

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes



Dissertação

**COMPORTAMENTO DE CULTIVARES DE SOJA CULTIVADAS
EM SOLOS DE VÁRZEA SUBMETIDAS A PERÍODOS DE
EXCESSO HÍDRICO**

Dalcionei Pazzin

Pelotas, 2012.

DALCIONEI PAZZIN

**COMPORTAMENTO DE CULTIVARES DE SOJA CULTIVADAS EM SOLOS DE
VÁRZEA SUBMETIDAS A PERÍODOS DE EXCESSO HÍDRICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Dr. Luis Osmar Braga Schuch

Co-Orientador: Dr. Francisco de Jesus Verneti Junior

Pelotas, Janeiro de 2012.

Dados de catalogação na fonte:
(Marlene Cravo Castillo – CRB-10/744)

P348p Pazzin, Dalcionei

Comportamento de cultivares de soja cultivadas em solos de várzea submetidas a períodos de excesso hídrico / Dalcionei Pazzin ; orientador Luis Osmar Braga Schuch; co-orientador Francisco de Jesus Vernetti Junior - Pelotas, 2012. 44f. : il.- Dissertação (Mestrado) –Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel . Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2012.

1.*Glycine max* 2.Produtividade 3.Índice do teor de clorofila
4.Fenologia I.Schuch, Luis Osmar Braga(orientador) II.Título.

CDD 633.34

COMPORTAMENTO DE CULTIVARES DE SOJA CULTIVADAS EM SOLOS DE VÁRZEA SUBMETIDAS A PERÍODOS DE EXCESSO HÍDRICO

Autor:

Dalcionei Pazzin

Comitê de Orientação:

Prof. Dr. Luis Osmar Braga Schuch (Orientador)

Dr. Francisco de Jesus Verneti Júnior (Coorientador)

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Luis Osmar Braga Schuch (Presidente)

Prof. Dr. Edgar Ricardo Schöffel

Dr. Nilson Lemos de Menezes

Dr.^a Lilian Vanussa Madruga de Tunes

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Luis Osmar Braga Schuch pelo apoio, atenção e disponibilidade durante todo o período da realização dos trabalhos

Ao pesquisador da EMBRAPA Dr. Francisco de Jesus Verneti Júnior pelos ensinamentos, apoio, atenção durante a execução dos trabalhos.

Ao programa de pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes pela estrutura disponibilizada na realização dos trabalhos. Ao corpo docente pelos ensinamentos e conselhos. Aos funcionários pela sua dedicação e apoio

A EMBRAPA pela estrutura cedida para a realização dos trabalhos em campo.

Aos colegas de curso pelo companheirismo, convívio e troca de conhecimentos que de uma forma ou de outra colaboraram para a minha formação.

Aos estagiários Renato Crizel, Thiago Nunes, Tainan Almeida, Marcos Giovanas e Zamir Terres pela amizade, companheirismo e ajuda na condução do trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão da bolsa.

RESUMO

Comportamento de cultivares de soja cultivadas em solo de várzea submetidas a períodos de excesso hídrico

O cultivo da soja vem aumentando em regiões de solos de várzea, tradicionalmente áreas produtoras de arroz irrigado, sendo essas áreas sujeitas a eventuais condições de alagamento do solo. O excesso de água no solo durante o cultivo de soja pode prejudicar o desenvolvimento, a produção e a qualidade fisiológica de sementes. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do alagamento em solo de várzea, em diferentes períodos do cultivo sobre as características morfológicas, fisiológicas e produtividade de cultivares precoces de soja, além da qualidade das sementes produzidas. Foram utilizados cinco cultivares (IAS-5, BRS Macota, CD 221, BRS 255 RR e BMX Apolo RR) de soja sob condição de alagamento do solo um período de cinco dias em diferentes estádios, tanto no período vegetativo quanto no reprodutivo. O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Terras Baixas, da Embrapa Clima Temperado sediada no município do Capão do Leão, RS. As avaliações das sementes foram realizadas no Laboratório Didático de Análise de Sementes da Universidade Federal de Pelotas (UFPel). Durante o ciclo da cultura foram avaliados: altura de plantas, diâmetro da haste principal, índice do teor de clorofila (ITC), e produtividade de sementes. As características das sementes foram avaliadas pela qualidade fisiológica, peso de 1000 sementes e tamanho médio. As análises estatísticas para os experimentos foram realizadas através de análise de variância para verificar a significância dos efeitos principais e das interações. O teste de comparação de média utilizado foi Tukey a 5% de probabilidade. Foi constatado que a produtividade é afetada negativamente pelo alagamento do solo, e há cultivares que apresentam menor redução da produção. O peso de mil sementes é inferior quando as plantas sofrem estresse por excesso hídrico no estágio R5, com exceção da cultivar BMX Apolo RR. O alagamento provocou redução na altura de plantas, e diminuição no índice do teor de clorofila (ITC) nas folhas. O alagamento resultou em variação no ciclo da cultura da soja, podendo adiar ou antecipar a maturação dependendo da data em que ele ocorreu. O alagamento causa efeito negativo na qualidade fisiológica das sementes, variando de acordo com a época do encharcamento.

Palavras-chave: *Glycine max*. Produtividade. Índice do teor de clorofila. Fenologia.

ABSTRACT

Performance of soybean varieties cultivated in lowland soils subjected to periods of hidrical excess

Soybean cultivation has increased in regions of low lands, traditionally rice-producing areas, these areas being subject to any conditions of soil flooding. Excess water in the soil for the cultivation of soybean can impair the development, production and seed quality. The objective of this study was to evaluate the effect of flooding in lowland soils, at different times of cultivation on morphological, physiological and productivity of soybean varieties, as well as seed quality. We used five soybean cultivars (IAS-5, BRS Macota, CD 221, BRS 255 RR and BMX Apollo RR) under soil flooding conditions a period of five days at different stages, both in the growing season and in the reproductive tract. The experiment was conducted at the Experimental Station of the Lowlands, from Embrapa Clima Temperado headquartered in the Capão do Leão city, RS. Evaluations were made of the seeds in Didactic Laboratory Seed Analysis, of the Universidade Federal de Pelotas (UFPel). During the crop cycle were evaluated: plant height, main stem diameter, chlorophyll content index, and seed production. The characteristics of the seeds were evaluated for physiological quality, seed weight of 1000 and average size. Statistical analysis for the experiments were performed using analysis of variance to assess the significance of main effects and interactions. The comparison test of Tukey was used to average 5% probability. It was found that productivity is adversely affected by flooding the soil, and there are cultivars that have a lower reduction in output. The weight of thousand seeds is lower when plants suffer stress from excess water in the R5 stage, except the cultivar Apollo BMX RR. Flooding caused a reduction in plant height, and decrease in the chlorophyll content in the leaves. The flooding resulted in variation in the soybean crop cycle, and may postpone or advance depending on the maturity date on which it occurred. Flooding causes negative effect on the physiological quality of seeds, varying according to the time of flooding.

Keywords: *Glycine max*. Yield. Index of chlorophyll content. Phenology.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Parcela de soja no estágio V2 com lâmina de água de 5 cm de altura, na safra 2010/11. Capão do Leão, RS, 2011.10
- Figura 2 - Índice do teor de clorofila em cultivares de soja de ciclo precoce conduzidas sem e com alagamento por cinco dias no estágio V2 e com alagamento no estágio V2+R1 na safra 2010/11. Capão do Leão-RS, 2011.16
- Figura 3 - Sistema radicular da soja em estágio R2 após sofrer estresse por excesso hídrico por um período de cinco dias no estágio V2 (esquerda) e em condições normais de cultivo (direita), na safra 2010/11, Capão do Leão, RS, 2011.19
- Figura 4 – Retenção de sementes (%) de cinco cultivares de soja em peneiras de diferentes diâmetros, após sofrerem estresse por excesso hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento, na safra 2010/11. Capão do Leão-RS, 2011.....23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Precipitação pluvial (mm) ocorrida (OC) e desvio em relação à normal* (DN), durante o período de novembro de 2010 a março de 2011, na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão-RS, 2011	10
Tabela 2 - Diâmetro (mm) do caule de plantas de soja ao nível do solo, em condições normais de cultivo e encharcadas por um período de cinco dias no estágio V2, na safra 2010/11, Capão do Leão-RS, 2011.....	14
Tabela 3 - Altura de plantas (cm) de cinco cultivares de soja de ciclo precoce, submetidas ao encharcamento do solo por um período de cinco dias em diferentes estádios, na safra 2010/11. Capão do Leão-RS, 2011.....	17
Tabela 4 - Altura da inserção do primeiro legume (cm) de plantas de cinco cultivares de soja de ciclo precoce, submetidas ao encharcamento do solo por um período de cinco dias em diferentes estádios, na safra 2010/11. Capão do Leão-RS, 2011	17
Tabela 5 - Duração do ciclo (dias) de cinco cultivares de soja de ciclo precoce, submetidas ao encharcamento do solo por um período de cinco dias em diferentes estádios, na safra 2010/11. Capão do Leão-RS, 2011.....	18
Tabela 6 - Produtividade de sementes (kg ha ⁻¹) de cultivares de soja de ciclo precoce, submetidas ao encharcamento do solo por um período de cinco dias em diferentes estádios, na safra 2010/11. Capão do Leão-RS, 2011	21
Tabela 7 - Legumes por planta de cultivares de soja de ciclo precoce, submetidas ao encharcamento do solo por um período de cinco dias em diferentes estádios, na safra 2010/11. Capão do Leão-RS, 2011	21
Tabela 8 - Tamanho médio de sementes (mm) colhidas de cultivares de soja de ciclo precoce, submetidas ao encharcamento do solo por um período de cinco dias em diferentes estádios, na safra 2010/11. Capão do Leão-RS, 2011	22
Tabela 9 - Peso de mil sementes (g) de cultivares de soja de ciclo precoce, submetidas ao encharcamento do solo por um período de cinco dias em diferentes estádios, na safra 2010/11. Capão do Leão-RS, 2011.....	24
Tabela 10 - Germinação, envelhecimento acelerado e 1ª contagem da germinação de sementes produzidas de cultivares de soja de ciclo precoce, submetidas ao encharcamento do solo por um período de cinco dias em diferentes estádios, na safra 2010/11. Capão do Leão-RS, 2011	26

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1 - Avaliações realizadas em campo	11
3.2 – Avaliações para determinar a qualidade das sementes	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
5. CONCLUSÕES	27
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

1. INTRODUÇÃO

De acordo com estimativas da CONAB (2011), a produção de soja na safra de 2010/2011 foi de 75,32 milhões de toneladas, mantendo o ritmo de crescimento das últimas safras. Este volume foi 9,7% superior, ou seja, 6,64 milhões de toneladas acima da produção obtida na safra 2009/10, quando foram colhidas 68,69 milhões de toneladas.

A ascensão da cultura fez com que produtores de outras espécies iniciassem a produzir soja tanto em substituição as culturas tradicionais como também para rotação. No estado do Rio Grande do Sul o ecossistema de várzeas de clima temperado, tem como principal componente o cultivo de arroz e a criação extensiva de gado. Para o aumento da rentabilidade nestas áreas, tem-se buscado a diversificação do uso das várzeas através da rotação de culturas com o arroz irrigado, envolvendo espécies de sequeiro, principalmente a soja.

A soja atua como complemento da renda de produtores de arroz, pelo maior aproveitamento de áreas não utilizadas. Na metade sul do estado tem-se a facilidade de mecanização pelo relevo da região e a proximidade do porto de Rio Grande, o qual escoia grande parte da produção do estado, deste modo acarretando na diminuição de custos no frete, tanto para a exportação da soja quanto para a importação de insumos.

Porém, há uma série de limitações nessas áreas. Sendo como principais a baixa fertilidade dos solos, a deficiente drenagem natural, aliado ao relevo plano e às suas características físicas de alto adensamento. A condutividade hidráulica quase nula no horizonte B provocam acúmulo de água após períodos chuvosos.

A disponibilidade hídrica é uma variável que limita a expressão do potencial de rendimento da cultura de soja no Rio Grande do Sul, independentemente do ciclo da cultivar, da época de semeadura e do local. Todavia, há variabilidade entre regiões, existindo aquelas em que as magnitudes da perda do potencial de rendimento, por falta de água à cultura, são maiores. No entanto, em anos de ocorrência do fenômeno *El Niño*, a precipitação pluviométrica tende a ser acima do normal no estado do Rio Grande do Sul, o que vem a provocar em certos anos o excesso de água no solo.

O excesso hídrico no solo é prejudicial para a maioria das plantas terrestres, pois dificulta crescimento e pode resultar em morte prematura. Algumas espécies de plantas têm uma notável capacidade para suportar essas condições, e certas espécies podem até mesmo crescer vigorosamente em resposta à inundação, sendo que a tolerância ao encharcamento pode variar dentro da mesma (SERRES & VOESENEK, 2008). Assim, o entendimento da ecologia de plantas em ambientes propensos à inundações e da fisiologia dos aspectos de aclimação, são importantes, principalmente para a identificação de genótipos mais tolerantes.

A variabilidade genética resulta em respostas diferentes das plantas à inundação, incluindo alterações na arquitetura, no metabolismo, e no acúmulo de biomassa (MOMMER et al., 2006; SERRES & VOESENEK, 2008). O cultivo sob condições de alagamento requer estudos prévios de avaliação de cultivares que possuam capacidades diferenciadas de tolerância ao alagamento, buscando a obtenção de maiores rendimentos nesta condição.

As cultivares de soja que atualmente são recomendadas para o cultivo nesses solos não foram desenvolvidas para essas condições. Apenas tem uma melhor tolerância em relação aos demais genótipos. O que carece são pesquisas que tenham como foco a obtenção de cultivares com tolerância muito superior as que já estão disponíveis no mercado.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento de algumas características morfológicas e fisiológicas, componentes do rendimento e qualidade fisiológica de sementes em diferentes cultivares de soja, e como essas características variaram com estresse por excesso hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A produção de soja é fortemente afetada pelos estresses ambientais, podendo citar o aumento da concentração de ozônio (ASHMORE, 2005; MORGAN et al., 2006), incidência de raios ultravioleta B (KOTI et al., 2005), temperaturas elevadas (ORTIZ & CARDEMIL, 2001; STRAUSS et al., 2007), déficit hídrico (GUTIERREZ-GONZALEZ et al., 2010), e inundações (LINKEMER et al., 1998; WUEBKER et al., 2001).

Entre os estresses ambientais, a inundação transitória é um desastre natural freqüente na maioria das áreas do mundo, provocando hipoxia (baixa concentração de oxigênio) em solos com drenagem deficiente, o que vem a provocar redução de produtividade dos cultivos. Estes eventos de precipitação mais intensa são esperados como resultado do aquecimento global (KOMATSU et al., 2011).

No Brasil, estima-se que haja cerca de 28 milhões de hectares de solos sujeitos a alagamento (MAGALHÃES et al., 2005). Grande parte dessas áreas encontram-se na região dos Cerrados e outra parcela (6,8 milhões de ha) na região Sul do Brasil, sendo que cerca de 5,4 milhões de hectares estão no RS, as quais, grande parte poderiam ser incorporadas ao processo produtivo.

No estado do Rio Grande do Sul os solos de várzeas, onde predominam Planossolos, a drenagem é limitada pela presença de horizonte B impermeável e pela baixa condutividade hidráulica do horizonte superficial, além da topografia plana, que dificulta o escoamento superficial (DUTRA, 1995). Nessas condições facilmente são encontrados solos saturados e alagados.

Os níveis elevados de umidade do solo nas terras baixas do Estado do Rio Grande do Sul obrigam o uso de cultivares com características especiais de adaptação (GASTAL et al., 1998), de modo que sejam realizados estudos para identificação de cultivares mais tolerantes à condição de alagamento, possibilitando a indicação destes genótipos para o cultivo ou uso em programas de melhoramento genético.

Um solo é considerado alagado quando a fração de água disponível na camada superficial é pelo menos 20% maior do que a capacidade de campo ou se há uma lâmina de água em sua superfície (AGGARWAL et al., 2006). Quando um

solo fica encharcado, três tipos de zonas aeróbicas e anaeróbicas se formam: uma camada de água oxigenada, que consiste na parcela muito superior do solo; a rizosfera do solo (área de enraizamento das plantas) que se torna anaeróbia e, finalmente, o subsolo que é oxidada (área abaixo das raízes) (PONNAMPERUMA, 1972).

O encharcamento modifica a atmosfera do solo, pois promove deficiência de O_2 , acúmulo de CO_2 , metano, etileno, gás sulfídrico (H_2S), redução da respiração aeróbica. O crescimento das raízes paralisa-se em poucos minutos, com o limite de tolerância das raízes de soja em relação ao CO_2 , que é 20 % na atmosfera do solo (COSTA, 1996)

O encharcamento é um tipo de estresse com efeito primário, pela redução da difusão de gases através dos poros saturados de água (a difusão dos gases dissolvidos na água em relação ao ar é 10^4 vezes menor), o que leva a raiz a hipoxia (IRFAN et al., 2010). Por causa dessa barreira na difusão do gás, o nível celular de O_2 pode ser reduzido a concentrações que restringem a respiração aeróbia (GIBBS e GREENWAY, 2003; FUKAO e BAILEY-SERRES, 2004).

O estresse nas raízes sob inundação intensifica-se com o tempo, com a passagem de hipoxia para anoxia (ausência de oxigênio), e pela ação de toxinas produzidas por bactérias anaeróbicas do solo. Anoxia e toxinas podem matar as raízes, mas algumas das respostas iniciais à hipoxia e à ação do etileno permitem que as raízes evitem a anoxia e intoxicação caso a inundação persistir (JACKSON, 1985).

A inundação do solo induz a planta a múltiplos efeitos fisiológicos, como diminuição do crescimento das plantas, redução da captação de nutrientes e alteração da respiração (DAT et al., 2004). Com baixa concentração de oxigênio nas raízes, o nível de ATP é fortemente diminuído, a absorção de elementos minerais e o transporte de água das raízes para a parte aérea é reduzido, além da ocorrência de distúrbios hormonais (VARTAPETIAN & JACKSON, 1997).

As plantas de algumas espécies desenvolveram uma série de mecanismos de adaptação para lidar com a anaerobiose provocada pelo encharcamento. Estes mecanismos incluem adaptações metabólicas, tais como a indução de enzimas via

fermentação e modificações estruturais, como presença de aerênquima e formação de raízes adventícias (DREW, 1997).

A baixa condutividade hidráulica e as alterações das características do solo, tais como redução na aeração, levam a uma redução significativa na absorção de nutrientes. Estes problemas por sua vez, levam ao fechamento dos estômatos e declínio da fotossíntese, que são considerados estresses secundários, e aumentam com o prolongamento do alagamento (BLOOM & VOESENEK, 1996; COLMER & VOESENEK, 2009). A necessidade de produzir ATP e NADPH nas raízes anaerobicamente via glicólise e da fermentação etanólica provoca na planta uma "crise" energética e de carboidratos, reduzindo a capacidade de repor os açúcares gastos e reservas de amido, visto a inibição da fotossíntese (COLMER & VOESENEK, 2009).

O encharcamento induz a biossíntese de etileno (VRIEZEN et al., 1999; KOMATSU et al., 2009), o afrouxamento da parede celular (KOMATSU et al., 2011), e formação de aerênquima (SHIMAMURA et al., 2010) em plantas. Estes eventos são desencadeados pela privação de oxigênio, que funciona como o sinal principal da resposta da planta à inundação (JACKSON & COLMER, 2005).

Existem mecanismos adaptativos nas plantas para tolerar a deficiência de O_2 . O arroz tem a capacidade de transferir oxigênio da atmosfera para as raízes, através das folhas e do caule. Nas raízes, este é excretado na rizosfera, formando uma região de oxidação, e assim, reduzindo o efeito ou a disponibilidade de substâncias tóxicas (PIRES et al., 2002).

Da mesma forma, a soja tende a apresentar mecanismos adaptativos a condições de solo inundado, que lhe permitem sobreviver em condições com certa restrição de O_2 (BACANAMWO & PURCELL, 1999). De acordo com Bartlett & James (1993), a habilidade das plantas em tolerar condições com restrição de O_2 está ligada com a habilidade das raízes em oxidar a rizosfera por meio da transferência de O_2 da parte aérea.

Em um período de tempo relativamente curto, tem-se uma aclimação metabólica com a indução da produção das chamadas "proteínas de estresse anaeróbico", que incluem as enzimas da via glicolítica e fermentativa, o que pode ajudar as plantas a tolerar a hipoxia nas raízes (SAIRAM et al., 2008; IRFAN et al.,

2010). Já as adaptações ao estresse de longo prazo estão diretamente ligadas a mudanças morfológicas no sistema radicular, desenvolvimento de aerênquima e novas raízes adventícias que melhoram a troca de gases com o ambiente (GIBBERD, 2001).

O encharcamento prolongado inevitavelmente leva ao desenvolvimento de estresse oxidativo secundário tanto nas raízes quanto na parte aérea (SAIRAM et al., 2008). O entendimento destes mecanismos fisiológicos de tolerância à inundação é de importância para o desenvolvimento de genótipos tolerantes a essas condições.

A soja é suscetível ao excesso hídrico durante a germinação, crescimento vegetativo e início da fase reprodutiva (GITHIRI et al., 2006). Cultivares de soja existentes podem não se recuperar totalmente de uma lesão por excesso hídrico e os rendimentos de sementes serão substancialmente afetados. O estresse também afeta a expressão de numerosos genes em raízes, e no hipocótilo da plântula da soja (NANJO et al., 2011).

Ao avaliar a variabilidade das cultivares tolerantes às condições de alagamento, verifica-se certa plasticidade do metabolismo e no desenvolvimento, o que favorece a aclimação dos genótipos. Dessa forma, pode-se observar as distintas estratégias de adaptação a essas condições do ambiente, o que possibilita detectar traços de tolerância (SERRES & VOESENEK, 2008). Estes traços poderão ser utilizados em programas de melhoramento na identificação de cultivares mais tolerantes. Como por exemplo, a presença de raízes adventícias e alterações no metabolismo.

Atualmente, os estudos sobre respostas ao estresse em inundação em plântulas de soja têm demonstrado que provocam uma redução no crescimento das plantas, especialmente no alongamento radicular, e inibe a pigmentação do hipocótilo (SHI et al., 2008; HASHIGUCHI et al., 2009). As plantas de soja são afetadas em condições anaeróbicas, principalmente quando as concentrações de CO₂ no solo são elevadas (BORU et al., 2003).

Efeitos da inundação do solo sobre plantas de soja foram observados por Pires et al. (2002) que constataram mudanças anatômicas adaptativas à esse ambiente. A formação de rachaduras no caule na região submersa poucas horas

após a inundação, alargamento e formação de uma região esponjosa na base do caule, surgimento de raízes adventícias, morte da raiz principal, e formação de aerênquimas foram algumas das modificações constatadas pelos autores.

Trabalhando com dez cultivares de soja, Rosa et al. (2007), observaram reduções significativas da massa seca de raiz e de folhas com tratamento de inundação. Severo et al. (2007) observaram que a inundação afetou negativamente sete das dez cultivares para a variável área foliar, enquanto que nove cultivares sofreram efeito negativo do alagamento para a variável massa seca de parte aérea, sendo que o volume do sistema radicular foi afetado negativamente em todas as cultivares.

Os componentes de rendimento da soja são fortemente afetados pelo excesso hídrico, se comportando diferentemente de acordo com a época que o mesmo ocorreu (SCHÖFFEL, 2001). Trabalhando com diferentes cultivares de soja, colocadas sob alagamento em diferentes estádios fenológicos por diferentes períodos de tempo Scott et al. (1989) observaram que ocorreu resposta diferenciada entre cultivares para altura do dossel das plantas, em função do estágio fenológico e do período de inundação. Também Cho & Yamakawa (2006) observaram redução da estatura de plantas quando estas são expostas ao alagamento.

Em estudos com 21 variedades de soja, tanto em campo quanto em casa de vegetação, Van Toai et al. (2010) utilizaram como critério para teste de tolerância à inundação o crescimento das plantas, sendo que as cultivares mais tolerantes tem uma maior sobrevivência, maior altura de plantas, mais vagens por planta além de sementes mais pesadas.

Além dos efeitos diretos causados pelo alagamento, que provocam redução na produção, os indiretos, como a formação de um micro clima mais úmido próximo a superfície do solo podem afetar a qualidade de sementes. Ludwig (2010) ao testar o efeito do encharcamento do solo em diferentes estádios de desenvolvimento de 26 cultivares de soja verificou redução na qualidade fisiológica das sementes produzidas. Santos et al. (1989) observaram redução nos teores de amido, proteínas, carboidratos e aminoácidos solúveis e na atividade da fosfatase ácida quando as plantas permaneceram sob lâmina de água.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Estação Experimental de Terras Baixas, da Embrapa Clima Temperado, localizada no Município de Capão do Leão, RS (31°48'56"S, 52°27'52"W), em um Planossolo Háplico Eutrófico solódico com textura franco-arenosa, de pouca profundidade (20 a 40 cm), e horizonte B impermeável, durante a safra 2010/2011.

Cinco cultivares de soja de ciclo precoce foram submetidas a estresse por excesso hídrico em condições de campo, sendo elas: IAS-5, BRS Macota, CD 221, BRS 255 RR e BMX Apolo RR. Foram utilizadas cultivares de ciclo precoce, pela maior dificuldade que elas apresentam em se recuperar de qualquer tipo de estresse a que for submetida, além de que produtores vem buscando essas cultivares de modo a poderem antecipar a colheita, fugindo das chuvas freqüentes nesse período.

A cultivar IAS-5, não é resistente ao herbicida Roundup. Apresenta: hipocótilo verde; flor branca; pubescência cinza; vagem cinza; sementes amarelas; hilo camurça; hábito de crescimento determinado; ciclo de 115 dias; altura de planta de 70 cm; altura da primeira inserção de vagem de 12 cm; peso de mil sementes em torno de 160 g. A BRS Macota é uma cultivar de soja convencional de crescimento indeterminado, com bom potencial de rendimento e com boa resistência ao acamamento. É resistente à pústula bacteriana, podridão parda da haste, cancro da haste, mancha "olho-de-rã" e resistência a nematóide de galhas. A cor da flor é roxa, da pubescência é cinza e do hilo é preto imperfeito, o peso de mil sementes fica em torno de 150 g. A cultivar CD 221 apresenta: hábito de crescimento determinado; grupo de maturidade 6.4; a cor da flor é branca, do hilo marrom claro, da pubescência cinza; ciclo em torno de 130 dias; peso de mil sementes de 160 g. A cultivar BRS 255 RR tem hábito de crescimento determinado, com uma altura de 75 cm, a cor da flor é branca, da pubescência marrom e do hilo preta. Tem um peso de mil sementes de 160 g. A BMX Apolo RR é a que apresenta maior precocidade dentre as cultivares do trabalho, e do grupo de maturação 5.5, apresentando hábito de crescimento indeterminado, com peso de mil sementes de 168g. A cor da flor é branca, do hilo é amarela e da pubescência cinza.

Os tratamentos consistiram em alagamentos no período vegetativo, quando as plantas encontravam-se no estágio V2 e alagamento no período reprodutivo, quando as plantas encontravam-se nos estádios R1 e R5, bem como todas as combinações possíveis desses períodos de alagamento, totalizando sete tratamentos, mais o tratamento considerado como testemunha em que as plantas não sofreram alagamento. Os tratamentos foram denominados da seguinte forma: tratamento 1- condição normal de cultivo (sem alagamento); tratamento 2- alagamento em V2; tratamento 3- alagamento em R1; tratamento 4- alagamento em R5; tratamento 5- alagamento em V2 e R1; tratamento 6- alagamento em V2 e R5; tratamento 7- alagamento em R1 e R5 e tratamento 8- alagamento em V2, R1 e R5. O alagamento ocorreu no dia 11 de dezembro para o estágio V2, no dia 20 de janeiro para o estágio R1 e no dia 1º de março para o estágio R5.

A descrição dos estádios de desenvolvimento foi baseada na escala de Fehr & Caviness (1977), onde V2 (segundo nó) é considerado quando a primeira folha trifoliolada está completamente desenvolvida, R1 (florescimento) quando uma flor está aberta em qualquer nó do caule (haste principal), e R5 (início do enchimento do grão) quando o grão apresenta 3 mm de comprimento na vagem num dos quatro últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida.

Para permitir a permanência de água na parcela principal, foram construídas taipas ao seu redor, de modo que fosse mantida uma lâmina de cinco centímetros de altura (Figura 1), por um período de cinco dias, visto que um alagamento por um período mais prolongado provocaria reduções muito drásticas no rendimento das plantas, conforme observado por Ludwig (2010) ao manter uma lâmina de água por um período de oito dias. Já Boru et al. (2003), verificou efeitos negativos nas plantas já a partir do terceiro dia após o início do estresse hídrico.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas principais foram dispostos os manejos de água e nas subparcelas as cultivares. As subparcelas foram compostas de quatro linhas de cinco metros de comprimento, espaçadas em 0,50 metro; a área útil foi constituída das duas linhas centrais, eliminando-se 0,50 metro de cada extremidade, perfazendo o total de 4,0 metros quadrados. A densidade de semeadura adotada foi de 300 mil plantas por hectare.



Figura 1 - Parcela de soja no estágio V2 com lâmina de água de 5 cm de altura, na safra 2010/11. Capão do Leão, RS, 2011.

Após sofrerem o período de alagamento a área foi drenada e as parcelas permaneceram sob condições normais de cultivo até a colheita. Depois de drenadas, dependendo das condições ambientais as parcelas ainda permaneciam com o solo saturado por um período de 24 à 48 horas. Na área foi instalado pluviômetro para a verificação da ocorrência de chuvas (Tabela 1).

Tabela 1 - Precipitação pluvial (mm) ocorrida (OC) e desvio em relação à normal* (DN), durante o período de novembro de 2010 a março de 2011, na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão-RS, 2011

Mês	1º decêndio		2º decêndio		3º decêndio		Mensal	
	OC	DN	OC	DN	OC	DN	OC	DN
Nov.	0	-34	20	-15,3	7,6	-22,6	27,6	-71,9
Dez.	22,5	-8,3	29	-9,3	16	-18	67,5	-35,7
Jan.	20	-10,9	18,5	-20,2	20,5	-29	59	-60,1
Fev.	82,5	25,9	2,5	-59,4	23,75	-11,05	108,75	-44,55
Mar.	0	-33,6	130	102,3	79,25	43,15	209,25	111,85

*Dados da normal obtidos na Estação Agroclimatológica de Pelotas (1971-2000). Convênio EMBRAPA/UFPEL/INMET.

A adubação foi quantificada a partir de análise de solo. A adubação utilizada foi de 300 kg ha⁻¹ de adubo com formulação NPK 5-20-20. Para a inoculação das sementes, foi utilizado o produto "Nitralgín Cell Tech" com as estirpes Semia 5079 e Semia 5080. O experimento foi semeado no dia 14 de novembro, dentro da época recomendada para a cultura da soja na região.

O controle de plantas daninhas foi realizado com aplicação do herbicida *Dual Gold* (S-Metolaclopro 96%) na dosagem de 1,7 L ha⁻¹ do produto comercial. A aplicação foi realizada 10 dias após a emergência da soja. As plantas também apresentaram incidência da lagarta-da-soja (*Anticarsia gemmatilis*), o nível de dano ocorreu no estágio R1, o controle foi realizado com a aplicação do inseticida Lannate BR (Metomil 21,5%) na dosagem de 0,5 L ha⁻¹ do produto comercial. Para o manejo de doenças foi realizada a aplicação de Piori Xtra (Azoxystrobin 20% + Cyproconazole 8%) de forma no estágio R1 e no estágio R5.

Para a análise estatística foi utilizado o programa SAS (1985). Realizou-se a análise da variância e teste de hipóteses para verificar a significância dos efeitos principais e das interações. Para a comparação de médias foi utilizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

3.1 - Avaliações realizadas em campo

Mortalidade de plantas: Avaliado a partir da contagem de plantas vivas presentes na área útil da parcela, antes da entrada de água e cinco dias após a retirada da lâmina de água. Obteve-se o percentual de mortalidade pela diferença entre as duas contagens.

Duração do ciclo: Avaliação do intervalo de dias entre a emergência e a maturação (VE à R8). Realizada através de vistoria nas parcelas a cada dois dias, considerando a maturação quando as plantas apresentaram 95% dos legumes secos, de acordo com a escala de Fehr & Caviness (1977).

Diâmetro da haste principal: a medida foi obtida com paquímetro, realizada ao nível do solo, antes da entrada da água e três vezes após a drenagem da parcela a cada sete dias, sendo realizado em 10 plantas da área útil da parcela.

Altura de plantas: a medida foi realizada com régua por ocasião da colheita das plantas, medindo-se do solo até a inserção do último legume no ápice.

Altura de inserção de legume: a medida foi realizada com régua de madeira por ocasião da colheita das plantas, medindo-se a distância do solo até a inserção do primeiro legume.

Índice do teor de clorofila (ITC): o índice do teor de clorofila (ITC) foi medido com o aparelho “CCM-200 Chlorophyll Meter” que utiliza a absorbância para estimar o teor de clorofila no tecido foliar. O aparelho mede a absorção de comprimentos de onda e calcula um índice de clorofila, no entanto os valores absolutos da clorofila por área não são apresentados pelo aparelho (OPTI-SCIENCES, 2003). Segundo Biber (2007) há uma correlação positiva de 90% da medida do ITC obtida pelo referido aparelho com o teor de clorofila “a” extraído com acetona. A relação da medida no aparelho se correlaciona com a obtida por espectroradiômetro em 98% (APOGEE, 2006). Os índices foram obtidos em 10 plantas da área útil de cada parcela, realizando uma leitura em cada lado da nervura central da quarta folha totalmente expandida contada a partir do ápice. A primeira leitura foi realizada no dia do alagamento, cinco dias após a retirada da água (10 dias após a primeira), foram realizadas mais três leituras com intervalos de sete dias entre elas.

Produtividade: Determinado pela colheita das sementes da área útil das parcelas, corrigindo-se para 13% de umidade e transformando-se para kg ha^{-1} .

3.2 – Avaliações para determinar a qualidade das sementes

Para determinar a qualidade fisiológica das sementes foram realizados os testes de germinação e vigor, sendo este através da primeira contagem da germinação, pelo envelhecimento acelerado e emergência em campo. Também foi realizado teste para a determinação do tamanho médio das sementes.

Teste de germinação: Utilizaram-se 200 sementes por tratamento, divididas em quatro repetições de 50 em rolo de papel germitest umedecido com água. Os rolos foram levados ao germinador à temperatura de 25°C por oito dias, quando foi

realizada a avaliação final. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas de acordo com as Regras de Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009).

Primeira contagem da germinação: realizado conjuntamente ao teste de germinação, sendo a contagem das plântulas normais executada aos cinco dias após início do teste. Os resultados estão expressos em porcentagem de plântulas normais.

Envelhecimento acelerado: foram analisadas 200 sementes, divididas em quatro repetições de 50, utilizando-se o método de gerbox adaptado. As sementes foram espalhadas em camada única sobre uma tela suspensa dentro de caixas de gerbox, contendo 40 mL de água. Posteriormente essas caixas permaneceram em câmara BOD por 48h, a 41°C, de acordo com Marcos Filho et al., 2000. Após este período as sementes foram colocadas para germinar conforme metodologia descrita para o teste de germinação (BRASIL, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

Emergência em campo: para esta determinação, foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes para cada unidade experimental, sendo a avaliação realizada aos 14 dias após a semeadura, conforme recomendação de Tillmann & Miranda (2006).

Tamanho médio de sementes: para cada parcela foram tomadas, duas amostras de 200g que foram colocadas em uma sequência de peneiras de furos redondos, sobrepostas em ordem decrescente de diâmetro, tendo a primeira 8mm, decrescendo 0,5mm em cada peneira até a última com 4,5mm. Foi feita a pesagem e o percentual de retenção de sementes em cada peneira. O tamanho médio de cada tratamento foi obtido pela média ponderada das sementes retidas em cada peneira.

Peso de 1000 sementes: para a determinação, foram tomadas oito repetições contendo cada uma 100 sementes pesadas em balança analítica. Posteriormente, todas as amostras foram transformadas para teor de água de 13%, determinando-se o peso de 1000 sementes, de acordo com o indicado nas RAS (BRASIL, 2009).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O encharcamento do solo no estágio V2 afetou o diâmetro do caule das plantas, provocando um engrossamento do caule no nível do solo. Após 10 dias da entrada da água (que permaneceu por cinco dias) o diâmetro médio foi de 4,35mm, que foi 11,8% superior as plantas mantidas em condições normais de cultivo, que apresentaram um diâmetro médio de 3,89mm (Tabela 2). Ludwig, (2010) verificou um aumento médio de 12,5% no diâmetro do caule das cultivares submetidas ao tratamento inundado. Este comportamento provavelmente está relacionado com desenvolvimento de estruturas adaptativas ou mecanismos morfológicos de tolerância, como formação de vias alternativas para aumentar a aeração do sistema radicular (VARTAPETIAN & JACKSON, 1997).

O comportamento das cultivares foi semelhante em relação diâmetro do caule, não apresentando variações significativas, bem como a interação cultivar x tratamento. Após o 17º dia da entrada da água e testemunha apresentou maior diâmetro, visto que as plantas que sofreram encharcamento tiveram um menor crescimento.

Este engrossamento está associado com a formação de aerênquima, e a formação de raízes adventícias, as quais facilitam as trocas gasosas com o ambiente. De certa forma existe uma relação entre o aumento de diâmetro do caule e a tolerância ao alagamento do solo (PIRES et al., 2002; CORREA, et al., 2008).

Tabela 2 - Diâmetro (mm) do caule de plantas de soja ao nível do solo, em condições normais de cultivo e encharcadas por um período de cinco dias no estágio V2, na safra 2010/11, Capão do Leão-RS, 2011

Tratamento	-----Dias após a entrada da água-----			
	0	10	17	24
Testemunha	3,08	3,89 B	5,06 A	6,04 A
Encharcada	-	4,35 A	4,58 B	5,22 B

*Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Dias após estresse por excesso hídrico tem-se início a redução nos teores de clorofila na folha (Figura 2). Uma das consequências do alagamento do solo é a

diminuição da concentração de clorofila (LADYGIN, 2004). Um dos fatores ligados à eficiência fotossintética de plantas e consequentemente ao crescimento e adaptabilidade a diversos ambientes é a clorofila (ENGEL & POGGIANI, 1991). O teor de clorofila pode ser utilizado como medida do nível de adaptação das plantas em ambiente adverso, porém nas análises realizadas o comportamento de todas as cultivares foi semelhante.

Freqüentemente o teor foliar de clorofila está associado ao conteúdo de N, que pode ser influenciado por condições ambientais que restringem a fixação de N_2 , como a hipoxia. As plantas no estágio V2 ao sofrerem um estresse por excesso hídrico têm uma grande redução nos teores de clorofila, sendo que somente são restabelecidos aos teores normais cerca de 45 dias após o estresse, momento em que a planta já se encontra em período reprodutivo (Figura 2). Thomas (2004) observou que os teores de clorofila em soja foram reduzidos aos 7, 13 e 21 dias de inundação.

Visualmente foi possível verificar uma leve descoloração das folhas. Em trabalhos com ervilha Ladygin (2004) constatou que quando as plantas passaram por períodos de hipoxia radicular, as folhas apresentaram uma coloração amarela à quase branca, resultado da pequena quantidade dos pigmentos contidos nos cloroplastos, isso acarretando uma baixa taxa fotossintética. A redução no acúmulo foliar de clorofila e atividade fotossintética baixa promovem a formação de clorose.

O tratamento que recebeu novamente excesso hídrico no estágio R1, os teores de clorofila voltaram a cair, voltando aos níveis normais somente nos estádios finais da cultura, passando pela formação e grande parte do enchimento de grãos com déficit de clorofila nas folhas, o que vem a prejudicar o desempenho das plantas. O comportamento de todas as cultivares foi semelhante em relação aos teores de clorofila, não apresentando variações significativas, bem como a interação cultivar x tratamento. De acordo com Vantoai & Nurjani (1996) existe correlação entre clorose nas folhas e suscetibilidade a alagamento, sendo ela ocasionada pela redução da concentração de clorofila na folha.

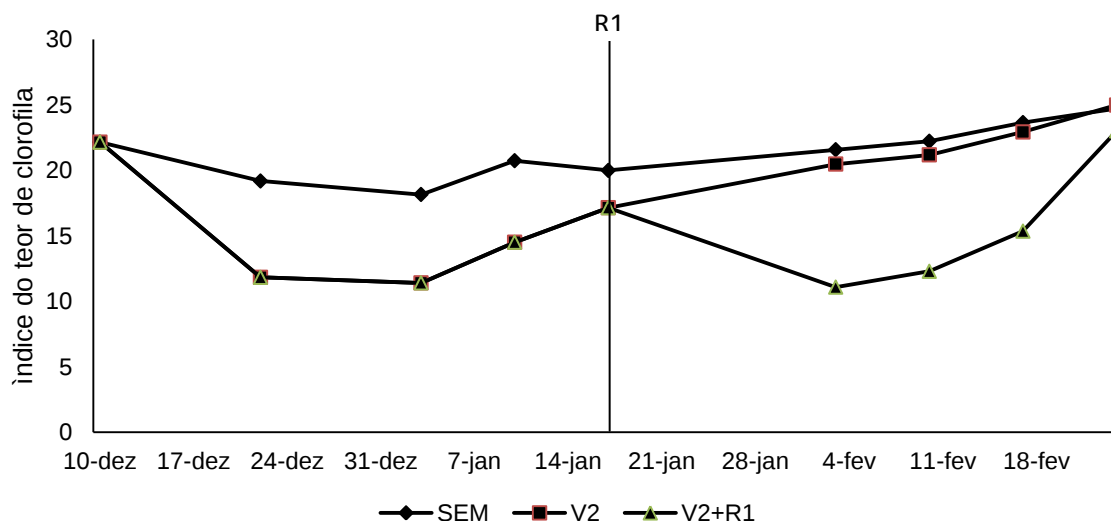


Figura 2 - Índice do teor de clorofila em cultivares de soja de ciclo precoce conduzidas sem e com alagamento por cinco dias no estágio V2 e com alagamento no estágio V2+R1 na safra 2010/11. Capão do Leão-RS, 2011.

O excesso de água no solo pode causar redução na altura de plantas de até 49%, como ocorreu com a cultivar BRS Macota (Tabela 3) ao ser submetida à estresse em três momentos (V2+R1+R5). A cultivar BMX Apolo RR apresenta a menor altura de plantas das estudadas, sendo que o encharcamento do solo somente causou redução quando comparados com a testemunha nos tratamentos V2+R1 e V2+R1+R5. As plantas apresentaram crescimento reduzido após o enchimento de grãos. Não foi verificada redução na altura de plantas de nenhuma cultivar quando o estresse hídrico foi realizado no estágio R5.

O alagamento do solo no período vegetativo provocou redução na altura para todas as cultivares, com exceção da BMX Apolo RR. De acordo com Scott et al. (1989), quando o estresse por alagamento ocorre no subperíodo vegetativo, o crescimento das plantas é mais afetado, ao passo que quando este acontece no reprodutivo afeta mais o rendimento de grãos.

Tabela 3 - Altura de plantas (cm) de cinco cultivares de soja de ciclo precoce, submetidas ao encharcamento do solo por um período de cinco dias em diferentes estádios, na safra 2010/11. Capão do Leão-RS, 2011

Tratamento	BMX Apolo RR	BRS 255 RR	CD 221	IAS-5	BRS Macota
Testemunha	51,2 Ab	65,1 Aa	68,0 Aa	62,1 Aa	69,3 Aa
V2	42,4 ABCa	50,8 Ba	47,9 Ba	42,2 Ba	45,9 Ba
R5	50,9 Ac	62,9 Aab	66,3 Aa	57,1 Abc	60,1 Aab
V2+R5	46,0 ABa	46,6 BCa	47,8 Ba	43,3 Ba	48,3 Ba
V2+R1	39,1 BCa	41,5 BCa	47,6 Ba	42,6 Ba	41,7 BCa
V2+R1+R5	36,3 Cab	39,3 Cab	44,4 Ba	39,6 Bab	35,3 Cb
C.V. (%)	9,16				

*Médias seguidas por mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com exceção da cultivar BMX Apolo RR, todas as cultivares apresentaram redução na altura de inserção do primeiro legume quando sofreram alagamento somente no estágio V2 (Tabela 4). Porém quando tiveram novo estresse no estágio R1 (V2+R1) a altura de inserção não diferiu da testemunha, visto que o encharcamento neste estágio provocou o abortamento de flores da parte inferior da planta.

Tabela 4 - Altura da inserção do primeiro legume (cm) de plantas de cinco cultivares de soja de ciclo precoce, submetidas ao encharcamento do solo por um período de cinco dias em diferentes estádios, na safra 2010/11. Capão do Leão-RS, 2011

Tratamento	BMX Apolo RR	BRS 255 RR	CD 221	IAS-5	BRS Macota
Testemunha	7,7 Ab	13,1 Aa	11,5 ABa	13,1 Aa	11,9 Aa
V2	6,6 Aa	7,9 Ba	6,2 Ca	6,1 Ca	6,6 Ba
R5	9,8 Aa	13,4 Aa	13,0 Aa	11,0 ABa	10,3 ABa
V2+R5	9,1 Aa	8,4 Ba	7,8 BCa	8,1 BCa	9,3 ABa
V2+R1	9,8 Aa	13,0 Aa	13,0 Aa	13,2 Aa	10,8 Aa
V2+R1+R5	7,4 Aa	8,4 Ba	10,5 ABa	10,1 ABa	9,9 ABa
C.V. (%)	19,24				

*Médias seguidas por mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As alterações no ciclo da cultura variaram de acordo com a época do estresse hídrico (Tabela 5). Quando ocorreu no estágio V2+R1 retardou a maturação em até seis dias em relação à testemunha, como no caso da cultivar BRS 255 RR. Já quando o estresse ocorre no estágio R5 antecipa a maturação em sete dias, como no caso da cultivar BRS Macota. As alterações na fenologia da cultura podem ser explicadas pelas mudanças na atividade hormonal, pois com o alagamento ocorrem alterações como forma de aumentar a tolerância das plantas às condições de estresse (SERRES & VOESENEK, 2008).

Tabela 5 - Duração do ciclo (dias) de cinco cultivares de soja de ciclo precoce, submetidas ao encharcamento do solo por um período de cinco dias em diferentes estádios, na safra 2010/11. Capão do Leão-RS, 2011

Tratamento	BMX Apolo RR	BRS 255	CD 221	IAS-5	BRS Macota	Média
Testemunha	122 BC	132 BC	130 B	132 BC	133 B	129 CD
V2	125 AB	135 AB	136 A	136 AB	135 AB	133 AB
R5	119 C	125 D	125 C	127 D	120 D	123 E
V2+R5	122 BC	129 CD	128 BC	131 C	127 C	127 D
V2+R1	127 A	138 A	135 A	137 A	137 A	135 A
V2+R1+R5	123 B	133 B	135 A	133 BC	134 AB	131 BC
C.V. (%)	2,17					

*Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Destaca-se a importância do planejamento da lavoura para evitar congestionamento de atividades em um único período, principalmente a aplicação de agrotóxicos e colheita, visto que certas cultivares como a BRS Macota a variação na data de maturação pode chegar a 17 dias, diferença observada entre os tratamentos V2+R1 e R5 (Tabela 5). Deste modo em áreas com possibilidade de alagamento do solo é importante o planejamento levando em conta as alterações no ciclo, de modo a evitar problemas no manejo da cultura, e reduzir perdas principalmente no momento da colheita.

A produtividade média obtida pelas testemunhas do experimento (condições normais de cultivo) foi de 1.718 kg ha⁻¹ (Tabela 6), muito inferior a média do estado RS na safra 2010/2011 que foi de 2.845 kg ha⁻¹. A produtividade no estado foi 10,7% superior à safra anterior (CONAB, 2011). Este aumento de produtividade registrada se deve principalmente a uma melhor distribuição de chuvas nas principais regiões

produtoras (Noroeste e Norte). Na região sul foi observado precipitação mensal abaixo da média histórica em praticamente todos os meses do ciclo da cultura, conforme dados coletados na área experimental (Tabela 1).

A produtividade das cultivares foi afetada diferentemente com o encharcamento do solo nos diferentes estádios de desenvolvimento, sendo que o encharcamento do solo no estágio R1 provocou mortalidade de plantas superior a 80%, não apresentando produção de sementes, deste modo não foram colhidas as parcelas dos tratamentos R1 e R1+R5. Porém os tratamentos que já haviam recebido lâmina de água no subperíodo vegetativo (tratamento V2+R1 e V2+R1+R5) apresentaram uma mortalidade de plantas em torno de 20% e mantiveram certo rendimento, embora muito inferior quando comparados à testemunha.

A menor mortalidade de plantas no estágio R1 quando já haviam sofrido encharcamento no estágio V2, pode ser explicada por um sistema radicular mais superficial (Figura 3), o qual promoveu trocas gasosas, facilitando a respiração das raízes.



Figura 3 - Sistema radicular da soja em estágio R2 após sofrer estresse por excesso hídrico por um período de cinco dias no estágio V2 (esquerda) e em condições normais de cultivo (direita), na safra 2010/11, Capão do Leão, RS, 2011.

Ludwig (2010), Schoffel et al. (2001), Griffin & Saxton (1988) haviam observado menor tolerância à saturação hídrica do solo no período reprodutivo, e até mesmo grande mortalidade de plantas. A permanência de água nas parcelas no tratamento R1 (20 de jan à 25 de jan) foi sucedida por dias chuvosos (Tabela 1), principalmente no primeiro decêndio de fevereiro. Esta precipitação pluviométrica pode ter mantido o solo próximo a saturação por um período de tempo maior.

Com alagamento somente no estágio R5, em comparação com a testemunha somente a cultivar BRS Macota apresentou redução significativa na produtividade, o mesmo ocorrendo quando foi submetida ao encharcamento no estágio vegetativo V2. A redução em relação à testemunha de cada tratamento foi respectivamente de 53,9% e 43,6%. Já a cultivar BMX Apolo RR o tratamento V2 obteve redução significativa somente quando comparado com R5. Dentre as cultivares testadas, a BRS Macota mostrou-se a mais suscetível em relação à produtividade. Ludwig (2010), já havia verificado a suscetibilidade desta cultivar ao excesso hídrico no solo.

Dentre os tratamentos testemunha a cultivar BMX Apolo RR foi a que apresentou menor produtividade, não diferindo apenas da cultivar CD 221. Visto que a mesma apresenta ciclo superprecoce e não é recomendada para a região, apesar de ser cultivada por alguns produtores.

Reduções de 25% na produtividade de grãos foram observadas em função do alagamento (VAN TOAI et al., 1994). A diversidade genética entre as cultivares resulta em diferentes respostas das plantas à inundação, incluindo alterações na arquitetura, no metabolismo, e no crescimento (SERRES & VOESENEK, 2008; MOMMER et al., 2006).

As cultivares BMX Apolo RR e CD 221 podem ser consideradas as mais tolerantes, visto que foram as únicas a não apresentar diferenças na produtividade em relação à testemunha quando sofreram alagamento nos estádios V2+R5 (Tabela 6). Verneti et al. (2010) trabalhando com 14 cultivares de ciclo precoce, listou quatro cultivares com maior tolerância ao excesso hídrico, estando as cultivares CD 221 e BMX Apolo RR em segundo e quarto lugar, respectivamente.

Tabela 6 - Produtividade de sementes (kg ha⁻¹) de cultivares de soja de ciclo precoce, submetidas ao encharcamento do solo por um período de cinco dias em diferentes estádios, na safra 2010/11. Capão do Leão-RS, 2011

Tratamento	BMX Apolo RR	BRS 255 RR	CD 221	IAS-5	BRS Macota
Testemunha	1.104 ABCb	1.804 Aa	1.487 ABab	2.067 Aa	2.129 Aa
V2	1.024 BCb	1.500 Aab	1.098 ABCab	1.705 Aa	1.200 Bab
R5	1.788 Aa	1.111 ABb	1.612 Aab	1.643 Aab	980 BCb
V2+R5	1.264 ABa	500 BCb	879 BCab	906 Bab	725 CDab
V2+R1	498 Ca	269 Ca	535 Ca	490 Ba	330 CDa
V2+R1+R5	538 Ca	262 Ca	506 Ca	492 Ba	197 Da
C.V. (%)	31,0				

*Médias seguidas por mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As reduções mais drásticas na produtividade foram observadas nos tratamentos V2+R1 e V2+R1+R5, que podem ser explicada pela mortalidade de plantas (em torno de 20%). Estes dois tratamentos também tiveram uma redução do número de legumes por planta (Tabela 7), que foi significativa para a maioria das cultivares. Dos componentes de rendimento o número de legumes é mais sensível ao alagamento, dependendo muito da fixação de N₂ que, por sua vez, depende da presença de O₂ (BACANAMWO & PURCELL, 1999).

Tabela 7 - Legumes por planta de cultivares de soja de ciclo precoce, submetidas ao encharcamento do solo por um período de cinco dias em diferentes estádios, na safra 2010/11. Capão do Leão-RS, 2011

Tratamento	BMX Apolo RR	BRS 255 RR	CD 221	IAS-5	BRS Macota
Testemunha	22,5 ABa	28,2 Aa	25,3 ABa	31,2 Aa	29,9 Aa
V2	23,1 ABa	25,5 ABa	23,8 ABCa	31,2 Aa	32,25 Aa
R5	27,2 Aab	20,2 ABCb	27,15 Aab	27,5 Aab	31,15 Aa
V2+R5	28,8 Aa	20,4 ABCa	19,0 ABCa	20,4 ABa	22,7 ABa
V2+R1	11,0 Ca	17,0 BCa	15,5 BCa	13,9 Ba	17,2 Ba
V2+R1+R5	13,1 BCa	11,3 Ca	14,2 Ca	12,5 Ba	12,9 Ba
C.V. (%)	24,17				

*Médias seguidas por mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O teste F para o número de legumes não foi significativo para as cultivares nem para a interação cultivares x tratamentos, visto o elevado coeficiente de variação observado para esta variável. Apesar de ter ocorrido uma mortalidade de 20 % de plantas nos tratamentos V2+R1 e V2+R1+R5, as plantas não compensaram com aumento no número de legumes, pelo contrario, ocorreu redução o que pode ser explicado pelo abortamento floral, consequência do ambiente úmido.

As únicas cultivares em que o encharcamento não causou redução no tamanho médio das sementes foram a BMX Apolo RR e a BRS Macota (Tabela 8). As cultivares BRS 255 RR e IAS-5 quando sofreram estresse hídrico somente no estágio R5 a redução no tamanho médio das sementes em relação à testemunha chegou a 0,5 mm. Essa redução no tamanho das sementes pode ser explicado pela aceleração na maturação das plantas, o que veio a afetar o enchimento das mesmas. Colmer & Voesenek (2009) afirmam que o encharcamento provoca uma crise energética na planta, provocada pelo fechamento estomático, o que se reflete no acúmulo de açúcares e amido nas sementes.

Tabela 8 - Tamanho médio de sementes (mm) colhidas de cultivares de soja de ciclo precoce, submetidas ao encharcamento do solo por um período de cinco dias em diferentes estádios, na safra 2010/11. Capão do Leão-RS, 2011

Tratamento	BMX Apolo RR	BRS 255 RR	CD 221	IAS-5	BRS Macota
Testemunha	5,6 Ac	6,2 Aa	5,9 ABCb	6,4 Aa	5,6 Ac
V2	5,6 Ac	6,2 Aab	6,0 Ab	6,4 Aa	5,6 Ac
R5	5,7 Aa	5,7 Ba	5,8 Bca	5,8 Ba	5,1 Bb
V2+R5	5,6 Ab	5,6 Bb	5,4 Dbc	6,0 Ba	5,2 Bc
V2+R1	5,7 Ac	6,3 Aab	6,1 Ab	6,5 Aa	5,8 Ac
V2+R1+R5	5,6 Ac	6,1 Aa	5,7 CDbc	5,9 Bab	5,6 Ac
C.V. (%)	3,43				

*Médias seguidas por mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A redução da produção de grãos em função do excesso hídrico foi relacionada por Cho & Yamakawa (2006) à redução no número de legumes e de grãos nas plantas, porém os autores não observaram efeito do tamanho das sementes na produtividade, visto que as plantas de soja tendem a compensar o

menor número de legumes no tamanho das sementes produzidas. As cultivares IAS-5 e BRS 255 RR foram as que apresentaram maior retenção de sementes na peneira de 7 mm no tratamento testemunha (Figura 4).

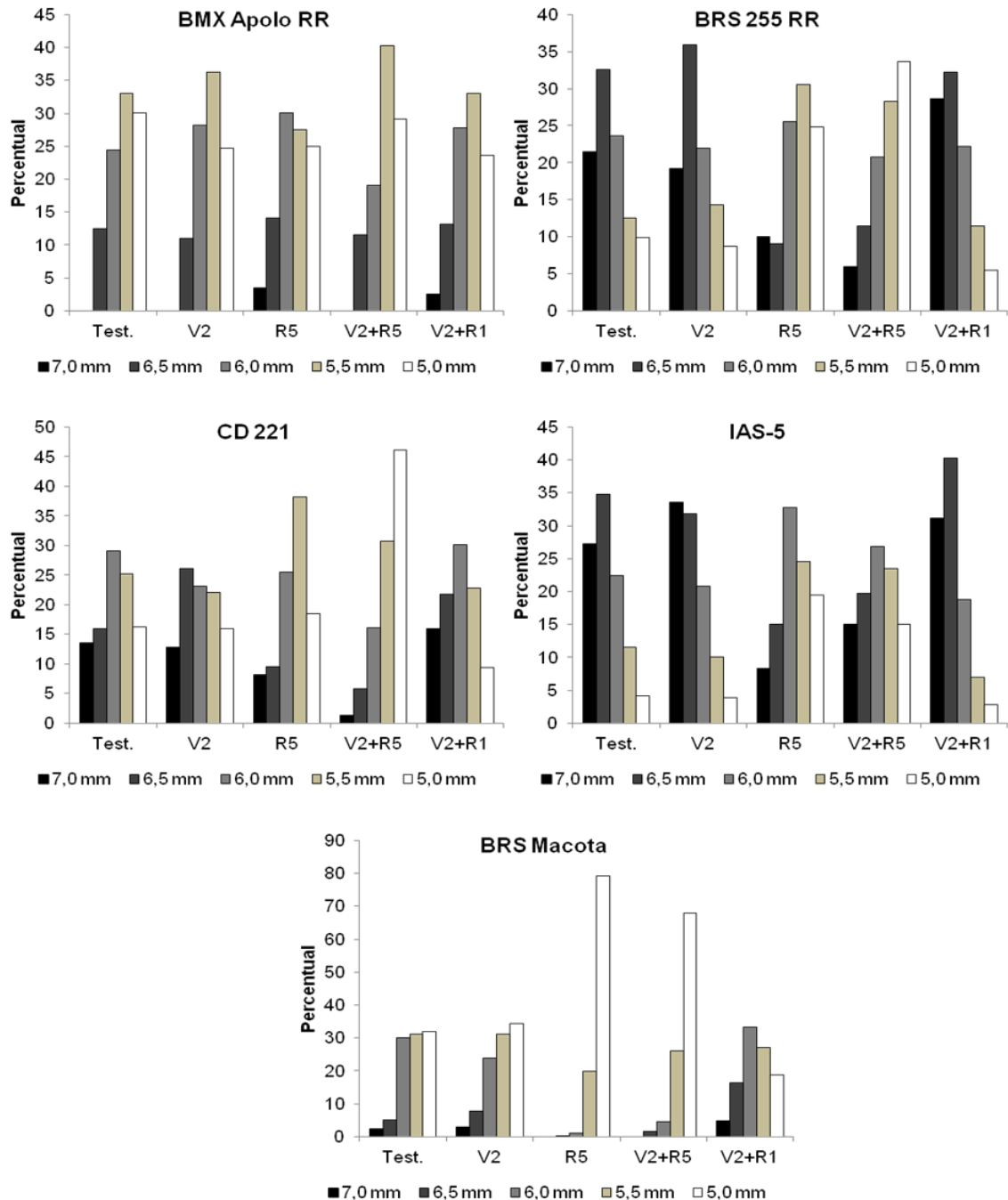


Figura 4 – Retenção de sementes (%) de cinco cultivares de soja em peneiras de diferentes diâmetros, após sofrerem estresse por excesso hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento, na safra 2010/11. Capão do Leão-RS, 2011.

A cultivar BRS Macota no tratamento R5 teve quase 80% das sementes retidas somente na peneira de 5 mm, demonstrando o efeito negativo do alagamento neste estágio. Para todas as cultivares a distribuição de sementes entre a testemunha e a que sofreu estresse no estágio V2 foi semelhante.

O comportamento das cultivares em relação ao peso de mil sementes foi semelhante ao tamanho médio das sementes. Os tratamentos que receberam estresse somente no estágio V2, não apresentaram variação em relação a testemunha, com exceção da cultivar CD221 que no tratamento V2+R1 apresentou peso de mil sementes superior a testemunha (Tabela 9). Alteração no peso de sementes também foi observado por RAMBO et al. (2003), os quais observaram aumento no peso de sementes quando as plantas se apresentavam mais equidistantemente distribuídas.

Os tratamentos que tiveram alagamento no estágio R1 (V2+R1 e V2+R1+R5) tiveram um elevado abortamento de flores, porém não conseguiram compensar com o aumento do peso das sementes. Kuss et al. (2008) relacionam o maior peso de sementes em condição de estresse, com o maior abortamento de flores e legumes, fazendo com que aqueles legumes que permaneceram na planta acumulassem mais massa seca em suas sementes do que, comparativamente, com o das plantas com maior número de legumes e sementes, onde é maior a demanda por fotoassimilados.

Tabela 9 - Peso de mil sementes (g) de cultivares de soja de ciclo precoce, submetidas ao encharcamento do solo por um período de cinco dias em diferentes estádios, na safra 2010/11. Capão do Leão-RS, 2011

Tratamento	BMX Apolo RR	BRS255	CD221	IAS-5	BRS Macota	Média
Testemunha	132,5 AB	149,9 A	142,3 B	149,7 AB	130,8 AB	141,0 AB
V2	127,2 BC	153,4 A	143,3 B	156,5 A	135,9 AB	143,3 A
R5	128,3 BC	113,6 C	116,9 C	118,5 C	94,8 D	114,4 D
V2+R5	125,4 C	118,4 C	101,6 D	123,3 C	108,1 CD	115,4 CD
V2+R1	136,8 A	149,7 A	154,3 A	149,0 B	147,1 A	147,4 A
V2+R1+R5	124,9 C	142,3 B	123,5 BC	132,9 BC	119,2 BC	128,6 BC
CV (%)	11,06					

*Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O alagamento do solo provocou redução da qualidade de sementes principalmente quando foi realizado no estágio V2, possivelmente causado pela alteração do ciclo e maturação desuniforme de sementes, apresentando uma redução de 15 pontos percentuais na primeira contagem da germinação quando comparado com a testemunha (Tabela 10). O tratamento V2 possivelmente produziu sementes com menor sanidade, o que é explicado pela menor altura da inserção do primeiro legume (Tabela 4). Apesar desta redução no poder germinativo das sementes, como visto anteriormente a produtividade das plantas que sofreram estresse apenas no estágio V2 foi igual a da testemunha para a maioria das cultivares (Tabela 6). Já o estresse no estágio R5 não causou redução da qualidade de sementes, que apesar de apresentarem um menor tamanho, apresentaram germinação e vigor semelhante à testemunha. Comportamento semelhante teve o tratamento (V2+R5), onde as sementes apresentaram qualidade fisiológica satisfatória.

Ao estudar proteínas no processo de formação de sementes de soja Hajduch et al. (2005) identificaram 422 proteínas que estão envolvidas com o metabolismo de outras proteínas, armazenamento, transporte de metabólitos e mecanismos de defesa da planta. Possivelmente o estresse ocasionado pelo alagamento pode alterar o metabolismo da planta afetando a síntese destas proteínas e assim alterar a qualidade fisiológica das sementes produzidas. A análise de variância da emergência à campo não foi significativa. Para a germinação, primeira contagem e envelhecimento acelerado não foram verificados efeito de cultivar, nem da interação dos fatores.

A redução na germinação também foi constatada por Santos et al. (1989), onde sementes produzidas sob lâmina de água também tiveram redução nos teores de amido, proteínas, carboidratos e aminoácidos solúveis. Os autores também constataram redução na atividade da fosfatase ácida.

Tabela 10 - Germinação, envelhecimento acelerado e 1ª contagem da germinação de sementes produzidas de cultivares de soja de ciclo precoce, submetidas ao encharcamento do solo por um período de cinco dias em diferentes estádios, na safra 2010/11. Capão do Leão-RS, 2011

Tratamento	Germinação (%)	Envelhecimento acelerado	1º Contagem
Testemunha	92 A	89 A	83 AB
V2	80 C	78 C	72C
R5	95 A	90 A	86 A
V2+R5	90 AB	87 AB	81 AB
V2+R1	82 BC	78 C	73 C
V2+R1+R5	83 BC	82 BC	76 BC
CV (%)	10,4	9,6	13,0

*Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Teste F não significativo a 5% para a interação cultivares x tratamento

5. CONCLUSÕES

Alagamento do solo no estágio R1 provoca grande mortalidade de plantas que inviabiliza a produção. A produtividade é afetada negativamente pelo alagamento do solo, variando de acordo com a cultivar, principalmente quando ocorre duas vezes durante o ciclo.

O alagamento no período vegetativo provoca redução no teor de clorofila nas folhas e na altura de inserção do primeiro legume na haste principal, bem como variações no ciclo das cultivares precoces de soja. A redução na altura de plantas ocorreu para todas as cultivares, com exceção da cultivar BMX Apolo RR.

O tamanho das sementes foi influenciado pelo alagamento de maneira diferente entre as cultivares e o encharcamento no estágio R5 provocou redução no peso de mil sementes.

O alagamento no solo por até cinco dias afeta a qualidade fisiológica das sementes, podendo reduzir a germinação e o vigor, principalmente quando ocorre no estágio V2 (quando a primeira folha trifoliolada está completamente aberta), independente da cultivar.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGGARWAL, P. K.; KALRA, N.; CHANDER, S. AND PATHAK, H. Infocrop: a dynamic simulation model for the assessment of crop yields losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. **Agricultural Systems**, v. 89, p. 1-25, 2006.

APOGEE INSTRUMENTS. 2006. **Chlorophyll Concentration Meter**. Disponível: <http://www.apogeeinst.com/CCM_techinfo.htm> Acesso: outubro de 2011.

ASHMORE, M.R. Assessing the future global impacts of ozone on vegetation. **Plant, Cell & Environment**. v. 28, p. 949-964, 2005.

BACANAMWO, M.; PURCELL, L. C. Soybean root morphological and anatomical traits associated with acclimation to flooding. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 1, p. 143-149, 1999.

BARTLETT, R. J.; JAMES, B. R. Redox chemistry of soil. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 50, p. 151-208, 1993.

BIBER, P.D. Evaluating a chlorophyll content meter on three coastal wetland plant species. **Journal of Agricultural, Food, and Environmental Sciences**. v. 1, Issue 2, 2007.

BLOOM C. W. P. M. AND VOESENEK L. A. C. J. Flooding: the survival strategies of plants. **Trends in Ecology and Evolution** v. 11, p. 290-295, 1996.

BORU, G.; VONTOAI, T.; ALVES, J.; HUA, D.; KNEE, M. Responses of Soybean to oxygen deficient and elevated root-zone Carbon Dioxide Concentration. **Annals of Botany**, v. 91, p. 447-453, 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

CHO, J.; YAMAKAWA, T. Effects on growth and seed yield of small seed soybean cultivars of flooding conditions in paddy field. **Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu**, v. 51, n. 2, p. 189-193, 2006.

COLMER, T. D.; VOESENEK, L. A. C. J. Flooding tolerance: suits of plant traits in variable environments. **Functional Plant Biology**, v. 36 p. 665-681, 2009.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**, décimo segundo levantamento, setembro 2011 / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: p. 36 Conab, 2011.

CORREA, M. F.; LIMA, M. C.; MORAES, P. de; AMARANTE, L. do. Desenvolvimento de aerênquima no tecido caulinar de plantas de soja sob condição de hipoxia. In: **Anais do XVII Congresso de Iniciação Científica e X Encontro de Pós-Graduação - Conhecimento sem Fronteiras. Pelotas: UFPel**, 2008.

COSTA, J. A. **Cultura da soja**. Porto Alegre: Evangraf, 1996. 233p.

DAT, J. F.; CAPELLI, N.; FOLZER, H.; BOURGEADE, P.; BADOT, P. M. Sensing and signalling during plant flooding. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.42, p. 273-282, 2004.

DREW, M. C. Oxygen deficiency and root metabolism: injury and acclimation under hypoxia and anoxia; **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. v. 48, p. 223-250, 1997.

DUTRA, L. F.; TAVARES, S. W.; SARTORETTO, L. M.; VAHL, L. C. Resposta do feijoeiro ao fósforo em dois níveis de umidade no solo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.1, n. 2, p. 91-96, 1995.

ENGEL, V. L. & POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 3, p. 39-45, 1991.

FEHR, W.; CAVINESS, R. H. **Stages of soybean development**. Special Report 80. Iowa State University, Ames, Iowa, 1977. 12 p.

FUKAO, T.; BAILEY-SERRES, J. Plant responses to hypoxia. Is survival a balancing act? **Trends in Plant Science** v. 9, p. 449-456, 2004.

GASTAL, M. F. da C.; BRANÇÃO, N.; VERNETTI, F. de J. Indicação de cultivares de soja para terras baixas. **Agropecuária de Clima Temperado**, v. 1, n. 1, p. 95-99, 1998.

GIBBERD, M. R.; GRAY, J. D.; COCKS, PH. S.; COLMER, T. D. Waterlogging tolerance among a diverse range of *Trifolium* accessions is related to root porosity lateral root formation and aerotropic rooting. **Annals of Botany**, v. 88, n. 4, p. 579-589, 2001.

GIBBS, J.; GREENWAY, H. Review: Mechanisms of anoxia tolerance in plants. I. Growth, survival and anaerobic catabolism. **Functional Plant Biology**. v. 30, p. 1-47, 2003.

GITHIRI, S. M.; WATANABE, S.; HARADA, K.; TAKAHASHI, R. QTL analysis of flooding tolerance in soybean at an early vegetative growth stage; **Plant Breeding** v. 125, p. 613-618, 2006.

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.

GUTIERREZ-GONZALEZ, J.J.; GUTTIKONDA, S.K.; TRAN, L.S.; ALDRICH, D.L.; ZHONG, R.; YU. O.; NGUYEN, H.T.; SLEPER, D.A. Differential expression of isoflavone biosynthetic genes in soybean during water deficits. **Plant Cell Physiology**, v. 51, p. 936-948, 2010.

HAJDUCH, M.; GANAPATHY, A.; STEIN, J. W.; THELEN, J. J. A Systematic proteomic study of seed filling in soybean. establishment of high-resolution two-dimensional reference maps, expression profiles, and an interactive proteome database. **Plant Physiology**, v. 137, p. 1397-1419, 2005.

HASHIGUCHI, A.; SAKATA, K. AND KOMATSU, S. Proteome analysis of early-stage soybean seedlings under flooding stress. **Journal of Proteome Research**, v. 8, p. 2058-2069, 2009.

IRFAN M., HAYAT SH., HAYAT Q., AFROZ SH. AND AHMAD A., Physiological and biochemical changes in plants under waterlogging. **Protoplasma**, v. 241, p. 3-17, 2010.

JACKSON, M. B. Ethylene and responses of plants to soil waterlogging and submergence. **Annual Reviews Plant Physiology**, v. 36, p. 145-174, 1985.

JACKSON, M. B.; COLMER, T. D. Response and Adaptation by Plants to Flooding Stress. **Annals of Botany**, v. 96, p. 501-505, 2005.

KOMATSU, S.; AHSAN, N. Soybean proteomics and its application to functional analysis. **Journal of Proteomics** v. 72, p. 325-336, 2009.

KOMATSU, S.; THIBAUT, D.; HIRAGA, S.; KATO, M.; CHIBA, M.; HASHIGUCHI, A.; TOUGOU, M.; SHIMAMURA, S.; YASUE, H. Characterization of a novel flooding stress-responsive alcohol dehydrogenase expressed in soybean roots. **Plant Molecular Biology**, v. 77, p. 309-322, 2011.

KOTI, S.; REDDY, K.R.; REDDY, V.R.; KAKANI, V.G.; ZHAO, D. Interactive effects of carbon dioxide, temperature, and ultraviolet-B radiation on soybean (*Glycine max* L.) flower and pollen morphology, pollen production, germination, and tube lengths. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, p. 725-736, 2005.

KUSS, R. C. R.; KÖNIGII, O.; DUTRA, L. M. C.; BELLÉ, R. A.; ROGGIAI, S.; STURMER, G. R. Populações de plantas e estratégias de manejo de irrigação na cultura da soja. **Ciência Rural**, v. 38, n. 4, p. 1133-1137, 2008.

LADYGIN, V. G. The Effect of Root Hypoxia and Iron Deficiency on the Photosynthesis, Biochemical Composition, and Structure of Pea Chloroplasts. Russian **Journal of Plant Physiology**, v.51, n. 1, p. 28-40, 2004.

LINKEMER, G.; BOARD, J.E.; MUSGRAVE, M.E.; Waterlogging effects on growth and yield components in late-planted soybean. **Crop Science**, v. 38, p. 1576-1584, 1998.

LUDWIG, M. P. **Desempenho agronômico e qualidade de sementes de soja produzida em solo de várzea alagada**. 2010. 115f. Tese (Doutorado em Ciência e

Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.

MAGALHÃES, P. C.; COELHO, C. H. M.; GAMA, E. E. G.; BORÉM, A. Avaliação dos ciclos de seleção da variedade BRS 4154 – Saracura para tolerância ao encharcamento do solo. Embrapa Milho e Sorgo. **Circular Técnica**, **67**, 4p. 2005.

MARCOS FILHO, J.; NOVENBRE, A. D. C.; CHAMMA, H. M. C. P.. Tamanho da semente e o teste de envelhecimento acelerado para soja. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 3, p. 473-482, 2000.

MOMMER, L.; LENSSEN, J. P. M.; HUBER, H.; VISSER, E. J. W.; DE KROON, H. Ecophysiological determinants of plant performance under flooding: a comparative study of seven plant families. **Journal of Ecology**, v. 94, p. 1117-1129, 2006.

MORGAN, P.B.; MIES, T.A.; BOLLERO, G.A.; NELSON, R.L.; STEPHEN, P.; LONG, S.P. Season-long elevation of ozone concentration to projected 2050 levels under fully open-air conditions substantially decreases the growth and production of soybean. **New Phytologist**, v. 170, n. 2, p. 333–343, 2006.

NANJO, Y.; MARUYAMA, K.; YASUE, H.; SHINOZAKI, K. Y.; SHINOZAKI, K. AND KOMATSU, S. Transcriptional responses to flooding stress in roots including hypocotyl of soybean seedlings. **Plant Molecular Biology**, v. 77, p. 129-144, 2011.

OPTI-SCIENCES. **CCM-200 Chlorophyll Meter - User Guide**, 31p. 2003. Disponível: <<http://www.optisci.com> > Acesso: setembro de 2011.

ORTIZ, C.; CARDEMIL, L. Heat-shock responses in two leguminous plants: a comparative study. **Journal of Experimental Botany**, v. 2, p. 1711-1719, 2001.

PIRES, J. L. F.; SOPRANO, E.; CASSOL, B. Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 37, n. 1, p. 41-50, 2002.

PONNAMPERUMA, F.N. Chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**. v. 24, p. 29-96, 1972.

RAMBO, L.; COSTA, J. A.; PIRES, J. L. F.; PARCINELLO, G.; FERREIRA, F. G. Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. **Ciência Rural**, v. 33, n. 3, p. 405-411, 2003.

ROSA, G.F. da; BADINELLI, P. G.; BUENO JUNIOR, A. A. A.; AMARANTE, L. do; COLARES, D.; VERNETTI JUNIOR, F. de J. Acúmulo de massa seca em genótipos de soja fixando N₂ simbioticamente sob influência do alagamento. **XVI Congresso de Iniciação Científica**, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2007.

SAIRAM, R. K.; KUMUTHA, D.; EZHIMATHI, K.; DESHMUKH, P. S. AND SRIVASTAVA, G. C. Physiology and biochemistry of waterlogging tolerance in plants. **Biologia Plantarum**, v. 52, n. 3, p. 401-412, 2008.

SANTOS, D. S. B dos; SANTOS, F. B .G. dos; GOMES, A. da S.; PAULETTO, E. A.; SCHUCH, L. A. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja em função de níveis de umidade no solo diferenciados. In; **REUNIÃO ANUAL DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL**, 17, Porto Alegre, p.227, 1989.

SAS INSTITUTE INC. **SAS User's guide: statistics, version 5** edition. Cary NC: SAS Institute., 1985. 965p.

SERRES, B. J.; VOESENEK, L.A.C.J. Flooding Stress: Acclimations and Genetic Diversity. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 313-339, 2008.

SEVERO, T. M.; JUNIOR, A. A. A. B.; ZENZEN, I. L.; XAVIER, C.; MITTELMANN, A.; AMARANTE, L. do. Efeito do alagamento sobre o crescimento de plantas noduladas de soja. **XVI Congresso de Iniciação Científica**, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2007.

SCHÖFFEL, E. R.; SACCOL, A. V.; MANFRON, P. A.; MEDEIROS, S. L. P. Excesso hídrico sobre os componentes do rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, v. 31, n. 1, p. 7-12, 2001.

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.

SHI, F.; YAMAMOTO, R.; SHIMAMURA, S.; HIRAGA, S.; NAKAYAMA, N.; NAKAMURA, T.; YUKAWA, K.; HACHINOHE, M.; MATSUMOTO, H. AND KOMATSU, S. Cytosolic ascorbate peroxidase 2 cAPX2. is involved in the soybean response to flooding. **Phytochem**, v. 69, p. 1295-1303, 2008.

SHIMAMURA, S.; YAMAMOTO, R.; NAKAMURA, T.; SHIMADA, S.; KOMATSU, S. Stem hypertrophic lenticels and secondary aerenchima enable oxygen transport to roots of soybean in flooded soil. **Annals of Botany**, v. 106, p. 277-284, 2010.

STRAUSS, A.J.; KRUGER, G.H.; STRASSER, R.J.; VAN HEERDEN, P.D. The role of low soil temperature in the inhibition of growth and PSII function during dark chilling in soybean genotypes of contrasting tolerance. **Physiologia Plantarum**, v. 131, p. 89-105, 2007.

THOMAS, A.L. **Modificações morfológicas e assimilação de nitrogênio em plantas de soja (*Glycine max*) com sistemas radiculares sob deficiência de O₂**. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, UNICAMP, Campinas. 2004.

TILLMANN, M. Â. A.; MIRANDA D. M. de; Análise de Sementes. In.: PESKE, S. T.; LUCCA FILHO, O. A.; BARROS, A. C. S. A. (Eds.). **Sementes: Fundamentos científicos e Tecnológicos**, 2ª Ed., Pelotas, p. 159-257. 2006.

VAN TOAI, T. T.; CUC HOA, T. T.; NGOC HUE, N. T.; NGUYEN, H. T.; SHANNON, J. G. AND RAHMAN, M. A. Flooding Tolerance of Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] Germplasm from Southeast Asia under Field and Screen-House Environments **The Open Agriculture Journal**, v. 4, p. 38-46, 2010.

VAN TOAI, T. T.; BEUERLEIN, J. E.; SCHMITTHENNER, A. F.; MARTIN, S. K. ST. Genetic variability for flooding tolerance in soybeans. **Crop Science**, v. 34, p. 1112-1115, 1994.

VARTAPETIAN, B.; JACKSON, M. Plant adaptation to anaerobic stress. **Annals of Botany**, v. 79, p. 3-20, 1997.

VERNETTI JUNIOR, F. de J.; LUDWIG, M. P.; SCHUCH, L. O. B.; SEUS, R.; CRIZEL, R. L.; CORRÊA, M. F.; NUNES, T. L.; OLIVEIRA, S. Tolerância de Genótipos de Soja ao Alagamento. In **Resultados de Pesquisa da Soja na Embrapa Clima Temperado 2010**. Pelotas, Documentos 322, p. 57-64, 2010.

VRIEZEN, W.H.; HULZINK, R.; MARIANI, C.; VOESENEK, L.A. 1-aminocyclopropane-1- carboxylate oxidase activity limits ethylene biosynthesis in *Rumex palustris* during submergence. **Plant Physiology**, v. 121, p. 189-196, 1999.

WUEBKER, E.F.; MULLEN, R.E.; KOEHLER, K. Flooding and temperature effects on soybean germination. **Crop Science**, v. 41, p. 1857-186, 2001.