



Desempenho morfofisiológico de cultivares de soja de ciclo médio em condições de alagamento do solo

Morphophysiological performance of medium cycle soybean cultivars under flooding

Marcos Paulo Ludwig¹, Sandro de Oliveira², Luís Osmar Braga Schuch³, Francisco Jesus Vernett Junior⁴, Rogério Seus⁵, Elisa Souza Lemes²

Resumo: O aumento no cultivo de soja no Brasil têm atingido áreas antes utilizadas para outros fins, como em regiões de solos de várzea, estando assim, sujeita a eventuais alagamentos do solo. Este trabalho objetivou avaliar alterações morfofisiológicas em cultivares de soja de ciclo médio, em condições de alagamento do solo, nos estádios fenológicos vegetativo e reprodutivo para recomendação de cultivares. Os experimentos foram conduzidos na Estação Experimental de Terras Baixas, da Embrapa Clima Temperado em Capão do Leão, RS. Foram aplicados três sistemas de manejo da água: condição normal de cultivo (sem alagamento), alagamento no período vegetativo (V3/V4) e alagamento no período reprodutivo (R2/R3). As avaliações realizadas durante o ciclo da cultura foram: altura de plantas, diâmetro da haste principal, índice do teor de clorofila, fenologia e número de nós nas hastes por planta. O alagamento do solo reduz o número de nós na haste principal, reduzindo a estatura das plantas, sendo os efeitos mais acentuados quando o alagamento ocorre no estágio vegetativo. Além disso, o alagamento do solo no período reprodutivo promove aumento do diâmetro da haste principal. O alagamento do solo causa retardamento de ocorrência dos estádios fenológicos, bem como do ciclo total das cultivares de soja.

Palavras-chave: *Glycine max*; Estatura de planta; Fotossíntese; Índice do teor de clorofila.

Abstract: The increase in soybean cultivation in Brazil has reached areas previously used for other purposes, such as in regions of lowland soils, thus being subject to possible soil flooding. This study aimed to evaluate morphophysiological changes in medium cycle soybean cultivars, under soil flooding conditions, in the vegetative and reproductive stages to recommend cultivars. The experiments were conducted at the Estação Experimental de Terras Baixas, EMBRAPA Clima Temperado in the Capão do Leão city, RS. Three water management systems were applied: normal cultivation condition (without flooding), flooding in the vegetative stage (V3 / V4) and flooding during the reproductive stage (R2 / R3). During the crop cycle, plant height, diameter of the main stem, chlorophyll content index, phenology and number of nodes in the stem per plant were collected. On the basis of the results this study, it can be concluded that the flooding reduces the number of nodes on the main stem, reducing plant height, with the most pronounced effects when flooding occurs in the vegetative stage. Furthermore, flooding the reproductive stage promotes increased diameter of the main stem. Flooding causes delay of occurrence of phenological stages and the total cycle of soybean cultivars.

Key words: *Glycine max*; Plant height; Photosynthesis; Chlorophyll content index.

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 19/12/2016; aprovado em 26/05/2017

¹Eng. Agr., Doutor, Professor do Instituto Federal do Rio Grande do Sul, Campus Ibirubá, Rua Nelsi Ribas Fritsch, 1111, Esperança, Ibirubá-RS, Brasil 98.200-000, plmarcos1@yahoo.com.br.

²Eng. Agr., Mestre, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes - Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (UFPEL/FAEM), Capão do Leão-RS, Brasil, 96.010-900. *sandrofaem@yahoo.com.br, lemes.elisa@yahoo.com.br.

³Eng. Agr., Dr. Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes - Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (UFPEL/FAEM), Capão do Leão-RS, Brasil, 96.010-900, lobs@ufpel.edu.br.

⁴Eng. Agr., Pesquisador, Doutor Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão-RS, Brasil, 96.001-970 francisco.vernetti@cpact.embrapa.br.

⁵Eng. Agr., Mestre, Doutorando, Universidade Federal de Viçosa (UFV), 36570-000, Viçosa-MG, Brasil, rseusagro@hotmail.com.



INTRODUÇÃO

A soja é uma cultura amplamente cultivada e de grande importância no Brasil. Na safra 2014/2015 ocupou uma área de aproximadamente 31,3 milhões de hectares, com uma produção de 93 milhões de toneladas (CONAB, 2015). Nos últimos anos houve um acentuado aumento na área cultivada com soja na região Sul do Rio Grande do Sul. Na safra 2012/2013 foi cultivada uma área de aproximadamente 600.000 ha, o que representa o dobro da safra anterior (GAZOLLA NETO; SCHUCH, 2013).

Muitas dessas áreas ficam sujeitas ao alagamento (solos aluviais e hidromórficos), pois cerca de 5,4 milhões de hectares no do Rio Grande do Sul são propícias ao alagamento e poderiam ser incorporadas ao processo produtivo, com o uso de cultivares tolerantes ao encharcamento do solo (MAGALHÃES et al., 2005). O alagamento do solo é considerado como um dos principais estresses em muitos ecossistemas (SERRES; VOESENEK, 2008). A diversificação e/ou incorporação de novas culturas às áreas de várzea (solos hidromórficos), geralmente destinadas à produção de arroz irrigado, é uma forma de aumentar a eficiência do sistema produtivo.

A compreensão da ecologia de plantas em ambientes propensos às inundações e da fisiologia dos aspectos de aclimação das plantas a tais condições são importantes, principalmente, para a identificação de genótipos mais tolerantes (JACKSON; COLMER, 2005). Uma das consequências do alagamento do solo é a baixa atividade fotossintética, causando diminuição da concentração de clorofila (LADYGIN, 2004; YORDANOVA; PAPOVA, 2007), resultando na formação de clorose. Trabalhando com ervilha, Ladygin (2004) constatou em plantas que passaram por períodos de hipóxia radicular, as folhas apresentaram uma coloração amarela à quase branca, resultado da pequena quantidade dos pigmentos contidos nos cloroplastos, o que acarretou uma baixa taxa fotossintética.

Em solos alagados, a formação de aerênquima em espécies de plantas tolerantes é um processo que pode ocorrer em raízes, nódulos, rizomas, caules e folhas submersas (DREW et al., 2000). Além destes efeitos o alagamento também ocasiona redução na estatura de plantas (CHO; YAMAKAWA, 2006). Alterações ambientais afetam também o ciclo da cultura (MOTTA et al., 2002; LUDWIG et al., 2010), modificando a fenologia da soja, a qual é uma ferramenta eficaz de manejo, uma vez que possibilita identificar seu estado fisiológico, o qual está relacionado a uma série de necessidades do vegetal.

O objetivo do trabalho foi avaliar alterações morfofisiológicas, em cultivares de soja de ciclo médio, em condições de alagamento do solo, nos estádios fenológico vegetativo e reprodutivo para recomendação de cultivares.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Município de Capão do Leão, RS (31°52'00''S, 52°21'24''W), na Estação Experimental de Terras Baixas, da Embrapa Clima Temperado, em um PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico com textura franco-arenosa, de profundidade entre 20 e 40 cm, e horizonte B impermeável, durante a safra 2009/2010.

Foram semeados dez cultivares de soja, de ciclo médio BRS Fepagro 24, BRS 246 RR, BRS 244 RR, BRS Charrua RR, PCL 04-16, PCL 24 M, BRS 66, BR-4, BRS Taura RR e PCL 06-03. Os sistemas de manejo da água usados foram: condição normal de cultivo (sem alagamento), alagamento no período vegetativo (quando as plantas encontravam-se no estágio V3/V4) e alagamento no período reprodutivo (quando as plantas encontravam-se no estágio R2/R3). Para definição dos estádios fenológicos foi utilizada a escala de Fehr e Caviness (1977). No período vegetativo o alagamento foi realizado do dia 6 de janeiro de 2010 ao dia 14 de janeiro de 2010. No período reprodutivo o alagamento iniciou dia 13 de fevereiro de 2010 e terminou dia 18 de fevereiro de 2010.

Para proporcionar o alagamento taipas foram construídas ao redor das parcelas que receberam alagamento, assim foi possível a manutenção de uma lâmina de água de cinco centímetros de altura, após o período de alagamento a área foi drenada, permanecendo as parcelas sob condição naturais de cultivo até a maturação.

A densidade de semeadura utilizada foi estimada para obtenção de uma população inicial de 300 mil plantas por hectare. A adubação utilizada foi de 350 kg ha⁻¹ do adubo da fórmula 5-20-10. Para a inoculação das sementes foi utilizado inoculante a base da bactéria do gênero *Bradyrhizobium* das estirpes Semia 5079 e Semia 5080.

O controle de pragas, doenças e plantas invasoras foram realizados de acordo com as recomendações técnicas da cultura para a região. Quando necessário foram realizadas irrigações na área, sendo utilizados tensiômetros para o manejo da mesma.

Durante o experimento foram realizadas as avaliações de: diâmetro da haste principal (DHP), medida com paquímetro a uma altura de cinco centímetros do solo, 12 horas após a retirada da água, em seis plantas da área útil da parcela; altura de plantas (AP) medida com uma régua graduada aos 14 dias após a drenagem da área, em seis plantas da área útil de cada parcela, sendo o resultado expresso em centímetros; índice do teor de clorofila (ITC), medido com o aparelho "CCM-200 Chlorophyll Meter" que utiliza a absorvância para estimar o teor de clorofila no tecido foliar. Os índices do ITC foram obtidos em 10 plantas 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 antes do alagamento, a segunda aos cinco dias após a entrada da água (DAEA), a terceira aos 12 DAEA, a quarta 19 DAEA e a última aos 33 DAEA.

Foram avaliados o intervalo de dias entre a emergência e início do florescimento (VE à R1), emergência e início do enchimento de grãos (VE à R5) e emergência e maturação fisiológica (VE à R7). As avaliações foram realizadas através de vistorias periódicas em todas as parcelas, aonde foram verificados os estádios fenológicos segundo escala de Fehr e Caviness (1977).

O delineamento experimental utilizado foi de parcelas subdivididas, com quatro repetições, resultando em um fatorial 10 x 3 x 4, totalizando 120 parcelas experimentais. 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 m, a área útil foi constituída das duas linhas centrais, eliminando-se 0,50 m de cada extremidade, perfazendo o total de 4,0 metros quadrados.

Realizou-se a análise da variância para verificar a significância e interação dos tratamentos. As comparações de médias foram realizadas utilizando o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da altura de planta (AP) (Tabela 1) para as cultivares de soja, medida após a retirada da água no período vegetativo não apresentou interação entre alagamento e cultivares. O alagamento determinou uma significativa diminuição da altura média das plantas (45,1%). Quando avaliadas as cultivares na condição de sem alagamento, obtiveram uma altura média de 38,77 cm, enquanto que, quando conduzidas com período de alagamento a altura média foi de 21,25 centímetros. Resultado estes que estão de acordo com os observados por Vantoai et al. (2001) e Cho e Yamakawa (2006). Na comparação de médias de altura de plantas, observou-se um comportamento similar para todas as cultivares quando expostas ao alagamento no estágio vegetativo, quando as cultivares não foram expostas ao período de alagamento foi observado diferenças entre as cultivares, onde a cultivar BRS Taura RR foi superior as cultivares BRS 244 RR e BRS246 RR.

Para o diâmetro da haste principal (DHP) não foi observada diferença entre cultivares dentro de cada manejo de água e entre os manejos de água no período vegetativo (Tabela 1), não podendo relacionar desta forma o alagamento do solo com o aumento do diâmetro da haste principal, contrapondo os resultados de Pires et al. (2002) que relacionaram o aumento do DHP com a tolerância ao alagamento do solo.

Tabela 1. Altura de planta e diâmetro da haste principal (cm) de cultivares de soja de ciclo médio, conduzidas sem alagamento (SA) e com alagamento por oito dias no período vegetativo (V3/V4) (APV). Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

| Cultivares | Altura de planta (cm) | | Diâmetro da haste principal (cm) | |
|----------------|-----------------------|---------|----------------------------------|---------|
| | SA | APV | SA | APV |
| BR-4 | 36,44ab | 21,11 a | 0,377 a | 0,392 a |
| BRS 244 RR | 35,06 b | 18,50 a | 0,397 a | 0,394 a |
| BRS 246 RR | 35,39 b | 21,78 a | 0,376 a | 0,435 a |
| BRS 66 | 37,72ab | 23,50 a | 0,401 a | 0,392 a |
| BRS Charrua RR | 36,22ab | 20,56 a | 0,406 a | 0,416 a |
| BRS Taura RR | 44,78 a | 20,17 a | 0,460 a | 0,484 a |
| Fepagro 24 | 42,11ab | 21,89 a | 0,403 a | 0,391 a |
| PCL 04-16 | 35,50ab | 20,72 a | 0,405 a | 0,439 a |
| PCL 06-03 | 43,94ab | 21,28 a | 0,403 a | 0,422 a |
| PCL 24 M | 40,56ab | 23,06 a | 0,421 a | 0,440 a |
| Média | 38,77A | 21,25B | 0,405 A | 0,421A |
| CV. (%) | 16,7 | | 9,0 | |

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

Observando-se os resultados da variável AP (Tabela 2), após a inundação do solo no período reprodutivo, não foi constatada interação entre os fatores estudados, resultados estes, que estão de acordo com os observados por Henshaw (2005). Pode-se observar que houve diferenças para AP das cultivares submetidas ao alagamento no período reprodutivo, onde a cultivar PCL 24 M foi superior as cultivares BR 4 e

PCL 04-16. Quando analisado sem o alagamento do solo, novamente a cultivar PCL 24 M foi superior as demais cultivares, porém, não diferindo estatisticamente das cultivares BRS Taura RR e Fepagro 24. Este resultado mostra um certo nível de tolerância ao alagamento do solo desta cultivar, pois manteve um bom desempenho em ambas condições de cultivo. Quando analisado as médias das cultivares, verifica-se que as cultivadas em condição de sem alagamento foram superiores as cultivadas com alagamento do solo (81,7 e 77,3 centímetros, respectivamente).

Tabela 2. Altura de planta e diâmetro da haste principal (cm) de cultivares de soja de ciclo médio, conduzidas sem alagamento (SA) e com alagamento por cinco dias no período reprodutivo (R2/R3) (APR). Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

| Cultivares | Altura de planta (cm) | | Diâmetro da haste principal (cm) | |
|----------------|-----------------------|----------|----------------------------------|---------|
| | SA | APR | SA | APR |
| BR-4 | 74,56 c | 69,28bc | 0,694 a | 0,742 a |
| BRS 244 RR | 76,28 c | 75,28abc | 0,572 a | 0,734 a |
| BRS 246 RR | 75,33 c | 74,56abc | 0,579 a | 0,652 a |
| BRS 66 | 77,06 c | 76,33abc | 0,614 a | 0,693 a |
| BRS Charrua RR | 80,17 bc | 77,89abc | 0,612 a | 0,732 a |
| BRS Taura RR | 92,17 ab | 83,67 ab | 0,629 a | 0,663 a |
| Fepagro 24 | 90,67 ab | 82,56abc | 0,603 a | 0,691 a |
| PCL 04-16 | 76,44 c | 66,28 c | 0,636 a | 0,664 a |
| PCL 06-03 | 77,56 c | 77,22abc | 0,575 a | 0,656 a |
| PCL 24M | 97,44 a | 90,11 a | 0,569 a | 0,727 a |
| Média | 81,77 A | 77,32 B | 0,609B | 0,695A |
| CV. (%) | 5,4 | | 9,7 | |

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

A altura de planta neste período pode estar mais relacionada com características das cultivares, referentes ao hábito de crescimento do que com a tolerância ao alagamento do solo, e desta maneira não afetando tão drasticamente as cultivares, diferentemente dos resultados obtidos com o alagamento no período vegetativo, pois naquele a redução da AP chegou a 45,1% enquanto que no reprodutivo a apenas 5,5%. Esta redução está em concordância com os resultados observados por Vantoai et al. (2001) e Choi e Roberts (2007).

Para o DHP não foi observado diferença entre as cultivares (Tabela 2) em nenhum dos manejos de água utilizados. Analisando as médias das cultivares observa-se um aumento do DHP quando utilizado alagamento do solo no período reprodutivo, com um aumento médio de 14,12% no DHP. Resultados semelhantes foram observados por Dutra et al. (2012), em plantas de girassol, onde as plantas cultivadas com maior disponibilidade hídrica (100% CRA e hipoxia), apresentaram maior diâmetro de caule. Estes resultados podem estar relacionados com a formação de vias alternativas para aumentar a aeração, pois em condições de alagamento as plantas desenvolvem mecanismos morfológicos de tolerância, como, o desenvolvimento de aerênquima (THOMAS et al., 2005; VIDEMSEK et al., 2006).

As medidas do índice de teor de clorofila (ITC) realizadas nas cultivares de soja antes do alagamento do solo e depois do alagamento do solo (5 DAEA, 12 DAEA, 19 DAEA e 33 DAEA) no período vegetativo, não apresentaram diferença significativa (Tabela 3). O alagamento do solo determinou acentuada redução no ITC médio medido no

período de 12 DAEA e 19 DAEA, ou seja, até 11 dias após a retirada da água, ocasião em que os valores começaram a crescer. A redução do ITC foi similar em todas as cultivares, e em todos os períodos de avaliação, não sendo observado diferenças entre as cultivares. De acordo com Amarante et al. (2007) alagamento do solo além ocasionar fechamento estomático, também reduz o pigmento clorofila, fato este observado neste trabalho.

Tabela 3. Índice do teor de clorofila de cultivares de soja de ciclo médio, em cinco datas de avaliação (antes do alagamento, aos 5, 12, 19 e 33 dias após a entrada da água, DAEA) conduzidas com alagamento por oito dias no período vegetativo (V3/V4). Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

| Cultivares | Antes | DAEA | | | |
|----------------|--------|-------|------|-------|-------|
| | | 5 | 12 | 19 | 33 |
| BR 4 | 20,6a | 3,9a | 5,6a | 6,3a | 5,1a |
| BRS 244 RR | 21,0a | 14,7a | 4,3a | 5,3a | 19,9a |
| BRS 246 RR | 18,8a | 14,2a | 4,7a | 7,6a | 20,8a |
| BRS 66 | 18,7a | 16,6a | 5,4a | 7,3a | 19,2a |
| BRS Charrua RR | 20,8a | 15,5a | 6,0a | 7,8a | 21,2a |
| BRS Taura RR | 19,2a | 14,3a | 7,2a | 7,1a | 17,5a |
| Fepagro 24 | 21,0 a | 14,2a | 7,5a | 3,3 a | 7,4a |
| PCL 04-16 | 21,1 a | 16,6a | 8,2a | 6,2 a | 19,4a |
| PCL 06-03 | 18,5 a | 14,8a | 7,3a | 5,9 a | 19,3a |
| PCL 24 M | 17,9 a | 12,1a | 7,6a | 5,6 a | 21,3a |
| Média | 17,7 | 14,70 | 6,44 | 6,28 | 19,15 |
| CV. (%) | 9,5 | 16,7 | 17,2 | 17,2 | 17,7 |

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

As medidas do índice do teor de clorofila (ITC) em todas as datas de avaliação não diferiram para as cultivares (Tabela 4), quando avaliados antes e depois do alagamento do solo no período reprodutivo. Ao contrário do observado no período vegetativo, onde o alagamento do solo promoveu grande redução nos ITC, o alagamento do solo no período reprodutivo promoveu pequenas reduções no ITC a partir dos 12 DAEA.

Tabela 4. Índice do teor de clorofila de cultivares de soja de ciclo médio, em cinco datas de avaliação (antes do alagamento, aos 5, 12, 19 e 33 dias após a entrada da água, DAEA) conduzidas com alagamento por cinco dias no período reprodutivo (R2/R3). Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

| Cultivares | Antes | DAEA | | | |
|----------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | | 5 | 12 | 19 | 33 |
| BR 4 | 25,9a | 27,5a | 21,7a | 17,7a | 18,9a |
| BRS 244 RR | 25,8a | 22,5a | 20,1a | 17,8a | 20,6a |
| BRS 246 RR | 24,6 a | 23,3a | 21,4a | 18,2a | 21,0a |
| BRS 66 | 24,3a | 23,4a | 17,1a | 16,8a | 17,0a |
| BRS Charrua RR | 27,1a | 24,3a | 21,4a | 19,4a | 21,2a |
| BRS Taura RR | 24,6a | 24,6a | 21,6a | 21,5a | 24,1a |
| Fepagro 24 | 25,2a | 26,5a | 23,2a | 17,4a | 18,9a |
| PCL 04-16 | 25,2a | 25,9a | 18,8a | 15,7a | 19,1a |
| PCL 06-03 | 24,3a | 22,9a | 20,3a | 17,5a | 19,3a |
| PCL 24 M | 24,9a | 25,8a | 19,8a | 15,5a | 19,6a |
| Média | 25,2 | 24,7 | 20,5 | 17,6 | 20,0 |
| CV. (%) | 5,1 | 12,5 | 7,5 | 13,4 | 13,9 |

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

O alagamento do solo no estágio vegetativo, causou alteração na fenologia da cultura da soja (Tabela 5). Com alagamento no estágio vegetativo ocorreram aumentos nos intervalos entre emergência e o início do florescimento, passando de 51,2 dias quando cultivado sem alagamento do solo para 55,5 dias com o alagamento do solo. Em condições de cultivo sem alagamento a cultivar Fepagro 24 foi a que apresentou maior intervalo entre a emergência e o florescimento, sendo estatisticamente igual as cultivares BRS 246 RR, BRS 244 RR, BRS Charrua RR e PCL 24 M, enquanto a cultivar PCL 06-03 apresentou menor intervalo, não diferindo das cultivares BR 4 e BRS Taura RR. Já quando cultivadas com alagamento do solo não foi observado diferenças entre as cultivares.

Os dados mostram que a duração mínima do estágio vegetativo da soja em condição sem alagamento variou de 47 dias ao máximo de 54, enquanto que com alagamento a variação esteve entre 52 e 59 dias. Trabalhando com característica morfológicas em soja, Ludwig et al. (2010) observaram períodos vegetativos mínimos de até 39 dias quando a soja foi semeada em janeiro, reduzindo a estatura de plantas e o número de nós na haste principal.

O intervalo entre emergência e início do enchimento de grãos (Tabela 5), passou de 74 dias (sem alagamento do solo) para 81,5 dias (com alagamento do solo), o que representa um aumento em 7,5 dias. Quando analisadas as cultivares cultivadas sem alagamento do solo, verifica-se que a cultivar PCL 04-16 apresentou maior intervalo entre a emergência e o início de enchimento de grãos, porém estatisticamente igual a cultivar PCL 24 M, enquanto a cultivar PCL 06-03 apresentou menor intervalo, não diferindo estatisticamente das cultivares BRS 246 RR, BRS 244 RR, BRS Charrua RR e BRS 66.

Para os intervalos entre emergência e maturação foi observado que ocorreu interação entre o manejo de água e as cultivares (Tabela 5). As cultivares BRS Charrua RR e BRS Taura RR não apresentaram diferença significativa de ciclo entre os manejos de água. No entanto, as demais cultivares apresentaram diferenças entre os manejos de água, sendo que, quando com alagamento do solo foi observado aumento do ciclo das cultivares. De forma geral, houve incremento no período da emergência à maturação fisiológica de aproximadamente 5 dias. 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 àquela condição (SERRES; VOESENEK, 2008).

Analisando as cultivares, quando cultivadas sem alagamento do solo a cultivar PCL 04-16 foi superior as demais cultivares, apresentando maior intervalo entre emergência e maturação, porém não diferindo estatisticamente da cultivar PCL 24 M. Já quando cultivadas com alagamento do solo a cultivar PCL 04-16 apresentou maior intervalo entre emergência e maturação sendo superior as cultivares BRS Charrua RR, BRS Taura RR e PCL 06-03.

Tabela 5. Duração (número de dias) dos subperíodos emergência – início da floração (VE - R1), emergência - início do enchimento de grãos (VE - R5) e emergência – maturação fisiológica (VE – R7), de cultivares de soja de ciclo médio, mantidas sob dois manejos de água: sem alagamento (SA) e com alagamento do solo por oito dias no estágio vegetativo (V3) (APV). Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

| Ciclo Médio | VE – R1 | | VE – R5 | | VE – R7 | |
|----------------|-----------|--------|----------|----------|-------------|-------------|
| | SA | APV | SA | APV | SA | APV |
| Fepagro 24 | 54,3 a | 59,6 a | 76,3 bc | 91,0 a | 116,6 bc B | 126,6 ab A |
| BRS 246 RR | 52,3 abc | 56,6 a | 71,0 de | 80,6 abc | 115,0 bcd B | 120,6 abc A |
| BRS 244 RR | 52,0 abcd | 57,0 a | 72,3 cde | 80,0 abc | 116,0 bcd B | 121,0 abc A |
| BRS Charrua RR | 53,6 ab | 55,0 a | 71,3 cde | 75,0 c | 116,0 bcd A | 118,0 c A |
| PCL 04-16 | 50,6 cd | 57,3 a | 81,6 a | 90,0 ab | 121,6 a B | 127,3 a A |
| PCL 24M | 52,0 abcd | 54,6 a | 78,3 ab | 85,0 abc | 119,6 ab B | 123,3 abc A |
| BRS 66 | 51,3 bcd | 55,0 a | 72,6 cde | 79,6 abc | 111,6 d B | 123,0 abc A |
| BR-4 | 49,6 cde | 54,3 a | 74,6 bcd | 82,0 abc | 116,3 bcd B | 122,3 abc A |
| BRS Taura RR | 49,3 de | 52,6 a | 74,3 bcd | 75,0 c | 116,3 bcd A | 119,3 bc A |
| PCL 06-03 | 47,0 e | 52,6 a | 67,6 e | 76,6 bc | 112,6 cd B | 117,0 c A |
| Média | 51,2 B | 55,5 A | 74,0 B | 81,5 A | 116,2 | 121,8 |
| CV. (%) | 3,4 | | 4,7 | | 9,8 | |

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

Tabela 6. Duração (número de dias) dos subperíodos emergência – início da floração (VE - R2), emergência - início do enchimento de grãos (VE - R5) e emergência – maturação fisiológica (VE – R7), de cultivares de soja de ciclo médio, mantidas sob dois manejos de água: sem alagamento (SA) e com alagamento do solo por cinco dias no estágio reprodutivo (a partir de (R2) (APR). Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

| Ciclo Médio | VE – R5 | | VE – R7 | |
|----------------|---------|---------|----------|---------|
| | SA | APR | SA | APR |
| Fepagro 24 | 76,3bc | 86,3a | 116,7bc | 118,3c |
| BRS 246 RR | 71,0de | 74,0bc | 115,0bcd | 116,0c |
| BRS 244 RR | 72,3cd | 75,7abc | 116,0bcd | 119,3bc |
| BRS Charrua RR | 71,3de | 74,0bc | 116,0bcd | 118,7bc |
| PCL 04-16 | 81,7a | 85,7 ab | 121,7a | 125,0a |
| PCL 24M | 78,3ab | 82,3abc | 119,7ab | 123,0ab |
| BRS 66 | 72,7cd | 78,7abc | 111,7d | 119,3bc |
| BR-4 | 74,7bcd | 83,7abc | 116,3bcd | 120,0bc |
| BRS Taura RR | 74,3bcd | 75,7abc | 116,3bcd | 119,0bc |
| PCL 06-03 | 67,7e | 72,3c | 112,7cd | 117,0c |
| Média | 74,0 B | 78,8 A | 116,2 B | 119,6A |
| CV. (%) | 4,7 | | 1,1 | |

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

Em condição normal, uma planta passa pelo período juvenil, fase adulta vegetativa e fase adulta reprodutiva. Para que as plantas floresçam é necessário que sejam capazes de responder aos sinais ambientais, no caso da soja fotoperíodo, e formar o sinal e desenvolver os meristemas capazes de formar flores (TAIZ; ZEIGER, 2009), sendo a passagem do período vegetativo para o reprodutivo marcado pelo início do florescimento.

Para o alagamento ocasionado no estágio reprodutivo, não foi observado interação entre os fatores estudados, no entanto, pode-se observar diferenças entre os manejos de água e entre as cultivares (Tabela 6). O intervalo entre a emergência e o início do florescimento passou de 74 dias em condição de sem alagamento do solo, para 78,8 dias quando utilizado alagamento do solo (aproximadamente 5 dias a mais). A cultivar PCL 04-16 foi a que apresentou maior intervalo, porém estatisticamente igual a cultivar PCL 24 M,

enquanto que a cultivar PCL 06-03 apresentou o menor intervalo, apesar de não diferir estatisticamente das cultivares BRS 246 RR e BRS 244 RR, quando conduzidas sem alagamento do solo. Quando cultivadas com alagamento do solo a cultivar Fepagro 24 apresentou maior ciclo em relação as cultivares BRS 246 RR, BRS Charrua RR e PCL 06-03. Para o intervalo entre a emergência e a maturação (Tabela 6) observa-se novamente aumento do intervalo, passando de 116,2 no tratamento sem alagamento do solo, para 119,6 dias no tratamento com alagamento do solo.

O alagamento do solo no estágio vegetativo reduziu o crescimento das plantas, fato que fica evidenciado pela redução do número de nós na haste principal (Tabela 7). O efeito do alagamento causou redução do número de nós no início da floração, reduzindo de 11,9 quando sem alagamento do solo, para 10,4 quando houve alagamento do solo, não sendo observadas diferenças entre as cultivares em nenhum dos sistemas de manejo de água. Da mesma forma o número de nós no enchimento de grãos foi menor com o alagamento do solo, porém nesta avaliação é possível observar maior efeito do alagamento do solo, pois o número de nós reduziu de 16,1 em condição de sem alagamento do solo, para 13,1 quando em condição de alagamento do solo. Em relação as cultivares não foi observado diferença entre elas em nenhum dos sistemas de manejo de água.

Quando o alagamento do solo ocorreu no estágio reprodutivo não houve interação dos fatores para o número de nós no início do enchimento de grãos (Tabela 8). No entanto observa-se efeito do alagamento do solo, o qual promoveu redução de 16,1 para 15,1 no número de nós. Não houve diferenças entre as cultivares quando cultivadas sem alagamento do solo, no entanto quando cultivadas com alagamento do solo observou diferenças entre elas, onde a cultivar BRS Taura RR apresentou menor desempenho, sendo inferior estatisticamente as cultivares Fepagro 24, PCL 04-16 e PCL 24 M, porém não diferindo das demais. Este resultado mostra menor tolerância ao alagamento do solo desta cultivar.

Tabela 7. Número de nós no início do florescimento (R1) e do enchimento de grãos (R5) de cultivares de soja de ciclo médio, mantidas sob dois manejos de água: sem alagamento (SA) e com alagamento do solo por oito dias no estágio vegetativo (a partir de V3) (APV). Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

| Ciclo | R1 | | R5 | |
|----------------|--------|--------|--------|--------|
| | SA | APV | SA | APV |
| Fepagro 24 | 10,6 a | 11,3 a | 17,6 a | 13,3 a |
| BRS 246 RR | 12,3 a | 11,3 a | 15,3 a | 14,6 a |
| BRS 244 RR | 11,3 a | 9,6 a | 15,6 a | 12,6 a |
| BRS Charrua RR | 12,0 a | 12,0 a | 15,3 a | 15,0 a |
| PCL 04-16 | 12,0 a | 10,3 a | 17,6 a | 12,6 a |
| PCL 24 M | 12,6 a | 10,0 a | 17,6 a | 13,0 a |
| BRS 66 | 13,6 a | 9,0 a | 15,6 a | 12,0 a |
| BR 4 | 12,0 a | 11,0 a | 15,6 a | 12,3 a |
| BRS Taura RR | 12,0 a | 9,3 a | 15,3 a | 12,6 a |
| PCL 06-03 | 10,6 a | 10,0 a | 15,3 a | 13,3 a |
| Média | 11,9 A | 10,4 B | 16,1 A | 13,1 B |
| CV. (%) | 10,1 | | 9,8 | |

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

Tabela 8. Número de nós no início do enchimento de grãos (R5) de cultivares de soja de ciclo médio, mantidas sob três manejos: sem alagamento (SA) e com alagamento do solo por oito dias no estágio reprodutivo (a partir de R2) (APV). Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

| Ciclo Médio | R5 | |
|----------------|--------|----------|
| | SA | APV |
| Fepagro 24 | 17,6 a | 17,7 a |
| BRS 246 RR | 15,3 a | 15,3 abc |
| BRS 244 RR | 15,7 a | 15,3 abc |
| BRS Charrua RR | 15,3 a | 14,0 bc |
| PCL 04-16 | 17,7 a | 16,7 ab |
| PCL 24 M | 17,7 a | 16,7 ab |
| BRS 66 | 15,7 a | 14,3 bc |
| BR 4 | 15,7 a | 14,7 abc |
| BRS Taura RR | 15,3 a | 12,7 c |
| PCL 06-03 | 15,3 a | 14,3 bc |
| Média | 16,1 A | 15,1 B |
| CV. (%) | 8,8 | |

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

Desta forma, observa-se que com o alagamento do solo ocorre um atraso nos estádios fenológicos da cultura. O alagamento do solo pode provocar alterações na respiração aeróbica, no nível nutricional e na fotossíntese, o que pode afetar o crescimento e o desenvolvimento das diferentes partes da planta em um ambiente alagado (BATISTA et al., 2008), podendo assim, atrasar ou adiantar o ciclo das culturas, dependendo do estágio de desenvolvimento que ocorre. Em área com possibilidade de alagamento do solo é importante o planejamento levando em conta as alterações ocorridas, para evitar problemas durante o ciclo da cultura. Sabe-se da importância do planejamento da lavoura para evitar congestionamento de atividades em um único período, principalmente com aplicações de agrotóxicos na cultura.

CONCLUSÕES

O alagamento do solo reduz a altura de plantas, número de nós nas hastes por planta, índice do teor de clorofila e aumenta o ciclo das cultivares em ambos estádios fenológicos (vegetativo e reprodutivo).

REFERÊNCIAS

- AMARANTE, L.; COLARES, D. S.; OLIVEIRA, M. L.; ZENZEN, L. I.; BADINELLI, P. G.; BERNARDI, E. Teores de clorofilas em soja associada simbioticamente com diferentes estirpes de *Bradyrhizobium* sob alagamento. *Revista Brasileira de Biociências*, v. 5, n. 2, p. 906-908. 2007.
- BATISTA, C. U. N.; MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; MEDRI, C.; PIMENTA, J. Á. Tolerância à inundação de *Cecropia pachystachya* Trec. (Cecropiaceae): aspectos ecofisiológicos e morfoanatômicos. *Acta Botânica Brasileira*, v. 22, n. 1, p. 91-98, 2008.
- 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.
- CHOI, W. G.; ROBERTS, D. M. Arabidopsis NIP2;1: a major intrinsic protein transporter of lactic acid induced by anoxic stress. *Journal of Biological Chemistry*, v. 282, n. 33, p. 24209-24218, 2007.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileira: sexto levantamento grãos safra 2014/2015, Brasília, Observatório Agrícola, p. 1-103, 2015.
- DREW, M. C.; HE, C. J.; MORGAN, P. W. Programmed cell death and aerenchyma formation in roots. *Trends in Plant Science*, v. 5, n. 3, p. 123-127. 2000.
- DUTRA, C. C.; PRADO, E. A. F.; PAIM, L. R.; SCALON, S. P. Q. Desenvolvimento de plantas de girassol sob diferentes condições de fornecimento de água. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 33, n. 1, p. 2657-2668. 2012.
- FEHR, W.; CAVINESS, R. H. Stages of soybean development. Special Report 80. Iowa State University Ames, Iowa, 1977.
- GAZOLLA NETO, A.; SCHUCH, L. O. B. Produção de semente e o avanço da soja na Metade Sul do Rio Grande do Sul. *Seed News, Pelotas*, v. 7, n. 3, p. 36- 37, 2013.
- HENSHAW, T. L. Morphological adaptations of soybean in response to early season flood stress. Florida University. 2005. 105p. Tese de MSc.
- JACKSON, M. B.; COLMER, T. D. Response and adaptation by plants to flooding stress. *Annals of Botany*, v. 96, p. 501-505, 2005.
- 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.
- LUDWIG, M. P.; DUTRA, L. M. C.; LUCCA FILHO, A. O.; ZABOT, L.; UHRY, D.; LISBOA, J. I.; JAUER, A. Características morfológicas de cultivares de soja convencionais e Roundup Ready™ em função da época e densidade de semeadura. *Ciência Rural*, v. 40, n. 4, p. 759-767. 2010.
- MAGALHÃES, P. C.; COELHO C. H. M.; GAMA, E. E. G.; GUIMARÃES, P. E.O.; GUIMARÃES, C. T.; DURÃES, F. O. M. 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.
- MOTTA, I. S.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; INOUE, M. H.; AVILA, M. R.; BRACCINI, M. C. L. Época de semeadura em cinco cultivares de soja. I. Efeito nas características agrônômicas. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 24, n. 5, p. 1275-1280. 2002.
- 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.
- SERRES, B. J.; VOESENEK, L. A. C. J. Flooding stress: acclimations and genetic diversity. *Annual Review of Plant Biology*, v. 59, p. 313–39, 2008.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 4. ed. Porto Alegre, Artmed, 2009. 848p.
- THOMAS, A. L.; GUERREIRO, S. M. C.; SODEK, L. Aerenchyma formation and recovery from hypoxia of the flooded root system of nodulated soybean. *Annals of Botany*, v. 96, p. 1191–1198, 2005.
- VANTOAI, T. T.; MARTIN, S. T.; CHASE, S. K.; BORU, K.; SCHMIPKE, V.; SCHMITTHENNER, A. F.; LARK, K. G. Identification of a QTL associated with tolerance of soybean to soil waterlogging. *Crop Science*. v. 41, n. 4, p. 1247-1252. 2001.
- VIDEMŠEK, U.; TURK, B.; VODNIK, D. Root aerenchyma – formation and function. *Acta Agriculturae Slovenica*, v. 87, n. 2, p. 445 – 453, 2006.
- WARHM, E.J.A. Comparison of packing materials for seed with particular reference to humid environments. *Seed Science and Technology*, v.14, n.1, p.191-211, 1996.
- YORDANOVA, R. Y.; POPOVA, L. P. Flooding-induced changes in photosynthesis and oxidative status in maize plants. *Acta Physiology Plant*, v. 29, p. 535–541, 2007.