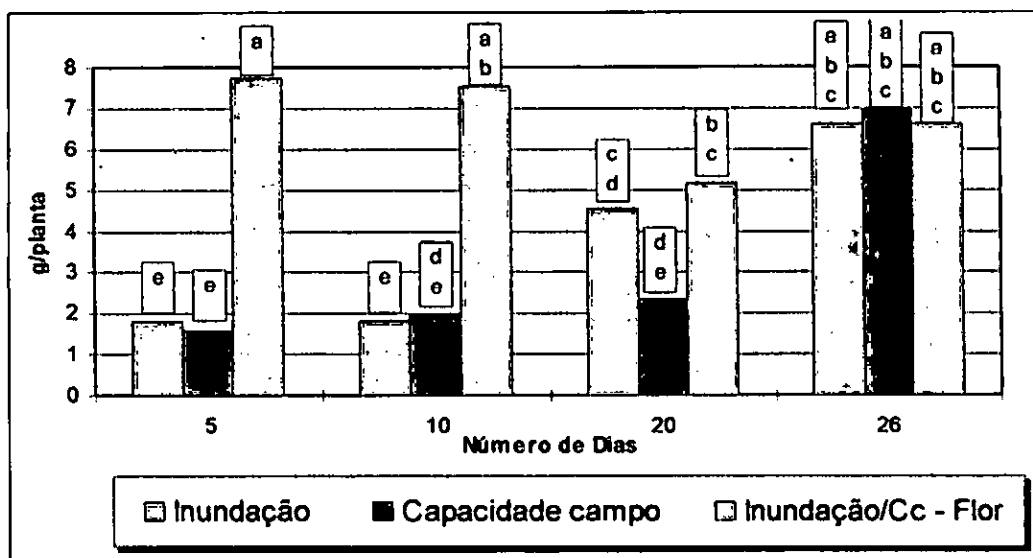
Letras iguais sobre as colunas indicam não haver diferença estatística entre os tratamentos ao nível de 1% de probabilidade (Teste DMS = 212 ml/g)

FIGURA 1 – Quantidade de água transpirada (ml) por grama de massa seca (M.S.) da parte aérea da planta de soja, submetida a quatro períodos de duração de inundação do solo (5, 10, 20 e 26 dias); capacidade de campo; e inundação seguida de capacidade de campo até a floração (Cc-flor.), aplicados a partir do estágio de três folhas trifolioladas completamente desenroladas



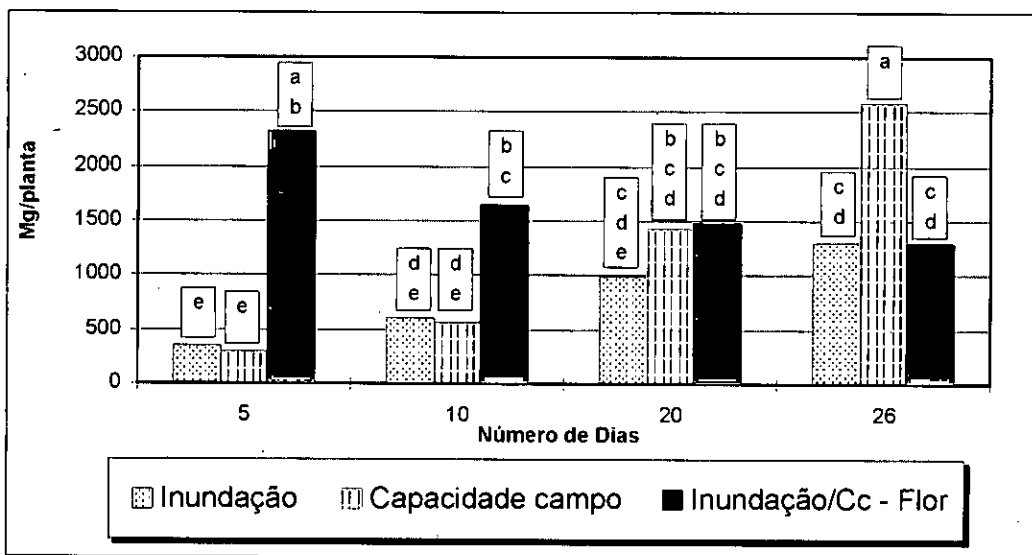
Letras iguais sobre as colunas indicam não haver diferença estatística entre os tratamentos ao nível de 1% de probabilidade (Teste DMS = 212 ml/g)

FIGURA 2 – Quantidade de água evapotranspirada (ml) por grama de massa seca (M.S.) da parte aérea da planta de soja, submetida a quatro períodos de duração de inundação do solo (5, 10, 20 e 26 dias); capacidade de campo; e inundação seguida de capacidade de campo até a floração (Cc-flor.), aplicados a partir do estágio de três folhas trifolioladas completamente desenroladas.



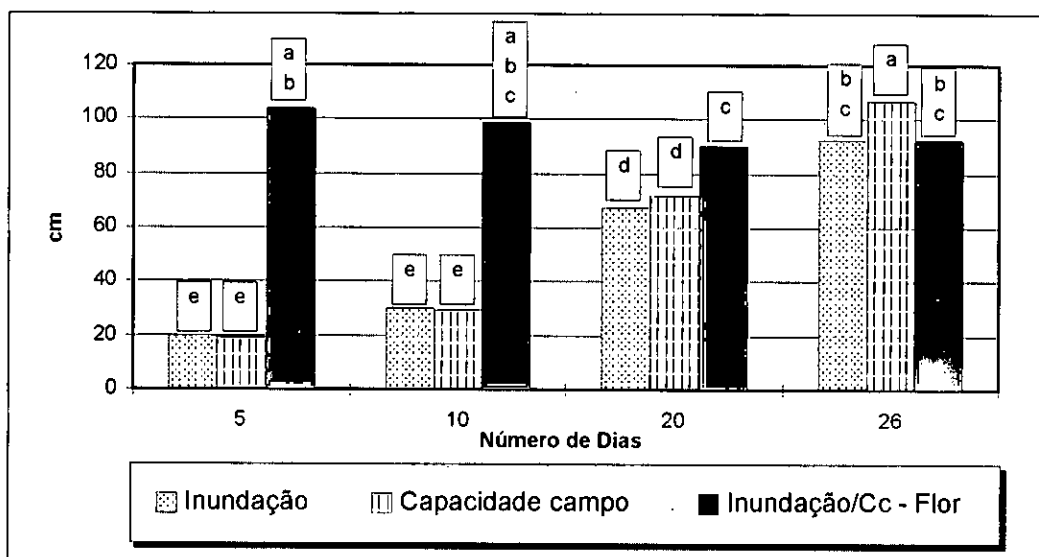
Letras iguais sobre as colunas indicam não haver diferença estatística entre os tratamentos ao nível de 1% de probabilidade (Teste DMS = 2,4 g/planta)

FIGURA 3 – Massa verde de raízes da planta de soja (g), submetida a quatro períodos de duração de inundação do solo (5, 10, 20 e 26 dias); capacidade de campo; e inundação seguida de capacidade de campo até a floração (C-c-flor.), aplicados a partir do estágio de três folhas trifolioladas completamente desenroladas



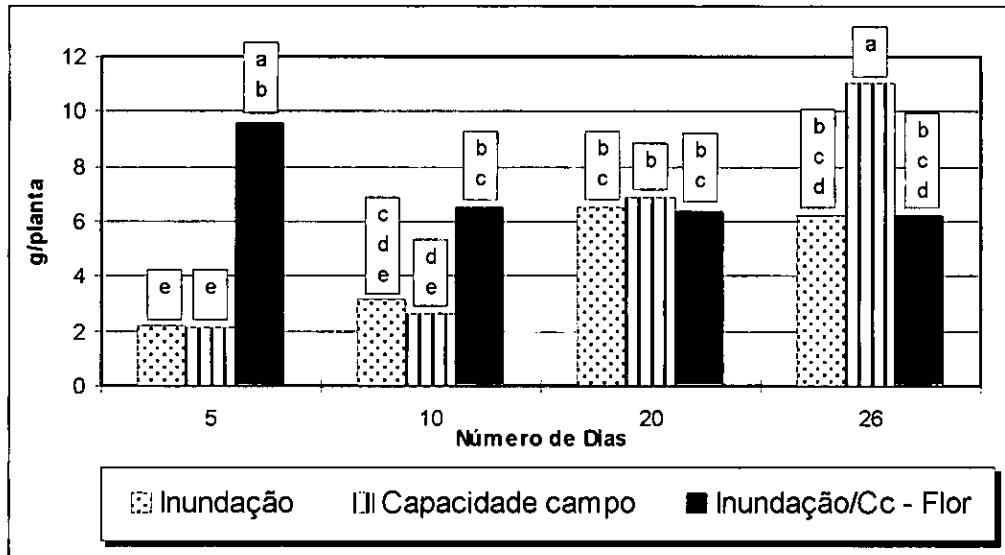
Letras iguais sobre as colunas indicam não haver diferença estatística entre os tratamentos ao nível de 1% de probabilidade (Teste DMS = 920 mg/planta)

FIGURA 4 - Massa seca aérea da planta de soja (mg), submetida a quatro períodos de duração de inundação do solo (5, 10, 20 e 26 dias); capacidade de campo; e inundação seguida de capacidade de campo até a floração (C-c-flor.), aplicados a partir do estágio de três folhas trifolioladas completamente desenroladas



Letras iguais sobre as colunas indicam não haver diferença estatística entre os tratamentos ao nível de 1% de probabilidade (Teste DMS = 12 cm)

FIGURA 5 - Estatura da planta de soja (cm), submetida a quatro períodos de duração de inundação do solo (5, 10, 20 e 26 dias); capacidade de campo; e inundação seguida de capacidade de campo até a floração (C-c-flor.), aplicados a partir do estágio de três folhas trifolioladas completamente desenroladas



Letras iguais sobre as colunas indicam não haver diferença estatística entre os tratamentos ao nível de 1% de probabilidade (Teste DMS = 3,7 g/planta)

FIGURA 6 – Massa verde aérea da planta de soja (g), submetida a quatro períodos de duração de inundação do solo (5, 10, 20 e 26 dias); capacidade de campo; e inundação seguida de capacidade de campo até a floração (Cc-flor.), aplicados a partir do estágio de três folhas trifolioladas completamente desenroladas

A literatura registra que a deficiência de oxigênio na zona radicular inibe a absorção de água pelas raízes das plantas. Segundo SLATYER (1970), os efeitos de uma aeração deficiente estão freqüentemente ligados à temperatura (CRUCIANI, 1980). Neste sentido, KRAMER (1969) afirma que existem diversas razões que determinam a redução na absorção de água, com baixas temperaturas do solo. As mais importantes são: redução no índice de crescimento das raízes, aumento da viscosidade da água, que é duas vezes maior com temperatura próxima a 0° C do que a 25° C, aumento da resistência ao movimento da água para o interior das raízes, pela diminuição da permeabilidade das membranas celulares e pelo aumento da viscosidade, e decréscimo na atividade metabólica das células radiculares (CRAWFORD, 1982; PERATA e ALPI, 1993). KRAMER (1969) acrescenta que a redução na atividade metabólica determina decréscimo na absorção de água e nutrientes. Entretanto, os resultados obtidos mostram elevação do consumo de água por grama de massa seca produzida, com a maior duração da inundação. Deve-se ressaltar que a temperatura medida no interior da casa de vegetação esteve sempre acima dos 25° C, alcançando, em determinados períodos, (primeira quinzena de novembro) valores seguidos de 41° C, apesar do sombrite, colocado sobre a casa de vegetação, para reduzir a radiação solar incidente. Acredita-se que esta temperatura elevada tenha propiciado o surgimento

antecipado de raízes adventícias (JAKSON, 1985; PERATA e ALPI, 1993; SCHOFFEL, 1997), o que contribuiu para a elevação do uso da água por grama de massa seca produzida. Contudo, a massa seca por planta, no início da floração, no tratamento mantido em regime hídrico sempre próximo à capacidade de campo, foi cerca de duas vezes àquela observada com o tratamento de inundação correspondente, ou seja, inundação de 26 dias (Figura 4). Portanto, os tratamentos que receberam inundação apresentaram menor eficiência no uso da água. O conteúdo de água das plantas inundadas, em cada colheita, sempre foi maior do que aquele evidenciado pelas plantas mantidas próximo à capacidade de campo (Figura 7), com exceção da inundação de cinco dias de duração. Com este tratamento a massa seca, por planta, foi cerca de 60 mg maior do que o tratamento de capacidade de campo de mesma duração. A inundação de curta duração parece ter estimulado o metabolismo da planta.

Ficou evidente que o uso da água, por grama de massa seca produzida, elevou-se com a duração dos tratamentos de inundação, reduzindo a eficiência. Isto, visto de outra forma, significa que a absorção de água por planta de soja diminuiu com a duração da inundação, em relação àquela absorvida pelas plantas mantidas no regime hídrico de capacidade de campo. Da mesma forma, a estatura da planta reduziu em cerca de 10% com a inundação até o início da floração, comparativamente

com o tratamento de capacidade de campo (SACCOL, 1986; SALLAM e SCOTT, 1987, SCOTT et al., 1989).

As plantas de soja, submetidas aos tratamentos de inundação de 10 e 20 dias de duração, seguida de capacidade de campo até a floração, mostraram recobrar o crescimento e o desenvolvimento, quando o espaço aéreo do solo atingiu valores superiores a 5%. Este fato destaca que o aparecimento de raízes adventícias e tecido aerenquimático constitui-se numa forma de sobrevivência da planta a uma condição extrema de deficiência de oxigênio, mas não lhe permite crescer e desenvolver-se normalmente. Com espaço aéreo inferior a 5% ocorre a sobrevivência da planta, mas com crescimento e desenvolvimento precários. WESSELING e WIJC (1957) citam que o espaço aéreo crítico para espécies mesófitas é de 10%, acima do qual o comportamento da planta passa a ser normal no que diz respeito à difusão de oxigênio no interior do solo, junto ao sistema radicular. Para o trigo, foi relatado por RIGHES (1984), que a partir de um espaço aéreo de 5,9% havia uma produção de 5,6 grãos/planta, atingindo 127 grãos/planta com um espaço aéreo ao redor de 28%.

Na Figura 8 estão representados os teores de fósforo e magnésio no tecido da parte aérea da planta de soja. Em relação ao Mg, os teores no tecido das plantas submetidas à inundação foram sempre menores do que aqueles observados com o tratamento de capacidade de campo, ocorrendo uma diminuição em ambos os níveis de umidade com a aproximação do subperíodo da floração. Para o fósforo houve maiores teores com a inundação de cinco dias, reduzindo-se aos dez e vinte dias em relação ao tratamento de capacidade de campo. Contudo, os valores apresentados estão dentro da faixa admitida como normal para a soja, conforme MOURER et al. (1981).

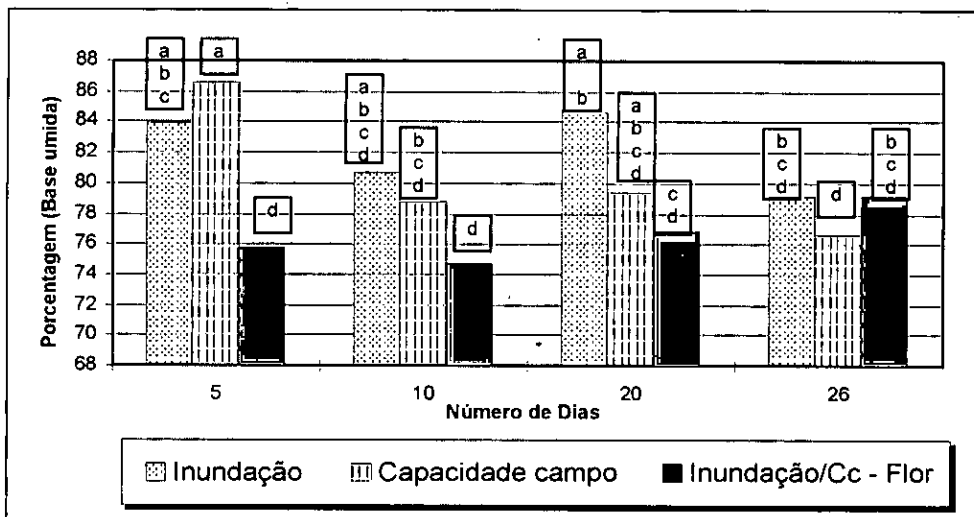
O cálcio e o potássio também seguiram o mesmo comportamento do magnésio (Figura 9), concordando com resultados de LAWTON (1945), isto é, menores teores no tecido com a inundação, e redução com a aproximação do subperíodo da floração, estando na faixa da normalidade.

Com relação ao manganês, a literatura reporta que este micronutriente pode ser tóxico às plantas em ambiente de baixa difusão de oxigênio (HOVELAND e DONNELLY, 1966; GRAVEN 1965), uma vez que a inundação do solo pode aumentar a disponibilidade de Fe, Na, Mn, S, Cu, Ni, Zn, Pb, V e Co (GRABLE, 1966). Nos resultados obtidos neste trabalho ficou evidente que a disponibilidade de Mn no solo era baixa e não resultou em toxidez para as plantas, tendo em vista que os tratamentos inundados apresentaram teores sempre menores do que seus correspondentes mantidos próximos à capacidade de campo (Figura 10).

Com relação ao ferro a inundação apresentou um efeito marcante. Os teores deste micronutriente permaneceram abaixo dos 250 ppm nos tratamentos em capacidade de campo. Entretanto, nos tratamentos de inundação do solo, o teor de Fe no tecido foi aumentando com a duração da inundação, atingindo cerca de 3032 ppm com a inundação de 26 dias, que chegou até o início da floração (Figura 11). Este teor elevado determinou amarelecimento, clorose e morte de folhas novas e redução no crescimento da planta, confirmando respostas obtidas por outros autores com diversas espécies vegetais (GRABLE, 1966; VAN T WOUDT e HAGAN, 1957; GRAVEN, 1965).

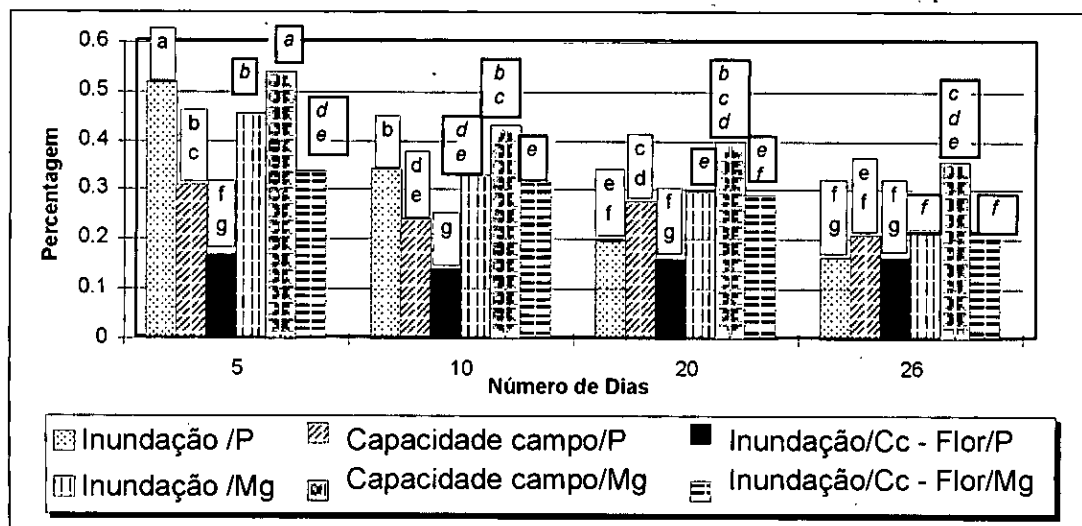
Ainda no que se refere ao Mn e Fe, VAN T WOUDT e HAGAN (1957) reportam que concentrações tóxicas dos íons ferrosos e de enxofre podem desenvolver-se alguns dias após o início da inundação do solo, enquanto que as concentrações de íons de manganês levam mais tempo a aparecer. Isto também pode explicar os teores de Mn e Fe encontrados no tecido da parte aérea das plantas inundadas deste trabalho.

Outra observação importante constatada, com a inundação prolongada até a floração, foi o murchamento de folhas, sugerindo a presença de produtos tóxicos para a planta, como é o caso de etanol. Segundo JACKSON (1956), o murchamento da parte aérea pode ser causado não somente pela obstrução mecânica do xilema, mas também pelas substâncias tóxicas que destroem a permeabilidade diferencial das células das folhas (JAKSON, 1982).



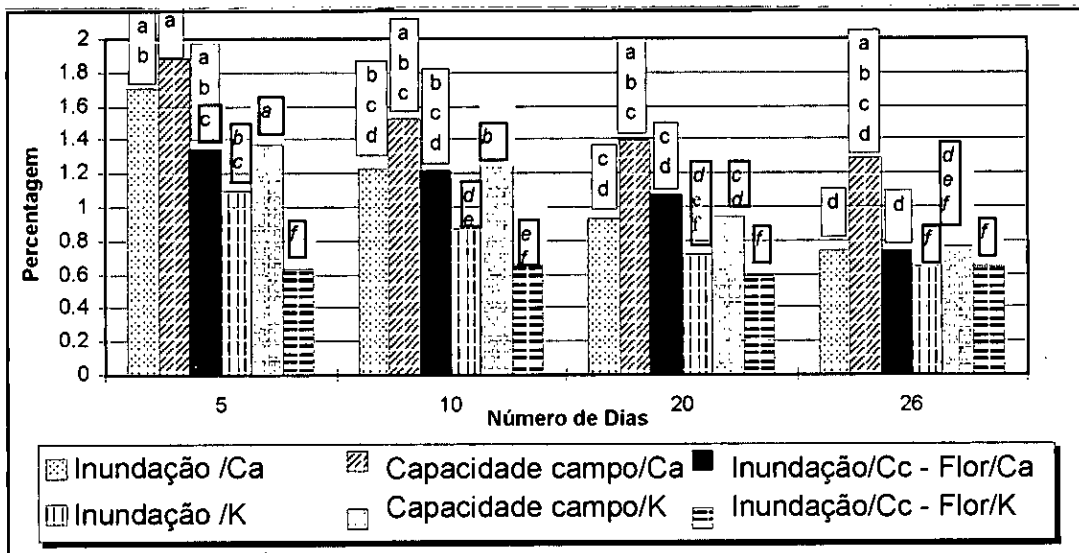
Letras iguais sobre as colunas indicam não haver diferença estatística entre os tratamentos ao nível de 1% de probabilidade (Teste DMS = 7,2%)

FIGURA 7 – Conteúdo de umidade da parte aérea da planta de soja (%), submetida a quatro períodos de duração de inundação do solo (5, 10, 20 e 26 dias); capacidade de campo; e inundação seguida de capacidade de campo até a floração (C-c-flor.), aplicados a partir do estágio de três folhas trifolioladas completamente desenroladas



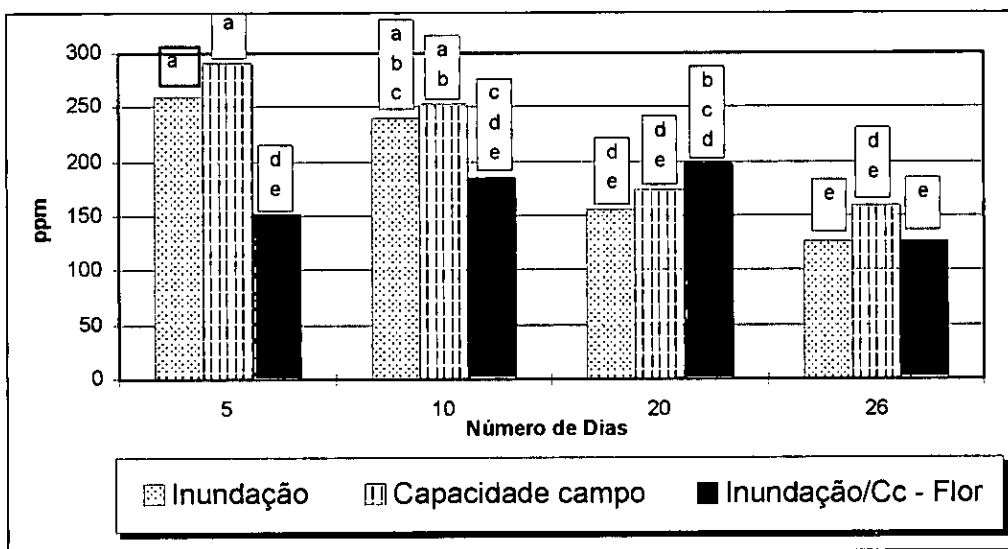
Letras iguais sobre as colunas indicam não haver diferença estatística entre os tratamentos ao nível de 1% de probabilidade (Teste DMS = 0,05% para P; DMS = 0,07% para Mg)

FIGURA 8 – Teores de fósforo e magnésio no tecido foliar da planta de soja (%), submetida a quatro períodos de duração de inundação do solo (5, 10, 20 e 26 dias); capacidade de campo; e inundação seguida de capacidade de campo até a floração (C-c-flor.), aplicados a partir do estágio de três folhas trifolioladas completamente desenroladas



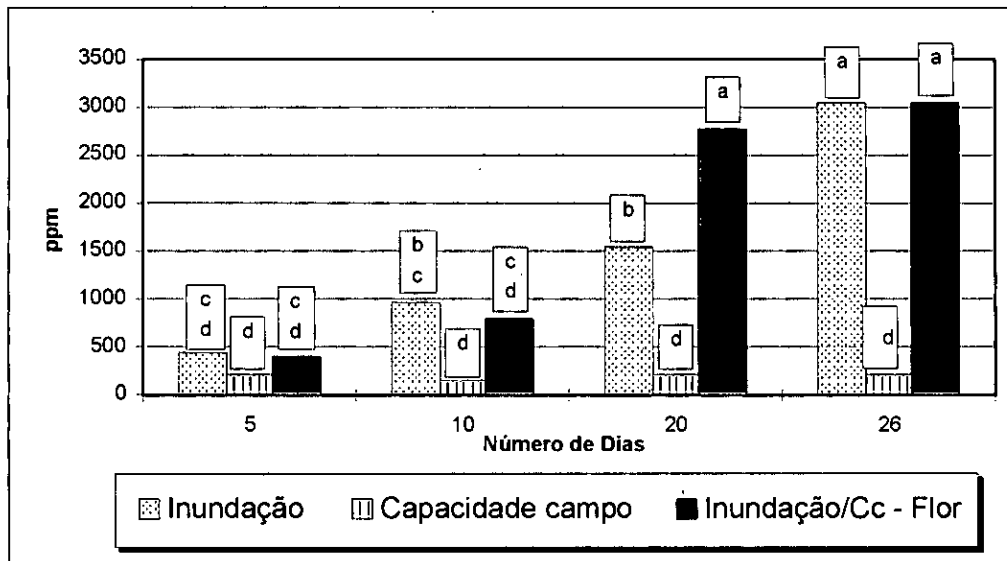
Letras iguais sobre as colunas indicam não haver diferença estatística entre os tratamentos ao nível de 1% de probabilidade (Teste DMS = 0,59% para CA; DMS = 0,22% para K)

FIGURA 9 – Teores de cálcio e potássio no tecido foliar da planta de soja (%), submetida a quatro períodos de duração de inundação do solo (5, 10, 20 e 26 dias); capacidade de campo; e inundação seguida de capacidade de campo até a floração (C-c-flor.), aplicados a partir do estágio de três folhas trifolioladas completamente desenroladas



Letras iguais sobre as colunas indicam não haver diferença estatística entre os tratamentos ao nível de 1% de probabilidade (Teste DMS = 60,5 ppm)

FIGURA 10– Teores de manganês no tecido foliar da planta de soja (ppm), submetida a quatro períodos de duração de inundação do solo (5, 10, 20 e 26 dias); capacidade de campo; e inundação seguida de capacidade de campo até a floração (C-c-flor.), aplicados a partir do estágio de três folhas trifolioladas completamente desenroladas



Letras iguais sobre as colunas indicam não haver diferença estatística entre os tratamentos ao nível de 1% de probabilidade (Teste DMS = 669 ppm)

FIGURA 11 – Teores de ferro no tecido foliar da planta de soja (ppm), submetida a quatro períodos de duração de inundação do solo (5, 10, 20 e 26 dias); capacidade de campo; e inundação seguida de capacidade de campo até a floração (C-c-flor.), aplicados a partir do estágio de três folhas trifolioladas completamente desenroladas

CONCLUSÕES

A inundação do solo aumenta o uso da água por grama de massa seca produzida, diminuindo a eficiência da planta em relação ao fator água.

A inundação do solo reduz a absorção de água por planta, reduzindo a massa seca e a estatura da planta.

O excesso de água no solo determina o surgimento de raízes adventícias e tecido aerenquimático, como forma de a planta tolerar o ambiente adverso sem perecer.

A inundação do solo por período igual ou superior a 10 dias – que reduz o espaço aéreo do solo abaixo de 5% – determina redução da absorção de P, K, Ca, Mg e Mn, embora os teores destes nutrientes permaneçam dentro dos limites da faixa de normalidade para a soja.

Os sintomas de toxidez (amarelecimento foliar, clorose e morte de folhas novas), apresentados na folhagem da soja, foram causados pelo excesso de Fe no tecido da parte aérea da planta, determinado pela duração dos tratamentos de inundação do solo.

A soja desenvolve mecanismos de tolerância aos efeitos da deficiência de oxigênio à zona radicular, mas exige condições mínimas de drenagem do solo (espaço aéreo do solo superior a 5%) para o crescimento e desenvolvimento ocorrer com normalidade.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- CARLESSO, R. *Drenagem e aeração do solo*. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1995. 61p.
- CÔRTE FILHO, P. P. *Efeito de profundidades do nível freático em várzeas arrozeiras nos componentes da produção da soja*. Santa Maria: UFSM, 1984. 60 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, 1984.
- CRAWFORD, R. M. M. Physiological response of flooding plants, injuries, survival mechanism. *Plant Physiology New Ser*, Berlim, v.12, p.453-477, 1982.
- CRUCIANI, D. E. *A drenagem na agricultura*. São Paulo: Nobel, 1980. 333p.
- DAVIES, D. D. Anaerobic metabolism and the production of organic acids. *The Biochemistry of Plants*, New York, v.2, p.581-611, 1980.
- EVANS, R. O. et al. Normalized crop susceptibility factors for corn and soybean to excess water stress. *American Society of Agricultural Engineers*, Saint Joseph, v.33, n.4, p.1153-1161, 1990.
- FHER, W. R.; CAVINESS, C. E. *Stages of soybean development*. Ames: Iowa State University, 1977. 11p.
- GRABLE, A.R. Soil aeration and plant growth. *Advance in Agronomy*, New York, v.18, p.57-106, 1966.
- GRAVEN, E.H. Effect of limig and flooding on manganese toxicity in alfafa. *Soil Science American Proceedings*, Madison, v.29, n.6, p.702-706, 1965.
- HOVELAND, C.S. ; DONNELLY, E.D. Response of *Vicia* genotypes to flooding. *Agronomy Journal*, Madison, v.58, n.3, p.342-345, 1966.
- JACKSON, W.T. The relative importance of factors causing injury to shoots of flooded tomato plants. *American Journal of Botany*, Baltimore, v.43, n.9, p.637-639, 1956.
- JAKSON, M. B. An examination of the importance of ethanol in causing injury to flooded plants. *Plant Cell Enviroment*, v.5, p.163-172, 1982.
- JAKSON, M. B. Ethylene and responses of plants to soil waterlogging and submergence. *Plant Physiology*, Palo Alto, v.36, p.145-174, 1985.

- KLANT, E. Solos de várzea do Rio Grande do Sul: características, distribuição e limitações de uso. In: SIMPÓSIO SOBRE ALTERNATIVAS AO SISTEMA TRADICIONAL DE UTILIZAÇÃO DAS VÁRZEAS DO RIO GRANDE DO SUL, 1., 1984, Porto Alegre. *Anais.* . . Porto Alegre: Pró-varzeas Nacional - Ministério da Agricultura, 1986. p 111-118.
- KRAMER, J.P. **Plant and soil water relationships: a modern synthesis.** New York: Mc Graw-Hill, 1969. 482p.
- LAWTON, K. The influence of soil aeration on the growth and absorption of nutrients by corn plants. *Soil Science American Proceedings*, Madison, v.10, p.263-268, 1945.
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera.** São Paulo: CENA/USP, 1984. 232P.
- MELLO, O.; LEMOS, R.C.; ABRÃO, P.U.R.; AZOLIN, M.A.D.; SANTOS, M.C.L.; CARVALHO, A.P. Levantamento em série dos solos do Centro Agronômico. **Revista da Faculdade de Agronomia e Veterinária da UFRGS**, Porto Alegre, v.8, n.1/4, p.7-155, 1966.
- MOURER, E.J.; WANG, G.M.; WANG, S.R. Função dos nutrientes e sintomas de deficiência. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Eds.), **A soja no Brasil:** São Paulo, 1981. p. 156-167.
- PERATA, P.; ALPI, A. Plant responses to anaerobiosis. **Plant Science**, Baltimore, v.93, p.1-17, 1993.
- RIGHES, A. A. Irrigação e drenagem em várzeas. In: SIMPÓSIO SOBRE ALTERNATIVAS AO SISTEMA TRADICIONAL DA UTILIZAÇÃO DE VÁRZEAS DO RS, 1., 1984, Porto Alegre. *Anais.* . . Porto Alegre: Pró-varzeas Nacional - Ministério da Agricultura, 1986. p.129-151.
- SACCOL, A. V. Experiências com o cultivo da soja na unidade de solo Vacacaf em Santa Maria, RS. In: SIMPÓSIO SOBRE ALTERNATIVAS AO SISTEMA TRADICIONAL DA UTILIZAÇÃO DE VÁRZEAS DO RS (1984), 1., 1984, Porto Alegre. *Anais.* . . Porto Alegre: Pró-varzeas Nacional - Ministério da Agricultura, 1986. P. 187-201.
- SALLAM, A.; SCOTT, H. D. Effects of prolonged flooding on soybeans during early vegetative growth. **Soil Science**, Baltimore, v.144, n.1, p.61-66, 1987.
- SCHOFFEL, E. R. **Comportamento de cultivares de soja em solo hidromórfico, sob condições de excesso hídrico.** Santa Maria: UFSM, 1997. 68 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Fitotecnia) – Universidade Federal de Santa Maria, 1997.
- SCOTT, H. D. et al. Flood duration effects on soybean growth and yield. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, p.631-636, 1989.
- SLATYER, R. D. Factors affecting root permeability. In: **Plant water relationships.** 3. ed., New York: Academic Press, 1970. cap.7, p.204-210.
- STANLEY, C. D. et al. Soybean top and root response to temporary water tables imposed at three different stages of growth. **Agronomy Journal**, Madison, v.72, p.341-346, 1980.
- TEDESCO, M.J.; WOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** Porto Alegre: Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia UFRGS, 1985. 188p. (Boletim de Solos, 5)
- THYNN, M.; WERNER, D. A more rapid increase of alcohol dehydrogenase activity in seeding roots of *Vicia faba* L by addition of ethylene compared to anaerobiosis. **Annual Botany**, Baltimore, v.64, p.123-131, 1990.
- VAN'T WOUDT, B.D.; HAGAN, R.M. Crop responses at excessively high soil moisture levels. In: LUTHIN, J.N., **Drainage of agricultural lands.** Madison: McGraw Hill, 1957. v.7, cap.5, p.514-578.
- VANTOAI, T. T. et al. Genetic variability for flooding tolerance in soybeans. **Crop Science**, Madison, v.34, p.1112-1115, 1994.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece aos Eng. Agr. Dirceu Klepker e Sérgio Gindri Lopes pela colaboração prestada nos trabalhos de laboratório, envolvendo as determinações dos teores de nutrientes no tecido da planta e sugestões ao trabalho.