

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes

Tese



Caracteres agronômicos e qualidade de sementes de soja com alto e baixo vigor submetidas ao estresse por alagamento

Luis Henrique Konzen

Pelotas, 2022

Luis Henrique Konzen

Caracteres agronômicos e qualidade de sementes de soja com alto e baixo vigor submetidas ao estresse por alagamento

Tese 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 Doutor em Ciências.

Orientador: Prof^a Dra Lilian Vanussa Madruga de Tunes

Co-Orientador (es): Prof. Dr. Luciano do Amarante
Dra Andréa Bicca Noguez Martins
Dr. Géri Eduardo Meneghello

Pelotas, 2022

Luis Henrique Konzen

Caracteres agronômicos e qualidade de sementes de soja com alto e baixo vigor submetidas ao estresse por alagamento

Tese aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 31/08/2022

Banca examinadora:

.....
Prof^a. Dra. Lilian Vanussa Madruga de Tunes (Orientador)
Doutora em Agronomia pela Universidade Federal de Santa Maria

.....
Prof. Dr. Mateus da Silveira Pasa
Doutor em Fruticultura pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Profa. Dra. Andréia da Silva Almeida
Doutor em Fitotecnia pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Profa. Dra. Anna dos santos Suñé
Doutora em Fitotecnia pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Dra. Andréa Bicca Noguez Martins
Doutora em Fitotecnia pela Universidade Federal de Pelotas

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

K82c Konzen, Luis Henrique

Caracteres agronômicos e qualidade de sementes de soja com alto e baixo vigor submetidas ao estresse por alagamento/ Luis Henrique Konzen ; Lilian Vanussa Madruga de Tunes, orientadora. — Pelotas, 2022.

72 f.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2022.

1. *Glycine max* (L.) Merrill.. 2. Estresse hídrico. 3. Hipóxia.. 4. Estádio de desenvolvimento. 5. Rendimento de sementes. I. tunes, Lilian Vanussa Madruga de, orient. II. Título.

CDD :
631.521

Elaborada por Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela vida, força, saúde e proteção em todos os momentos da minha vida. Aos meus pais Cleomar Henrique Konzen e Maria Emília H. Konzen, pela educação, incentivo, confiança e apoio em todas as etapas de minha vida.

Em especial, agradeço a minha amada, Bruna Faleiro, por seu amor, companheirismo, confiança, compreensão, e pelo apoio em todos os momentos de minha vida, contribuindo para minha formação e amadurecimento pessoal. E aos nossos filhos, Pedro e Arthur, por todo o amor, afeto, e felicidades que me proporcionam.

Aos meus sogros João Faleiro e Laci Faleiro, pela estrutura disponibilizada para realização de pesquisas, pelas contribuições, ajudas, e por todo apoio.

A Professora Dra. Lilian Vanussa Madruga de Tunes pela orientação, confiança, conhecimentos transmitidos, parceria e amizade construída neste período.

Aos Co-Orientadores, Prof. Dr. Luciano do Amarante, e Dr. Géri Eduardo Meneghello, pelas contribuições, ajuda, amizade e confiança. Em especial a Co-Orientadora Dra Andréa Bicca Noguez Martins que sempre se dispôs em ajudar, aos seus conselhos, a amizade e parceria.

Agradeço aos amigos Alberto Bohn, Gabriel Bortolin, Yutcelia Galviz, Lorenzo Arenhardt, Naiane Reis e Gabriele Teixeira, pelo auxílio na execução e avaliação dos experimentos, pela amizade, e contribuições durante o curso. Em especial, agradeço ao amigo Alcimar Mazon, pelos conhecimentos compartilhados, à amizade, ao auxílio nas pesquisas, às contribuições, e a parceria durante este período.

Aos colegas e amigos, Anna Suñé, Bruna Barreto Reis, Cleiton Brandão, Daniele Brandstetter, Gustavo Zimmer, Gustavo Rodrigues, e Henrique Chagas, pela amizade, companheirismo, parceria, e por momentos de descontração.

Ao Pesquisador, Mestre Orozimbo Carvalho, e a equipe do Centro Tecnológico do Chasqueiro, pela estrutura disponibilizada para pesquisas, e pelas contribuições que agregaram na minha formação acadêmica e profissional.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, pela amizade e ensinamentos transmitidos.

A Universidade Federal de Pelotas pela estrutura disponibilizada.

Ao CNPq pela concessão da bolsa.

Enfim, Agradeço a todos aqueles que de alguma forma contribuíram nesta caminhada.

Resumo

KONZEN, Luis Henrique. Caracteres agronômicos e qualidade de sementes de soja com alto e baixo vigor submetidas ao estresse por alagamento. 72f. Orientadora: Prof. Dra Lilian Vanussa Madruga de Tunes. Doutorado em Ciências – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022

A condição de alagamento do solo é considerada como um dos principais estresses abióticos em diversos ecossistemas, causando decréscimos no potencial genético de crescimento e rendimento das plantas. Além do ambiente de cultivo, outros fatores, como a escolha adequada da cultivar e a qualidade das sementes a serem utilizadas, contribuem para o estabelecimento, e construção de uma lavoura produtiva. Sementes com alto vigor resultam em plântulas fortes, vigorosas, com maior desenvolvimento e que se estabelecem melhor frente às diferentes condições edafoclimáticas impostas. Poucos estudos testaram a suscetibilidade ao encharcamento ao longo das diferentes fases fenológicas da cultura analisando, conjuntamente, o efeito de cultivares e do vigor das sementes, no desempenho fisiológico das sementes produzidas. Portanto, este estudo foi realizado com objetivo de avaliar os caracteres agronômicos de cultivares de soja, bem como a qualidade fisiológica das sementes produzidas, em função do vigor inicial das sementes, de diferentes cultivares, submetidas ao estresse por alagamento do solo em diferentes estádios fenológicos da cultura. Foram utilizadas sementes de soja com variações de vigor obtidas em condições controladas, das cultivares NA5909RG, NS6209RR, TMG7363RR e TECIRGA6070RR. O estudo foi composto por três fatores: quatro cultivares, dois níveis de vigor de sementes (alto e baixo vigor), e três regimes de cultivo (cultivo sem alagamento; cultivo com alagamento temporário de 5 dias à partir do estágio V6; e cultivo com alagamento temporário de 5 dias à partir do estágio R2). Os caracteres agronômicos foram determinados através das avaliações do número de legumes por planta, número de sementes por legume, número de sementes por planta, massa de mil sementes, estatura de plantas, número de nós produtivos na haste principal, número de ramos secundários, altura da inserção do primeiro legume, diâmetro do caule, rendimento de sementes por planta, e conteúdos centesimais de proteína e óleo. A qualidade fisiológica das sementes produzidas foi avaliada através dos testes de germinação, primeira contagem de germinação, envelhecimento acelerado, emergência de plântulas à campo, comprimento de plântulas, massa da matéria seca de plântulas, e condutividade elétrica. O estresse por alagamento do solo ocasiona reduções no número de legumes por planta, número de sementes por planta, número de nós produtivos na haste principal, número de ramos secundários, no rendimento de sementes por planta, no teor de óleo, e na qualidade fisiológica das sementes produzidas. O alto vigor das sementes proporciona incrementos no rendimento de sementes por planta, na massa de mil sementes, no número de nós na haste principal, na altura da inserção do primeiro legume, e no teor de óleo das sementes. A expressão, e a intensidade de resposta do vigor inicial das sementes sobre a qualidade fisiológica das sementes produzidas por plantas de soja submetidas ao estresse por alagamento é dependente do genótipo.

Palavras chave: *Glycine max* (L.) Merrill. Estresse hídrico. Hipóxia. Estádio de desenvolvimento. Rendimento de sementes. Qualidade fisiológica.

Abstract

KONZEN, Luis Henrique. Agronomic characteristics and quality of high and low vigor soybean seeds subjected to flood stress. 72f. Doutorado em Ciências – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022

The condition of soil waterlogging is considered as one of the main stresses in several ecosystems, unrecognized potential of genetic plants for growth and yield. In addition to the cultivation environment, other factors, such as the proper choice of cultivar and the quality of the seeds to be used, contribute to the establishment and construction of a productive crop. They are established with greater vigor and better conditions are established for development under the best conditions and conditions established, with definition of different conditions. Few studies have tested the susceptibility to waterlogging along the different phenological phases of the crop, analyzing, together, the effect of cultivars and seed vigor, without phytotherapeutic seed performance. Therefore, this agronomic systems evaluation study was carried out with the quality of soybean solutions targeting the cultivars well, depending on the effort to evaluate the initial soybean cultivars, as a function of the initial effort of the soybean solutions, from different solutions, with soil implementation in different phenological phenotypes of the crop. They were seeds with variations in vigor, cultivated under controlled conditions, of the cultivars NA5909RR, TMG73RG RR09RR and TECIRGA RG6RR. The low study was composed of three factors: four cultivars, two levels of seed vigor (high and vigor), and three cultivation regimes (culture without flooding; cultivation with temporary flooding of 5 days from the V6 stage; and cultivation with temporary delay of 5 days from stage R2). The agronomic characters were determined by estimating the number of seeds per plant, number of seeds per legume, number of seeds per plant, weight of one thousand seeds, plant height, height of productive nodes in the main rush, number of secondary seeds, insertion of the first legume, stem diameter, seed yield per plant, and proximate protein and oil contents. The electrical quality of the plants installed, the measure of the amount of germination tests, increased, the amount of germination equipment increased, the amount of dry matter of field plants, the amount of dry matter of plants to be installed, the amount of plant dry matter. The stress from occasional soil waterlogging on the number of seeds per plant, secondary number of seeds per plant, number of productive branches in the main rush, number of productive branches in the main rush, without seed yield per plant, without theory, and on the quality question physiology. The high vigor of the seeds provides increments in the seed yield per plant, in the mass of a thousand seeds, in the number of nodes in the main rush, in the time of insertion of the first vegetable, and in the oil content of the seeds. The expression, and the intensity of response of vigor, seed quality, attention solutions for the proposed soybean plants, are dependent on vigor.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merrill. Hydrical stress. Hypoxia. Development Stadium. Seed yield. Physiological quality.

Sumário

1	Introdução.....	7
2	Revisão de literatura	9
2.1	Cultivo de soja em terras baixas	9
2.2	Importância das sementes, e sua qualidade	13
3	Capítulo 01 - Qualidade fisiológica: efeito de diferentes níveis de vigor da semente e do estresse por alagamento	18
3.1	Introdução.....	18
3.2	Material e Métodos	19
3.3	Resultados e Discussão	22
3.4	Conclusões	40
4	Capítulo 02 - Desempenho fisiológico de sementes oriundas de plantas de soja emergidas de sementes com alto e baixo vigor, de diferentes cultivares, submetidas ao estresse por alagamento	41
4.1	Introdução.....	41
4.2	Material e Métodos	42
4.3	Resultados e discussão	46
4.4	Conclusões	57
5	Considerações finais.....	58
	Referências.....	60

1 Introdução

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma commodity de grande importância econômica para o Brasil, e é a principal cultura do agronegócio brasileiro. O País é o maior produtor mundial de soja, com produção de aproximadamente 139,5 milhões de toneladas na safra 2020/2021, supera a produção dos Estados Unidos, e da Argentina, que produzem 114,75 e 46,20 milhões de toneladas, respectivamente (USDA, 2022).

O Rio Grande do Sul é um dos principais produtores da soja brasileira, sendo responsável por aproximadamente 15% da produção nacional, com produção na safra de 2020/2021 de 20,78 milhões de toneladas, em uma área cultivada de 6,05 milhões de hectares (CONAB, 2022). No Rio Grande do Sul, em rotação com o arroz irrigado, o cultivo da soja em terras baixas teve um avanço significativo nas últimas safras, com 426 mil hectares cultivados na safra 2021/2022 (IRGA, 2022).

A área de soja cultivada na metade Sul do Rio Grande do Sul vem expandindo, e esse aumento é devido a introdução do cultivo da soja em rotação com o arroz irrigado. Porém as terras baixas são planas e com baixa declividade, os solos apresentam média fertilidade natural e baixa capacidade de drenagem (hidromorfismo), aspecto que representa um dos principais desafios para a diversificação da matriz produtiva dessas regiões (EMBRAPA, 2017).

Segundo Denardin (2014), o sucesso do cultivo de soja em Terras Baixas depende basicamente de duas tecnologias essenciais, sendo uma tecnologia de produto, que consiste em introdução de cultivares adaptadas as condições de solo sujeito a períodos de encharcamento, e outra tecnologia de processo, que está fundamentada na drenagem do solo.

Considerando que a semente é base da agricultura moderna e carrega um valor inestimável, sendo fruto de elevados investimentos em pesquisa e tecnologia. Com a elevação do grau tecnológico dos sistemas de produção agrícola, aumenta-se a exigência por sementes de alto desempenho, levando as empresas produtoras de sementes à buscarem excelência em sua produção (KRZYZANOWSKI et al, 2008; PESKE et al, 2012). Contudo, para a obtenção de estande adequado de plantas, e obtenção de sucesso pleno de rendimentos, a qualidade de sementes tem importante papel, visto que estas possuem atributos que garantem parâmetros mínimos de

qualidade. Os atributos da qualidade de sementes, são caracterizados pela qualidade genética, física, fisiológica e sanitária (PESKE et al, 2019).

Dentre os atributos da qualidade, a qualidade genética e a fisiológica merecem atenção especial quando o se tem o objetivo de sucesso produtivo da cultura em regiões de terras baixas. A qualidade genética das sementes, neste caso é representada por cultivares mais adaptadas as condições de regiões de terras baixas, e a qualidade fisiológica é representada pela germinação e principalmente pelo vigor. Estes atributos podem influenciar no estande e distribuição adequada de plântulas no campo, podendo afetar também o rendimento da cultura. Neste sentido, a avaliação dos efeitos do potencial fisiológico das sementes de soja sobre o estabelecimento e desempenho de plântulas em condições de campo é extremamente relevante, devido à importância dessa cultura no contexto do agronegócio e da economia brasileira (Schuch et al., 2009).

Estudos sobre a expressão do vigor de sementes, e o desempenho de diferentes genótipos, frente a condições de alagamento nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura, são importantes para auxiliar na descrição do desempenho de plantas frente ao referido estresse ambiental. Além disso, poucos estudos testaram a suscetibilidade ao encharcamento ao longo das diferentes fases fenológicas da cultura analisando, conjuntamente, o efeito de cultivares e do vigor das sementes, no desempenho fisiológico das sementes produzidas. Portanto, este estudo foi realizado com objetivo de avaliar os caracteres agronômicos de cultivares de soja, e a qualidade fisiológica das sementes produzidas, em função do vigor inicial das sementes, de diferentes cultivares, submetidas ao estresse por alagamento do solo em diferentes estádios fenológicos da cultura.

2 Revisão de literatura

2.1 Cultivo de soja em terras baixas

No Brasil, estima-se que existam aproximadamente 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, onde grande parte destas áreas podem ser incorporadas ao processo produtivo.

No estado do Rio Grande do Sul os solos de várzeas, ou terras baixas, predominam os Planossolos, onde 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).

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 O₂, acúmulo de CO₂, metano, etileno, gás sulfídrico (H₂S), 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 CO₂, 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 104 vezes menor), o que leva a raiz a hipóxia (IRFAN et al, 2010). Por causa dessa barreira na difusão do gás, o nível celular de O₂ pode ser reduzido a concentrações que restringem a respiração aeróbia (GIBBS; GREENWAY, 2003; FUKAO; 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 O₂. 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 O₂ (BACANAMWO; PURCELL, 1999). De acordo com Bartlett; James, (1993), a habilidade das plantas em tolerar condições com restrição de O₂ está ligada com a habilidade das raízes em oxidar a rizosfera por meio da transferência de O₂ 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. 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 (BAILEY-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.

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 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.

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; BAILEY-SERRES; VOESENEK, 2008). O cultivo sob condições em que possa ocorrer alagamento requer estudos prévios de avaliação de cultivares que possuam capacidades diferenciadas de tolerância ao alagamento, buscando a obtenção de maiores rendimentos nesta condição.

2.2 Importância das sementes, e sua qualidade

As sementes representam um meio de sobrevivência das espécies vegetais, pois resistem a condições adversas que seriam fatais a essas espécies e, mesmo após a extinção das plantas que lhes deram origem, elas podem se desenvolver e originar novas plantas. Elas são o principal veículo de reprodução das plantas através do tempo e no espaço, e a forma de distribuir o melhoramento genético às sucessivas gerações. Além disso, também apresentam importância econômica como alimento (correspondem a 60-70% dos alimentos consumidos mundialmente) e são transformadas pela agroindústria em uma variedade de produtos (MARCOS FILHO, 2005).

A qualidade da semente é caracterizada pelo somatório dos atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários, sendo que esses irão determinar o desempenho da semente quando semeada ou armazenada (PESKE; VILLELA; MENEGHELLO, 2019). Dentre os atributos da qualidade de sementes, a qualidade fisiológica, representada pela germinação, dormência e principalmente pelo vigor, é extremamente importante, pois esta característica está diretamente relacionada com o adequado estabelecimento das plântulas e a obtenção de estande uniforme de plantas no campo.

Para França Neto et al., (2010), estes atributos da semente conferem a garantia de um elevado desempenho agrônomo, que é a base fundamental do sucesso para uma lavoura tecnicamente bem instalada. A semente de soja, para ser considerada de alta qualidade, deve ter características fisiológicas e sanitárias, tais como altas taxas de vigor, de germinação e de sanidade, bem como garantia da pureza física e

varietal, e não conter sementes de plantas daninhas. Esses fatores impactam diretamente no desempenho da semente no campo, culminando com o estabelecimento da população de plantas requerida pela cultivar, aspecto fundamental que contribui para que sejam alcançados níveis altos de produtividade.

Em tecnologia de sementes entende-se que germinação corresponde a emergência e o desenvolvimento das estruturas do embrião, com capacidade de originar uma plântula normal sob condições de ambiente favoráveis (BRASIL, 2009). Porém, essas informações não refletem com precisão o desempenho destas no campo (CARNEIRO, 2003). O vigor de sementes por sua vez, compreende as propriedades da semente que determinam o potencial para a emergência e desenvolvimento rápido e uniforme de plântulas normais sob condições adversas de ambiente. São consideradas sementes de alto vigor aquelas que são capazes de apresentarem um bom desempenho sob condições adversas de ambiente, e as que apresentarem um fraco desempenho sob essas condições são consideradas sementes de baixo vigor (PESKE; VILLELA; MENEGHELLO, 2019).

Existem várias maneiras de determinar o vigor de um lote de sementes, dentre os testes disponíveis, o teste de envelhecimento acelerado é considerado um dos mais sensíveis e eficientes para avaliação do vigor de diversas espécies (MARCOS FILHO, 2015). É frequentemente utilizado em programas de controle de qualidade de sementes e por empresas sementeiras de todo mundo. Esse teste foi originalmente, desenvolvido para determinar o potencial de armazenamento das sementes. Neste teste, as sementes são submetidas a temperaturas e umidades relativas elevadas, por curtos períodos; em seguida, são colocadas nas condições adequadas para germinar. Lotes de sementes de alto vigor devem manter sua viabilidade quando submetidos a essas condições, enquanto os de baixo vigor terão sua viabilidade reduzida (AOSA, 1983). Dessa forma, permite realizar a classificação das sementes através do vigor.

O teste de envelhecimento acelerado, conforme metodologia com uso de água, desenvolvida por McDonald; Phannendranath, (1978), vem sendo aprimorado por diversos pesquisadores e é considerado um dos procedimentos para condução do teste mais recomendado atualmente (MARCOS FILHO, 2015).

A utilização de sementes de alta qualidade são fatores básicos da maior importância para o sucesso da cultura da soja. Sementes de alta qualidade contribuem significativamente para que níveis de alta produtividade sejam alcançados. Sementes

de baixa qualidade comprometem a obtenção de estande de plantas adequado, influenciando diretamente na produtividade da lavoura (KRZYZANOWSKI et al., 2008).

De acordo com Kolchinski et al. (2005), sementes com baixo vigor podem provocar reduções na velocidade e na emergência total, na estatura inicial, na produção de matéria seca, no tamanho da área foliar e nas taxas de crescimento das plantas, podendo afetar o estabelecimento da cultura, o seu desempenho ao longo do ciclo e a produtividade final. A maior velocidade na emergência e produção de plântulas com maior estatura pode proporcionar às plantas provenientes das sementes vigorosas uma vantagem inicial no aproveitamento de água, luz e nutrientes. Dados de pesquisa comprovam que lavouras de soja originadas com sementes de elevada qualidade propiciam produtividades superiores.

Em nível de campo, para que ocorra a emergência é necessário que a semente seja fisiologicamente viável e não dormente, que o solo forneça água suficiente e que haja temperatura adequada para permitir a ativação das reações químicas relacionadas ao metabolismo e, com isto, a retomada do processo de desenvolvimento do embrião (ZIMMER, 2012).

Sementes de alta qualidade resultam em plântulas fortes, vigorosas, com maior desenvolvimento e que se estabelecem melhor frente às diferentes condições edafoclimáticas impostas, com maior velocidade de emergência e de desenvolvimento das plantas, atingindo um rápido fechamento das entrelinhas, o que resulta também no controle mais eficiente das plantas daninhas (FRANÇA NETO et al., 2010).

Para Marcos Filho (2015), sementes com alto potencial fisiológico são capazes de germinar uniforme e rapidamente sob ampla variação do ambiente são caracterizadas pelo teste de velocidade de germinação, de modo que a emergência tardia de plântulas reflete o menor vigor. A rapidez e o sincronismo são muito importantes porque permitem reduzir o grau de exposição das sementes e das plântulas a fatores adversos.

Nas situações em que a população de plantas está abaixo da recomendada, causada pelo inadequado desempenho das sementes adquiridas pelo agricultor, haverá a necessidade de ressemeadura, ocasionando-lhe grandes prejuízos referentes ao aumento do custo de produção (KRZYZANOWSKI et al., 2008).

O desempenho das sementes de soja em campo é o principal fator de sucesso na lavoura. O uso de sementes de baixo vigor pode acarretar em baixo estande de plantas, bem como desuniformidade, má distribuição e baixo desenvolvimento,

podendo afetar o rendimento econômico. No entanto, a influência do vigor das sementes sobre a produtividade das culturas não é unanimidade entre os autores, tendo sido contraditória na literatura. Porém, trabalhos recentes têm mostrado efeito direto do vigor das sementes sobre o rendimento de grãos (MELO, 2005).

Na implantação de uma lavoura de soja, o estande final de plantas associado ao seu arranjo espacial entre plantas e entre as linhas são fatores que afetam diretamente a produtividade. Apesar da alta plasticidade da soja, existem limites de compensação que são determinados pela interação entre a qualidade das sementes, da semeadura e das condições do solo, além da estreita relação entre o genótipo e ambiente. A germinação e o vigor podem influenciar o rendimento da cultura através de efeitos diretos e indiretos. Os efeitos indiretos incluem o porcentual de emergência e tempo da semeadura à emergência. Esses influenciam rendimento por alterações da densidade populacional de plantas, arranjo espacial e duração do ciclo da cultura. Efeitos diretos estariam relacionados à capacidade diferenciada de plântulas acumularem matéria seca, em função da variação no nível de vigor das sementes e são mais difíceis de serem percebidos (SILVA, 2010).

Populações originadas de lotes de menor vigor são mais variáveis em estatura de plantas, produção de matéria seca e área foliar por planta, diâmetro do caule, número de hastes e vagens por planta e, inclusive no rendimento de grãos por planta. Já em lotes de alta qualidade, esta variação é menor e plântulas oriundas das sementes com maior qualidade fisiológica, em função da emergência precoce e rápida e de maior tamanho inicial, podem em condições ambientais favoráveis obter uma vantagem inicial no aproveitamento de água, luz e nutrientes (CANTARELI, 2005).

Plantas oriundas das sementes mais vigorosas, em função da maior área foliar e maiores taxas de crescimento da parte aérea são mais eficientes na competição por luz. Assim, associando plantas originárias de sementes com diferentes níveis de vigor, provavelmente, as plantas com maior crescimento da parte aérea afetarão a intensidade e a composição da luz incidente sobre as plantas com menor crescimento na comunidade vegetal e, por consequência, possivelmente refletirá no desenvolvimento e produção individual dessas plantas (SCHUCH et al., 1999).

Vários estudos vêm demonstrando o efeito do vigor das sementes sobre a produtividade da soja. Kolchinski et al. (2006), verificaram que plantas provenientes das sementes de alto vigor apresentam maior índice de área foliar, produção de matéria seca e acréscimos superiores a 35% no rendimento de sementes, em relação

ao uso das sementes de baixo vigor. Scheeren et al. (2010), observou estreita relação entre o vigor das sementes e produtividade, constatando um incremento de 9% pelo uso de sementes de alto vigor. Silva, (2010), verificou que plantas de soja originadas de sementes de alto vigor apresentam desempenho superior em relação às originadas de sementes de baixo vigor dentro das comunidades, apresentando rendimento superior a 30% em comparação àquelas originadas de baixo vigor.

Carvalho; Nakagawa, (2000), citam vários trabalhos que mostram a influência do nível de vigor sobre a produtividade de várias culturas, sendo frequente a ocorrência de reduções significativas na produção pelo uso de sementes de baixo vigor. Entretanto Vanzolini; Carvalho, (2002), ao avaliarem lotes de sementes de soja de diferentes níveis de vigor, e com germinação acima de 75%, concluíram que o desempenho no campo, não resultou em produtividades significativamente diferentes.

Trabalhando com a cultura da aveia preta visando estudar o efeito do vigor das sementes no desenvolvimento das plantas, Schuch et al., (2000), constataram que sementes de baixo vigor podem provocar reduções na velocidade de emergência de plântulas, na estatura inicial de plantas, na área foliar, nas taxas de crescimento das plantas e no acúmulo de massa de matéria seca. Esses efeitos podem, ainda, afetar além do estabelecimento da cultura, o seu desempenho ao longo do ciclo, bem como a produtividade final.

Assim, a influência do vigor das sementes sobre a emergência das plântulas em campo, o estabelecimento do estande e o desenvolvimento inicial das plantas é um consenso tanto para a comunidade científica quanto para o setor produtivo, especialmente sob condições menos favoráveis de ambiente (MARCOS FILHO, 2005; TILLMANN; MENEZES, 2012).

3 Capítulo 01 - Qualidade fisiológica: efeito de diferentes níveis de vigor da semente e do estresse por alagamento

3.1 Introdução

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma commodity de grande importância econômica global, e é a principal cultura do agronegócio brasileiro. O País é o maior produtor mundial de soja, com produção de aproximadamente 139,5 milhões de toneladas na safra 2020/2021, representando cerca de 35% da produção mundial do grão (USDA, 2022). No Rio Grande do Sul, em rotação com o arroz irrigado, o cultivo da soja em terras baixas teve um avanço significativo nas últimas safras, com 426 mil hectares cultivados na safra 2021/2022 (IRGA, 2022).

Os solos de várzeas, ou terras baixas no estado do Rio Grande do Sul, predominam os Planossolos, onde 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). Em decorrência destas características, em épocas de chuva abundante o solo permanece coberto por lâmina de água por longos períodos (VEDELAGO, 2014).

A condição de alagamento do solo é considerada como um dos principais estresses abióticos em diversos ecossistemas (BAILEY - SERRES; VOESENEK, 2008). Esses estresses, são caracterizados por condições ambientais que causam decréscimos no potencial genético de crescimento e rendimento das plantas (MICKELBART et al., 2015). Com o solo alagado, ocorre a redução da disponibilidade de oxigênio para as plantas, em função da baixa difusão do oxigênio pela água (ZABALZA et al., 2008), limitando o crescimento de diversas espécies vegetais (RAMOS et al., 2010; COELHO et al., 2013; ROSA et al., 2015; BAILEY - SERRES; VOESENEK, 2008).

Em resposta ao alagamento do solo, modificações na arquitetura, no metabolismo e no acúmulo de biomassa ocorrem em função da diversidade genética das plantas. Essas modificações são mecanismos associados a uma estratégia de sobrevivência à baixa concentração de oxigênio, permitindo a tolerância das plantas a períodos prolongados de alagamento (BAILEY - SERRES E VOESENEK, 2008). Além do ambiente de cultivo, outros fatores, como a escolha adequada da cultivar, a

qualidade das sementes a serem utilizadas, bem como a interação entre esses fatores contribuirão para o estabelecimento, e construção de uma lavoura produtiva (PROCÓPIO et al., 2014).

O vigor das sementes tem forte influência sobre a emergência e o estabelecimento das plântulas no campo, especialmente em condições adversas de ambiente (MARCOS FILHO, 2015; EBONE et al., 2020). A uniformidade de estande tem relação direta com o vigor das sementes (CANTARELLI et al., 2015). Sementes de alta qualidade resultam em plântulas fortes, vigorosas, com maior desenvolvimento e que se estabelecem melhor frente às diferentes condições edafoclimáticas impostas, com maior velocidade de emergência e de desenvolvimento das plantas, atingindo um rápido fechamento das entrelinhas (FRANÇA NETO et al., 2010).

Estudos sobre a expressão do vigor de sementes, e o desempenho de diferentes genótipos, frente a condições de alagamento nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura, são importantes para auxiliar na descrição do desempenho de plantas frente ao referido estresse ambiental. Portanto, este estudo foi realizado com objetivo de avaliar os caracteres agronômicos de cultivares de soja, em função do vigor inicial das sementes, de diferentes cultivares, submetidas ao estresse por alagamento do solo em diferentes estádios fenológicos da cultura.

3.2 Material e Métodos

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação, e no Laboratório Didático de Análise de Sementes “Flávio Farias Rocha” da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas (FAEM/UFPel), localizado em Capão do Leão – RS.

O ensaio foi realizado na safra 2019/2020, utilizando sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) com variações de vigor obtidas em condições controladas, das cultivares NA 5909 RG, NS 6209 RR, TMG 7363 RR, e TEC IRGA 6070 RR. O estudo foi composto por três fatores, sendo eles, quatro cultivares, dois níveis de vigor de sementes (alto e baixo vigor), e três regimes de cultivo (cultivo sem alagamento (controle); cultivo com alagamento temporário de 5 dias à partir do período vegetativo – V6; e cultivo com alagamento temporário de 5 dias à partir do período reprodutivo – R2; estádios fenológicos segundo escala de Fehr; Caviness (1977)), constituindo um esquema trifatorial (4x2x3), totalizando 24 tratamentos e 96 unidades experimentais.

Cada unidade experimental foi constituída por quatro vasos com 2 plantas em cada, totalizando 8 plantas por unidade experimental. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições estatísticas. Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando significativos, os efeitos foram avaliados pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Para obtenção da qualidade fisiológica inicial das sementes, foram realizados testes de germinação (BRASIL, 2009), e vigor através da emergência em canteiros, determinado aos 9 dias após semeadura, conforme relatado por Krzyzanowski et al. (2018). As sementes classificadas como alto vigor foram obtidas pela utilização de lotes com médias de 92% de germinação e 89% de emergência em canteiros, enquanto que as sementes classificadas como de baixo vigor, foram obtidas a partir dos mesmos lotes, mediante a aplicação do envelhecimento acelerado com solução salina saturada (40g de NaCl.100mL⁻¹ de água) à 41°C por um período de 48, 72 e 96 horas para as cultivares NA 5909 RG, TEC IRGA 6070 RR, e TMG 7363 RR, respectivamente, e aplicação do envelhecimento acelerado com H₂O à 43°C por um período de 48 horas para a cultivar NS 6209 RR. Após os tratamentos de envelhecimento acelerado, os lotes de sementes classificadas como baixo vigor passaram por processo de secagem, até atingirem um teor de água de 12%, e foram analisados, apresentando valores médios de 89% de germinação, e 63% de emergência em canteiros.

Momentos antes da semeadura, as sementes receberam tratamento químico com um produto comercial a base de fungicidas e inseticida (Piraclostrobina (25 g.L⁻¹) + Tiofanato metílico (225 g.L⁻¹) + Fipronil (250 g.L⁻¹)) na dose de 200 mL.100 kg⁻¹ de sementes. As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium elkanii*, linhagem SEMIA 587 e SEMIA 5019 (BRASILEC TS IN-BOX), com 480 g.100 Kg⁻¹ de sementes (4 doses). Para auxiliar na fixação do inoculante turfoso, as sementes foram umedecidas com solução açucarada a 10% (600 mL.100 kg⁻¹ de sementes), em seguida receberam o inoculante, que foi homogeneizado em meio as sementes. A semeadura foi realizada em 23/12/2019, utilizando semeadoras manuais.

As plantas foram cultivadas em vasos contendo 8 Kg de solo, previamente peneirado, coletado do horizonte A1 de um Planossolo Háplico (STRECK et al., 2008). O manejo da calagem foi realizado de acordo com o Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS - RS/SC, 2016). A adubação potássica e fosfatada foi realizada com KCl e Superfosfato Triplo moídos, e

homogeneizados ao solo, na dose equivalente a 3 vezes a recomendação observada no Manual citado acima, a fim de que as concentrações destes nutrientes no solo não fossem limitantes ao desenvolvimento da cultura.

Para obter as plântulas mais representativas do comportamento médio dos lotes, realizou-se a semeadura de três a quatro sementes por cova, e posteriormente, efetuou-se o desbaste deixando uma planta por cova, e duas plantas por vaso. O desbaste ocorreu entre 4 e 7 dias após a semeadura, visto que os lotes de maior vigor emergiram com maior velocidade quando comparados aos lotes de baixo vigor. Visando evitar a competição intra-específica durante o período de condução do experimento, utilizou-se espaçamento entre plantas no vaso de 10 cm, 50 cm entre linhas de semeadura. Com auxílio de um sistema de irrigação (microtubos individuais por vaso), acionado automaticamente, com frequência diária de 3 vezes, o solo de cultivo foi mantido próximo a capacidade de campo.

O alagamento temporário de 5 dias foi imposto através do encaixe do vaso perfurado (cultivado) em outro vaso ligeiramente maior com aplicação de um filme plástico impermeável entre os dois, em seguida os vasos receberam água até formar uma lâmina de 5 cm sobre a superfície do solo. Após 5 dias, os vasos perfurados (cultivados) foram desencaixados e drenaram naturalmente. Plantas controle, não foram submetidas ao alagamento, outras receberam alagamento somente no período vegetativo e as demais foram submetidas ao alagamento somente no período reprodutivo. O manejo fitossanitário foi feito para controlar pragas, doenças e plantas daninhas, conforme recomendações para a cultura.

Ao final do ciclo, 8 plantas por unidade experimental foram coletadas com auxílio de uma tesoura de poda, realizando-se o corte da haste principal rente ao solo. Foram realizadas as avaliações dos componentes do rendimento, através da determinação das variáveis: número de legumes por planta (NLP), número de sementes por legume (NSL), número de sementes por planta (NSP), massa de mil sementes (MMS) (Brasil, 2009), estatura de plantas, número de nós produtivos na haste principal, número de ramos secundários, altura da inserção do primeiro legume, e diâmetro do caule. A estatura de plantas foi determinada com auxílio de régua graduada, com medição em centímetros, da base da planta (rente ao solo), até o último nó do ápice da haste principal. A altura da inserção do primeiro legume foi determinada com auxílio de régua graduada, medida em centímetros da base da planta (rente ao solo), até a inserção do primeiro legume ao longo da haste principal.

O diâmetro do caule foi determinado em mm, com o uso de paquímetro digital. Após a trilha, secagem, pesagem das sementes, e determinação da umidade, calculou-se o rendimento de sementes por planta, que foi expresso em gramas de sementes por planta, com umidade corrigida a 13% (base úmida).

Os conteúdos centesimais de proteína e óleo foram determinados em sementes íntegras e limpas, por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) de acordo com Heil (2012). Cada amostra, foi submetida a leituras em triplicata, utilizando um método Analisador Antaris TM II FT-NIR da Thermo Scientific (Thermo Electron Co., EUA).

3.3 Resultados e Discussão

O estresse por alagamento aplicado neste estudo, independentemente do estágio fenológico da cultura, ocasionou redução do número de legumes por planta, com reduções de aproximadamente 20%, conforme demonstrado na tabela 1. O excesso hídrico do solo em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura da soja afeta fortemente os componentes do rendimento, com variações no número de legumes por planta, número de sementes por legume e produção de sementes (Schoffel et al., 2001). Trabalhando com culturas sob hipóxia do solo, Sá (2005) observa redução de 30% no número médio de legumes em plantas de soja submetidas ao estresse por excesso hídrico do solo no período reprodutivo. Resultados semelhantes foram observados por Scott et al. (1989), e corroboram com resultados obtidos por Schöffel et al. (2001), que observaram reduções de aproximadamente 24 e 35% do número de legumes de plantas de soja submetidas ao alagamento do solo durante o estágio reprodutivo R2 e R4, respectivamente, em comparação as plantas que receberam o estresse no estágio fenológico V6.

Tabela 1. Número de legumes.planta⁻¹ obtidos à partir de plantas originadas de sementes de alto e baixo vigor, das cultivares NA 5909 RG, NS 6209 RR, TMG 7363 RR, e TEC IRGA 6070 RR, submetidas ao estresse por alagamento.

Cultivar	Nº de legumes.planta⁻¹
TEC IRGA 6070 RR	47,0 a
NS 6209 RR	43,3 a
TMG 7363 RR	37,5 b
NA 5909 RG	36,3 b
Média	41,0

Estresse por alagamento temporário	Nº de legumes.planta⁻¹
Controle (sem alagamento)	47,0 a
Alagamento no estágio reprodutivo	38,9 b
Alagamento no estágio vegetativo	37,2 b
Média	41,0

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); ns – teste F não significativo; Controle (sem alagamento) – Plantas que não receberam estresse por alagamento; Alagamento no estágio vegetativo – Plantas que receberam alagamento temporário a partir do estágio fenológico V6 da cultura; Alagamento no estágio reprodutivo – Plantas que receberam alagamento temporário a partir do estágio fenológico R2 da cultura

A hipóxia do solo, durante o estágio reprodutivo, reduz o período de formação e o número de flores, por consequência, o número de legumes (SIONIT; KRAMER, 1977). Dentre os componentes do rendimento, o número de legumes por planta é o que tem maior sensibilidade ao alagamento do solo, devido à grande dependência da fixação de nitrogênio, que por sua vez, depende da presença de O₂ (BACANAMWO; PURCELL, 1999). Em condições normais de desenvolvimento, as plantas de soja apresentam um abortamento espontâneo de flores e legumes, porém, em condições de solos alagados ocorre um aumento da queda de flores e legumes, em decorrência da redução da difusão de oxigênio (LUXMOORE; FISCHER; STOLZY, 1973), à redução da disponibilidade de nitrogênio para as plantas (LATHWELL; EVANS, 1951), e à redução da fixação biológica de nitrogênio (COSTA, 1973). O efeito do alagamento do solo é maior quando as plantas de soja se encontram no estágio reprodutivo, com reduções de até 53% de legumes no florescimento, e decréscimos de até 31% no número de legumes se o alagamento ocorrer no período vegetativo (BARNI, 1973), demonstrando ser o componente mais afetado pelo excesso hídrico do solo (BARNI, 1978).

As plantas das cultivares TEC IRGA 6070 RR e NS 6209 RR obtiveram o maior número de legumes, com 47,0 e 43,3 legumes por planta, respectivamente. Já as cultivares TMG 7363 RR e NA 5909 RG apresentaram os menores valores para esta variável, com 37,5 e 36,3 legumes por plantas. Os efeitos do alagamento do solo, e

sua intensidade sobre crescimento das plantas, têm relação com a tolerância distinta entre cultivares da mesma espécie, a fase de desenvolvimento da cultura, e a duração do estresse hídrico (PIRES; SOPRANO; CASSOL, 2002 e SCHÖFFEL et al., 2001).

O número de sementes por legume foi influenciado pela interação entre os fatores “estresse por alagamento” e “vigor de sementes”, e por efeitos simples do fator “cultivar”, conforme dados apresentados na tabela 2. A cultivar TMG 7363 RR apresentou maior número de sementes por legume em relação as demais cultivares, e não foram constatadas interações deste fator com os demais, corroborando com as observações de Gandolfi et al. (1983), de que a proporção do número de sementes por legume é uma característica varietal e relativamente constante.

Tabela 2. Número de sementes.legume⁻¹ obtidos à partir de plantas originadas de sementes de alto e baixo vigor, das cultivares NA 5909 RG, NS 6209 RR, TMG 7363 RR, e TEC IRGA 6070 RR, submetidas ao estresse por alagamento.

Estresse por alagamento temporário	Nº de sementes.legume ⁻¹		Média
	alto vigor	baixo vigor	
Controle (sem alagamento)	2,16 aA	2,16 aA	2,16
Alagamento no estágio reprodutivo	2,12 aA	2,06 bA	2,09
Alagamento no estágio vegetativo	2,11 aA	1,99 bB	2,05
Média	2,13	2,07	2,10

Cultivar	Nº de sementes.legume ⁻¹
TMG 7363 RR	2,19 a
NA 5909 RG	2,08 b
NS 6209 RR	2,07 b
TEC IRGA 6070 RR	2,06 b
Média	2,10

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); * teste F significativo a 5% para a interação “estresse por alagamento x vigor de sementes”; ns – teste F não significativo; Controle (sem alagamento) – Plantas que não receberam estresse por alagamento; Alagamento no estágio vegetativo – Plantas que receberam alagamento temporário à partir do estágio fenológico V6 da cultura; Alagamento no estágio reprodutivo – Plantas que receberam alagamento temporário a partir do estágio fenológico R2 da cultura; alto vigor – plantas originadas de sementes de alto vigor; baixo vigor – plantas originadas de sementes de baixo vigor.

Plantas geradas a partir de sementes de baixo vigor que foram submetidas ao alagamento temporário, independentemente do estágio fenológico em que o estresse foi aplicado, apresentaram menor número de sementes por legume, quando comparadas as plantas controle. Já para as plantas oriundas de sementes de alto vigor, não ocorreram reduções significativas do número de sementes por legume, quando submetidas ao estresse por alagamento. Reduções significativas do número de sementes por legume também foram observadas por Sá (2005) em plantas que

foram submetidas ao alagamento do solo no estágio reprodutivo, além disso, respostas diferentes entre cultivares, também foram observadas em relação ao número médio de sementes por legume. De acordo com resultados obtidos por Schöffel et al. (2001), o número de sementes por legume foi menos afetado quando o estresse por alagamento foi aplicado no estágio V6 em comparação aos demais tratamentos. De forma semelhante, observações de Griffin; Saxton, (1988), indicam que a maior redução do número de legumes por planta ocorre quando o alagamento do solo é aplicado no estágio R2, do que durante o estágio V6 da cultura.

Quando submetidas ao estresse temporário por alagamento no período vegetativo, plantas geradas de sementes de alto vigor, apresentaram maior número de sementes por legume quando comparadas as plantas originadas de sementes de baixo vigor. Tavares et al., (2013), trabalhando com desempenho de sementes de soja sob deficiência hídrica, observaram que plantas formadas a partir de sementes de alto vigor produziram mais sementes do que aquelas plantas originadas de sementes de baixo vigor, independentemente da condição hídrica do solo, representando acréscimos superiores a 15% no rendimento de sementes. Plantas de alto desempenho, geradas a partir de sementes de alto vigor, tendem a ter taxas de crescimento superiores, estruturas de produção mais significativas, e um profundo sistema radicular, com incrementos na produção de legumes e sementes, resultando em maiores rendimentos de grãos (FRANÇA-NETO et al., 2016).

Devido aos efeitos negativos do estresse por alagamento sobre o número de legumes por planta, o número de sementes por planta também foi reduzido (tabela 3). Entretanto, devido as características intrínsecas das cultivares para o número de legumes por planta, e a quantidade de sementes por legume, o número de sementes por planta também apresentou um comportamento diferenciado entre as cultivares em estudo. Diante disso, a cultivar TEC IRGA 6070 RR apresentou o maior desempenho para esta variável, com produção de 97,4 sementes por planta, já a cultivar NA 5909 RG produziu apenas 75,7 sementes por planta, representando o menor desempenho para esta variável.

Tabela 3. Número de sementes.planta⁻¹ obtidos à partir de plantas originadas de sementes de alto e baixo vigor, das cultivares NA 5909 RG, NS 6209 RR, TMG 7363 RR, e TEC IRGA 6070 RR, submetidas ao estresse por alagamento.

Cultivar	Nº de sementes.planta⁻¹
TEC IRGA 6070 RR	97,0 a
NS 6209 RR	90,0 ab
TMG 7363 RR	82,0 bc
NA 5909 RG	76,0 c
Média	86,0

Estresse por alagamento temporário	Nº de sementes.planta⁻¹
Controle (sem alagamento)	101,0 a
Alagamento no estágio reprodutivo	81,0 b
Alagamento no estágio vegetativo	76,0 b
Média	86,0

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); ns – teste F não significativo; Controle (sem alagamento) – Plantas que não receberam estresse por alagamento; Alagamento no estágio vegetativo – Plantas que receberam alagamento temporário à partir do estágio fenológico V6 da cultura; Alagamento no estágio reprodutivo – Plantas que receberam alagamento temporário a partir do estágio fenológico R2 da cultura.

A massa de mil sementes (MMS), conforme tabela 4, foi influenciada pela interação entre os fatores “cultivar” e “vigor de sementes”. Constatou-se que a massa de mil sementes de plantas originadas à partir de sementes de alto vigor diferiu estatisticamente entre as cultivares, com destaque para cultivar TMG 7363 RR que apresentou MMS de 201 gramas, seguido da cultivar NS 6209 RR com MMS de 179 g, e com a menor MMS NA 5909 RG apresentou MMS de 150g. Já a cultivar TEC IRGA 6070 RR teve MMS de 163 g, diferindo somente da cultivar TMG 7363 RR. Para plantas geradas a partir de sementes de baixo vigor, a cultivar TMG 7363 RR apresentou MMS superior as demais cultivares.

Comparando os efeitos de vigor inicial das sementes sobre a MMS, não foram constatadas diferenças significativas para as cultivares TMG 7363 RR, TEC IRGA 6070 RR, e NA 5909 RG, concordando com observações de Schuch et al. (2009). Já para plantas da cultivar NS 6209 RR oriundas de sementes de alto vigor, ocorreram incrementos de 27 gramas em MMS quando comparadas as sementes produzidas por plantas originadas de sementes de baixo vigor. Bagateli et al. (2019) observou em seu estudo, taxas crescentes na massa de mil sementes, conforme o emprego de lotes com níveis de vigor crescentes. Segundo Glier et al. (2015), a massa de mil sementes da soja está intimamente relacionada com a área foliar no estágio reprodutivo. Observações realizadas por Caverzan et al. (2018), também verificaram que as

plantas emergidas de sementes de alto vigor produziram sementes com maior massa de mil sementes, assim como maiores valores de área foliar, massa seca da parte aérea e da raiz, diâmetro do caule e altura de plantas.

Geralmente plantas originadas a partir de sementes de alto vigor apresentam crescimento mais expressivo, acumulando maior área foliar durante o estágio vegetativo, convertendo em plantas com maior capacidade fotossintética durante o estágio reprodutivo, tendendo a melhor formar e nutrir as sementes, e conseqüentemente promove incrementos na massa de mil sementes (KOLCHINSKI et al., 2005; TAVARES et al., 2013; GLIER et al., 2015).

Tabela 4. Massa de mil sementes (g) obtidas à partir de plantas originadas de sementes de alto e baixo vigor, das cultivares NA 5909 RG, NS 6209 RR, TMG 7363 RR, e TEC IRGA 6070 RR, submetidas ao estresse por alagamento.

Cultivar	Massa de mil sementes (g)		média
	alto vigor	baixo vigor	
TMG 7363 RR	201 aA	188 aA	194
NS 6209 RR	179 bA	152 bB	166
TEC IRGA 6070 RR	163 bcA	151 bA	157
NA 5909 RG	150 cA	164 bA	157
média	174	164	169

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); * teste F significativo a 5% para a interação “cultivar x vigor de sementes”; ns – teste F não significativo; alto vigor – plantas originadas de sementes de alto vigor; baixo vigor – plantas originadas de sementes de baixo vigor.

Neste estudo não foram observados efeitos do alagamento do solo sobre a massa de mil sementes. Esses resultados corroboram com observações de Sá (2005), e de Schöffel et al. (2001), que não encontraram diferenças significativas de massa de 100 sementes entre plantas alagadas e não alagadas. Porém esses resultados divergem de observações realizadas por Griffin; Saxton, (1988), e Sionit; Kramer, (1977), que verificaram efeitos prejudiciais da inundação do solo à massa de 100 grãos, independentemente da fase de desenvolvimento da planta. Sugimoto; Koesmaryono; Nakano, (2000), observaram reduções significativas da massa de 100 grãos de soja somente após oito dias de alagamento do solo.

Para estatura de plantas (tabela 5) não houve interação entre os fatores em estudo, apresentando efeitos simples para o fator “cultivar” e “estresse por alagamento temporário”. A maior estatura de plantas entre as cultivares em estudo, foi apresentada pela cultivar TEC IRGA 6070 RR, com 120,3 cm de comprimento, seguido das cultivares TMG 7363 RR e NA 5909 RG, com 112,6 e 107,1 cm,

respectivamente. A cultivar NS 6209 RR apresentou o menor porte, com 97,3 cm de comprimento. Ludwig et al (2016), e Ludwig et al (2018), que ao trabalhar com genótipos de soja de ciclo precoce sob alagamento do solo, e genótipos de ciclo semi-tardio/tardio de soja sob alagamento do solo, respectivamente, constataram em seus estudos um comportamento diferenciado das cultivares em estudo, dentro de cada manejo de água.

Tabela 5. Estatura de plantas (cm) obtidas à partir de plantas originadas de sementes de alto e baixo vigor, das cultivares NA 5909 RG, NS 6209 RR, TMG 7363 RR, e TEC IRGA 6070 RR, submetidas ao estresse por alagamento.

Cultivar	Estatura de plantas (cm)
TEC IRGA 6070 RR	120,3 a
TMG 7363 RR	112,6 b
NA 5909 RG	107,1 b
NS 6209 RR	97,3 c
média	109,4

Estresse por alagamento temporário	Estatura de plantas (cm)
Alagamento no estágio vegetativo	113,5 a
Controle (sem alagamento)	108,0 ab
Alagamento no estágio reprodutivo	106,5 b
média	109,4

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); ns – teste F não significativo; Controle (sem alagamento) – Plantas que não receberam estresse por alagamento; Alagamento no estágio vegetativo – Plantas que receberam alagamento temporário à partir do estágio fenológico V6 da cultura; Alagamento no estágio reprodutivo – Plantas que receberam alagamento temporário a partir do estágio fenológico R2 da cultura.

O alagamento temporário no período reprodutivo proporcionou o menor comprimento da haste principal, diferindo estatisticamente das plantas que receberam o estresse por alagamento no período vegetativo, que apresentaram o maior comprimento da haste principal. Entretanto as plantas “controle” obtiveram médias de comprimento intermediário, e não diferiram estatisticamente das plantas que receberam estresse por alagamento, independentemente do estágio em que o alagamento foi aplicado. O excesso hídrico no estágio vegetativo tem efeitos significativos no acamamento das plantas e uma relação negativa com a produtividade, promovendo o alongamento das hastes principais das plantas de soja, buscando aumentar a eficiência da absorção da radiação solar, resultando em crescimento excessivo das plantas, e desorganização do dossel. A distribuição da radiação solar está intimamente relacionada com a atividade fotossintética das

plantas. Quando alterada pela desorganização do dossel, em decorrência do acamamento, a eficiência da radiação solar é diminuída juntamente com a produção de fotoassimilados, refletindo de forma negativa sobre a produtividade (MUNDSTOCK, 2005; SANTOS, 2008; SOUZA et al. 2013).

Sá (2005) verificou que a condição de hipóxia do solo por até 72 horas não refletiu em efeitos significativos sobre a estatura das plantas de soja submetidas ao estresse no estágio reprodutivo, assemelhando-se aos resultados obtidos por Griffin e Saxton (1988); Linkemer; Board; Musgrave, (1998), e divergem de observações realizadas por Barni; Costa (1976); Fagundes et al. (1997). Reduções na estatura de plantas de soja submetidas ao alagamento no período reprodutivo também foram observadas por Ludwig et al (2018), assim como Vantoai et al. (2001), Cho; Yamakawa, (2006), e Choi; Roberts, (2007), também observaram redução da estatura de plantas ao serem expostas ao alagamento.

Na ocasião da colheita não foram constatados efeitos do vigor inicial das sementes sobre a altura final das plantas. Diferentemente, Schuch et al. (2009) observou maior altura de plantas geradas a partir de sementes de alto vigor, quando comparadas as oriundas de baixo vigor. Avaliações realizadas em momentos diferentes do desenvolvimento das plantas também constataram efeitos de vigor sobre altura de plantas, Machado (2002) avaliou o comportamento de plantas de aveia até os 30 dias após a emergência, e observou que durante todo o período as plantas geradas a partir de sementes de alta qualidade fisiológica apresentaram maior altura. Menores alturas aos 18 e 38 dias após emergência também foram observadas por Vanzolini; Carvalho, (2002) em lotes de sementes de soja com baixa qualidade fisiológica, e conforme os autores, isto ocorre em decorrência da menor velocidade de emergência das plântulas oriundas de lotes de sementes de baixo vigor.

Maiores taxas de crescimento da cultura, resultando em plantas com maior massa seca e área foliar aos 30 dias após a emergência também foram observadas em plantas emergidas de sementes de maior vigor (KOLCHINSKI et al., 2006), corroborando com resultados observados por Machado; Schuch, (2004), Höfs et al. (2004^a) e Schuch et al. (2000).

Já Bagateli et al., (2019) observaram respostas mais acentuadas em ganhos de altura das plantas de acordo com o aumento do vigor inicial das sementes, até 60 dias após emergência, e a expressão do vigor sobre a altura das plantas apresentou intensidade de resposta distintas entre cultivares, entretanto, observam um

incremento geral na altura das plantas ao longo de todo o ciclo da cultura devido ao aumento do vigor das sementes. Efeitos positivos relacionados ao vigor das sementes sobre a altura das plantas também foram relatados por Panozzo et al., (2009), Schuch et al., (2009), Scheeren et al., (2002), Scheeren et al., (2010), Silva et al., (2013), e Caverzan et al. (2018).

Plantas geradas a partir de sementes de alto vigor (tabela 6) apresentam maior número de nós na haste principal do que plantas provindas de sementes de baixo vigor. Caverzan et al. (2018) não constataram respostas significativas de níveis de vigor inicial de lotes de sementes sobre o número de nós produtivos e improdutivos em plantas de soja.

O estresse por alagamento temporário no período vegetativo afetou o crescimento das plantas, com redução média de 1,2 nós em relação as plantas que não sofreram estresse por alagamento. Observações semelhantes foram constatadas por Ludwig (2016), assim como Ludwig (2018), que observaram reduções do número de nós na haste principal de plantas de soja, que foram submetidas ao alagamento temporário do solo no período vegetativo. Alterações na respiração aeróbica, na fotossíntese, e no estado nutricional das plantas submetidas ao alagamento do solo, podem afetar o crescimento, e o desenvolvimento das diferentes partes da planta (BATISTA et al., 2008).

A cultivar TEC IRGA 6070 RR foi a cultivar que apresentou o maior resultado para esta variável, com 17,4 nós na haste principal, a cultivar TMG 7363 RR apresentou valores intermediários, apresentando 15,1 nós na haste principal, já as cultivares NS 6209 RR e NA 5909 RG apresentaram os menores valores para esta variável, com 14,2 e 13,4 nós na haste principal, respectivamente. Respostas diferenciais entre cultivares, para esta variável, também foram observadas por Ludwig (2018), o que pode estar relacionado a características intrínsecas ao genótipo, que nas condições de cultivo em que o ensaio foi realizado são expressas (Neto et al., 2009). Diferenças de comportamento das cultivares frente a condições adversas, como o alagamento do solo, podem ser atribuídas a diversidade genética dos materiais, possibilitando que cultivares expressem maior tolerância ou suscetibilidade ao solo alagado (MOMMER et al. 2006).

Tabela 6. Número de nós produtivos na haste principal obtidos à partir de plantas originadas de sementes de alto e baixo vigor, das cultivares NA 5909 RG, NS 6209 RR, TMG 7363 RR, e TEC IRGA 6070 RR, submetidas ao estresse por alagamento.

Cultivar	Nº de nós produtivos na haste principal
TEC IRGA 6070 RR	17,4 a
TMG 7363 RR	15,1 b
NS 6209 RR	14,2 c
NA 5909 RG	13,4 c
média	15,0

Vigor de sementes	Nº de nós produtivos na haste principal
alto vigor	15,3 a
baixo vigor	14,7 b
média	15,0

Estresse por alagamento temporário	Nº de nós produtivos na haste principal
Controle (sem alagamento)	15,5 a
Alagamento no estágio reprodutivo	15,2 a
Alagamento no estágio vegetativo	14,3 b
média	15,0

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); ns – teste F não significativo; Controle (sem alagamento) – Plantas que não receberam estresse por alagamento; Alagamento no estágio vegetativo – Plantas que receberam alagamento temporário à partir do estágio fenológico V6 da cultura; Alagamento no estágio reprodutivo – Plantas que receberam alagamento temporário a partir do estágio fenológico R2 da cultura; alto vigor – plantas originadas de sementes de alto vigor; baixo vigor – plantas originadas de sementes de baixo vigor.

Conforme tabela 7, efeitos simples foram observados para os fatores “cultivar” e “estresse por alagamento temporário” sobre o número de ramos secundários por planta. A cultivar NA 5909 RG apresentou a maior ramificação entre as cultivares do estudo, com média de 4,3 ramos por planta, diferindo da cultivar NS 6209 RR que apresentou 3,6 ramos por planta. Já as cultivares TMG 7363 RR e TEC IRGA 6070 RR apresentaram as menores ramificações, com 2,9 e 2,6 ramos secundários por planta, respectivamente. Plantas que foram submetidas ao alagamento temporário no estágio vegetativo tiveram reduções significativas no número de ramos secundários por planta, quando comparadas as plantas que não foram submetidas ao alagamento (Plantas controle). Esses resultados corroboram com observações de Sá (2005), que verificou efeitos significativos do alagamento do solo sobre o crescimento da parte aérea de plantas de soja, constatando reduções na massa seca de folhas, de ramos e conseqüentemente na massa seca total da parte aérea das plantas.

Não foram observados efeitos do vigor inicial das sementes sobre o número de ramos secundários, corroborando com observações de Schuch et al. (2009).

Entretanto, Popinigis, (1973) verificou que plantas de soja oriundas de sementes com alta qualidade fisiológica produziram um maior número de racemos e de vagens, convertendo em maior rendimento de sementes. Concordando com esses resultados, Silva (2010) verificou um maior número de ramificações e acúmulo de matéria seca em plantas originadas de sementes de alto vigor em comparação as plantas emergidas de sementes de baixo vigor.

Tabela 7. Número de ramos secundários em plantas originadas de sementes de alto e baixo vigor, das cultivares NA 5909 RG, NS 6209 RR, TMG 7363 RR, e TEC IRGA 6070 RR, submetidas ao estresse por alagamento

Cultivar	Nº de ramos secundários planta⁻¹
NA 5909 RG	4,3 a
NS 6209 RR	3,6 b
TMG 7363 RR	2,9 c
TEC IRGA 6070 RR	2,6 c
média	3,3

Estresse por alagamento temporário	Nº de ramos secundários planta⁻¹
Controle (sem alagamento)	3,6 a
Alagamento no estágio reprodutivo	3,3 ab
Alagamento no estágio vegetativo	3,0 b
média	3,3

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); ns – teste F não significativo; Controle (sem alagamento) – Plantas que não receberam estresse por alagamento; Alagamento no estágio vegetativo – Plantas que receberam alagamento temporário à partir do estágio fenológico V6 da cultura; Alagamento no estágio reprodutivo – Plantas que receberam alagamento temporário a partir do estágio fenológico R2 da cultura.

Conforme demonstrado na tabela 8, efeitos simples dos fatores sobre a altura da inserção do 1º legume foram observados. A cultivar NA 5909 RG foi a que apresentou a maior altura de inserção do primeiro legume. A influência dos níveis de vigor sobre a altura da inserção do primeiro legume observadas neste estudo indicam que plantas geradas de sementes de alto vigor apresentaram maior altura da inserção do primeiro legume do que plantas oriundas de sementes de baixo vigor. Esses dados corroboram com observações realizadas por Rossi et al., (2017), que verificou uma maior altura da inserção do primeiro legume em plantas originadas de sementes de alto vigor da cultivar BRS 243RR, ao comparar com plantas emergidas de sementes de baixo vigor da mesma cultivar, quando cultivadas na maior densidade de plantas, e atribui esse fato ao atraso na emergência de plântulas oriundas de sementes de baixo vigor. Esse resultado pode ser decorrente da maior velocidade de emergência das plântulas oriundas de sementes de alto vigor, e produção de plantas de alta

performance, com maior habilidade competitiva para utilizar os recursos do meio (PANOZZO et al., 2009).

O estresse por alagamento, em ambos os períodos (vegetativo e reprodutivo), proporcionaram aumento da altura da inserção do 1º legume, quando comparadas as plantas controle, fato que pode estar relacionado ao abortamento de legumes na parte inferior da planta. Esses dados corroboram com observações realizadas por Pazzin (2012), que em seu estudo, o alagamento das plantas de soja no estágio reprodutivo resultou no aumento da altura da inserção do primeiro legume em decorrência do abortamento de flores na parte inferior das plantas. Este comportamento é visto por Casagrande et al. (2001), como um mecanismo de tolerância das plantas ao estresse, onde ocorre o direcionamento do fluxo de fotoassimilados para os legumes que se apresentam mais adiantados no processo de desenvolvimento, que teoricamente possuem maiores chances de produzir sementes viáveis. Já, em estudo realizado por UHRY JUNIOR (2018) a altura da inserção do primeiro legume foi menor em plantas que foram submetidas ao alagamento no estágio V8, quando comparadas a testemunha sem excesso hídrico.

Tabela 8. Altura da inserção do 1º legume em plantas originadas de sementes de alto e baixo vigor, das cultivares NA 5909 RG, NS 6209 RR, TMG 7363 RR, e TEC IRGA 6070 RR, submetidas ao estresse por alagamento

Cultivar	Altura da inserção do 1º legume
NA 5909 RG	21,0 a
TEC IRGA 6070 RR	19,0 b
NS 6209 RR	17,9 b
TMG 7363 RR	17,7 b
média	18,9

Vigor de sementes	Altura da inserção do 1º legume
alto vigor	19,8 a
baixo vigor	18,0 b
média	18,9

Estresse por alagamento temporário	Altura da inserção do 1º legume
Alagamento no estágio vegetativo	19,7 a
Alagamento no estágio reprodutivo	19,3 a
Controle (sem alagamento)	17,8 b
média	18,9

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); ns – teste F não significativo; Controle (sem alagamento) – Plantas que não receberam estresse por alagamento; Alagamento no estágio vegetativo – Plantas que receberam alagamento temporário a partir do estágio fenológico V6 da cultura; Alagamento no estágio reprodutivo – Plantas que receberam alagamento temporário a partir do estágio fenológico R2 da cultura; alto vigor – plantas originadas de sementes de alto vigor; baixo vigor – plantas originadas de sementes de baixo vigor.

Efeitos simples foram observados para o fator estresse por alagamento sobre a variável diâmetro do caule (tabela 9). O estresse aplicado no período reprodutivo proporcionou caules de maior diâmetro quando comparado as plantas que receberam estresse no período vegetativo, com uma diferença média de 0,32 mm. De forma semelhante, Ludwig et al (2018) observou que plantas que receberam alagamento no período reprodutivo tiveram aumento do diâmetro do caule, comportamento que pode estar relacionado ao desenvolvimento de estruturas adaptativas, ou mecanismos morfológicos de tolerância, como o desenvolvimento de aerênquima (THOMAS et al., 2005; VIDEMŠEK et al., 2006). As plantas “Controle” apresentaram diâmetro do caule intermediário, e não diferiram entre as plantas que receberam estresse por alagamento. Os resultados observados neste estudo, demonstram que os fatores “cultivar”, e “vigor de sementes”, não diferiram significativamente sobre o diâmetro do caule das plantas.

Tabela 9. Diâmetro do caule (mm) de plantas originadas de sementes de alto e baixo vigor, das cultivares NA 5909 RG, NS 6209 RR, TMG 7363 RR, e TEC IRGA 6070 RR, submetidas ao estresse por alagamento

Estresse por alagamento temporário	Diâmetro do caule (mm)
Alagamento no estágio reprodutivo	7,27 a
Controle (sem alagamento)	7,07 ab
Alagamento no estágio vegetativo	6,95 b
média	7,09

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); ns – teste F não significativo; Controle (sem alagamento) – Plantas que não receberam estresse por alagamento; Alagamento no estágio vegetativo – Plantas que receberam alagamento temporário à partir do estágio fenológico V6 da cultura; Alagamento no estágio reprodutivo – Plantas que receberam alagamento temporário a partir do estágio fenológico R2 da cultura

O rendimento de sementes (tabela 10) sofreu interação significativa entre as cultivares e os níveis de vigor de sementes, apresentando um comportamento diferenciado da expressão do vigor entre as cultivares em estudo. Plantas da cultivar NS 6209 RR geradas à partir de sementes de alto vigor produziram 21,7% mais do que as plantas da mesma cultivar emergidas de sementes de baixo vigor. Bagateli et al., (2019) observou em seu estudo, incrementos lineares na produtividade da soja em função de acréscimos no vigor dos lotes de sementes, e de forma semelhante, constatou intensidade de resposta do vigor de sementes diferenciada entre cultivares, com variações de 8,2 e 35,5% de incremento no rendimento de grãos, para os níveis de vigor mais altos das cultivares NK 7059 RR e SYN 1059 RR, respectivamente.

Esses resultados corroboram com dados obtidos por Popinigis, (1973), que constatou incrementos de 38% no rendimento de grãos por plantas oriundas de sementes de alto vigor, frente a sementes de baixo vigor. Concordando com observações de França-Neto et al., (1983), que constataram aumentos na produtividade de grãos em até 24% com o uso de sementes de alto vigor, em contraste com as de baixo vigor. Schuch et al., (2009) também verificaram efeito positivo do vigor inicial das sementes sobre o rendimento de grãos, relatando incrementos de 25% em produtividade com a utilização de sementes de alto vigor, frente ao uso de lotes de baixa qualidade fisiológica. Reforçando os efeitos positivos do vigor inicial dos lotes de sementes, Caverzan et al., (2018), observou um incremento médio de 1287 Kg no rendimento de sementes de soja, com o uso de sementes com 90% de vigor em comparação as plantas originadas de sementes com 48% de vigor.

França Neto et al., (1984), observaram uma estreita relação entre o vigor das sementes e o rendimento de grãos, e observaram ganhos em produtividade de 20% a 35% com a utilização de sementes de alto vigor, em relação às de baixo vigor. Kolchinski et al. (2005) relataram que plantas emergidas de sementes de alto vigor resultaram em incrementos no rendimento de sementes 35% superiores ao desempenho de sementes de baixo vigor. Ganhos de 9% no rendimento de grãos também foram observados por Scheeren et al., (2010) com a utilização de sementes de alto vigor, corroborando também com observações de Tavares et al., (2013), que constataram incrementos superiores a 15% em produtividade com o uso de sementes de alto vigor. Além disso, conforme França-Neto et al., (2018), sementes de alto vigor resultam no estabelecimento de plantas de alta performance, gerando incrementos de produtividade na faixa de 10% em lavouras comerciais de soja.

Tabela 10. Rendimento de sementes por planta (g.planta^{-1}) produzidas por plantas originadas de sementes de alto e baixo vigor, das cultivares NA 5909 RG, NS 6209 RR, TMG 7363 RR, e TEC IRGA 6070 RR, submetidas ao estresse por alagamento

Cultivar	Rendimento de sementes por planta (g.planta^{-1})		média
	alto vigor	baixo vigor	
TMG 7363 RR	16,5 aA	16,3 aA	16,4
TEC IRGA 6070 RR	16,2 aA	15,1 aA	15,7
NS 6209 RR	17,0 aA	13,3 aB	15,1
NA 5909 RG	11,6 bA	13,4 aA	12,5
média	15,3	14,5	14,9

Estresse por alagamento temporário	Rendimento de sementes por planta (g.planta^{-1})
	Controle (sem alagamento)
Alagamento no estágio reprodutivo	14,5 b
Alagamento no estágio vegetativo	12,8 c
Média	14,9

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); * teste F significativo a 5% para a interação “cultivar x vigor de sementes”; ns – teste F não significativo; Controle (sem alagamento) – Plantas que não receberam estresse por alagamento; Alagamento no estágio vegetativo – Plantas que receberam alagamento temporário a partir do estágio fenológico V6 da cultura; Alagamento no estágio reprodutivo – Plantas que receberam alagamento temporário a partir do estágio fenológico R2 da cultura; alto vigor – plantas originadas de sementes de alto vigor; baixo vigor – plantas originadas de sementes de baixo vigor.

Neste estudo não foram observadas diferenças significativas entre as cultivares quando estas foram geradas a partir de sementes de baixo vigor. Entretanto para plantas provenientes de sementes de alto vigor, a cultivar NA 5909 RG apresentou o menor desempenho entre as cultivares em estudo, com produção média por planta em cerca de 31,7 % inferior a cultivar mais produtiva. Sá, (2005) observou diferenças de 11% na produção por planta entre cultivares submetidas a hipóxia do solo no estágio reprodutivo. Schöffel et al., (2001), não constatou diferença significativa entre cultivares submetidas a tratamentos de saturação hídrica do solo, porém observa-se diferenças superiores a 20% na produção de grãos entre cultivares de soja submetidos ao alagamento do solo.

O estresse por alagamento temporário empregado neste estudo, resultou em reduções significativas no rendimento de sementes por planta. As plantas controle, ou seja, aquelas que não receberam o estresse por alagamento apresentaram desempenho superior as demais, e o estresse por alagamento temporário a partir do período vegetativo V6 proporcionou as maiores reduções de rendimento em comparação com o estresse temporário aplicado no período reprodutivo. Em relação as plantas controle, em média, foram observadas reduções de rendimento de 17,1%

para plantas que receberam o estresse temporário no período reprodutivo e 26,9% para as que receberam o estresse no período vegetativo. De forma semelhante, Cho; Yamakawa, (2006), relaciona a redução na produção de sementes em função do excesso hídrico, com a redução do número de legumes e de sementes por planta.

Schöffel et al., (2001) observou maior efeito do alagamento do solo quando este foi aplicado a partir do estágio R4 com duração de 10 dias, que resultou em redução de aproximadamente 37% da produção de sementes por planta, em comparação à 15 dias de hipóxia do solo no estágio V6. Sá, (2005) observou em seu estudo, que a produção de grãos sofre reduções significativas a partir de 24 horas de solo em condições alagadas, resultados semelhantes aos observados por Sugimoto; Koesmaryono; Nakano, (2000). Além disso, Sá, (2005) observou um comportamento linear no decréscimo da produção de grãos conforme o tempo de alagamento do solo aumenta, corroborando com observações realizadas por Scott et al., (1989).

O maior conteúdo de proteínas foi observado em sementes produzidas pela cultivar NS 6209 RR, que apresentou um teor de proteínas de $35,15 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ (tabela 11), cerca de $0,56 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ a mais em relação a cultivar TEC IRGA 6070 RR. Segundo Oliveira, (1981), o conteúdo proteico dos grãos é uma característica intrínseca dos cultivares. Também foram observados efeitos do alagamento sobre o teor de proteínas das sementes, que diferiu estatisticamente entre os estádios fenológicos em que o estresse ocorreu, com menor teor de proteínas a partir de sementes produzidas por plantas que foram submetidas ao estresse por alagamento no estágio reprodutivo, apresentando $0,5 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ menos proteínas em relação as plantas que sofreram estresse no período vegetativo. Já as plantas controle, que não foram submetidas ao alagamento demonstraram um comportamento médio, não diferindo estatisticamente entre as plantas que sofreram estresse nos diferentes períodos fenológicos.

O alagamento do solo no período vegetativo proporcionou os maiores teores de proteínas e menores teores de óleo (tabela 12), além da menor produtividade (tabela 10), corroborando com Pípolo et al., (2015), que afirmam que há uma correlação negativa tanto fenotípica, quanto genotípica, entre óleo e proteína, ou seja, quando há acréscimo no teor de proteína, ocorre uma redução no teor de óleo e na produtividade. Isso ocorre, pois, as plantas gastam mais energia na produção de proteínas em comparação à produção de óleo. As proteínas presentes nos grãos se apresentam em média numa concentração de 2:1 (proteína: óleo), e são responsáveis por diversas funções biológicas na planta, havendo uma correlação positiva entre teor

de óleo e produtividade, e uma correlação negativa entre teor de proteína e produtividade (TRZECIAK, 2012).

Tabela 11. Composição centesimal de proteínas em sementes de plantas originadas a partir de sementes de alto e baixo vigor, das cultivares NA 5909 RG, NS 6209 RR, TMG 7363 RR, e TEC IRGA 6070 RR, submetidas ao estresse por alagamento

Cultivar	Proteínas (g 100g⁻¹)
NS 6209 RR	35,15 a
TEC IRGA 6070 RR	34,59 b
TMG 7363 RR	34,49 b
NA 5909 RG	34,48 b
média	34,68

Estresse por alagamento temporário	Proteínas (g 100g⁻¹)
Alagamento no estágio vegetativo	34,93 a
Controle (sem alagamento)	34,67 ab
Alagamento no estágio reprodutivo	34,43 b
média	34,68

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); ns – teste F não significativo; Controle (sem alagamento) – Plantas que não receberam estresse por alagamento; Alagamento no estágio vegetativo – Plantas que receberam alagamento temporário a partir do estágio fenológico V6 da cultura; Alagamento no estágio reprodutivo – Plantas que receberam alagamento temporário a partir do estágio fenológico R2 da cultura; alto vigor – plantas originadas de sementes de alto vigor; baixo vigor – plantas originadas de sementes de baixo vigor

Em estudo realizado por Sá (2005), o alagamento do solo durante o estágio reprodutivo das plantas não afetou significativamente o acúmulo de proteína em sementes de soja das cultivares FT-Abyara e CD 205, porém observou que os teores proteicos contidos em sementes de plantas submetidas ao alagamento do solo foram inferiores aos obtidos em plantas não alagadas. Em soja, Barni; Costa, (1976) verificaram reduções significativas do teor proteico das sementes produzidas por plantas submetidas a 30 dias de alagamento do solo durante o período reprodutivo.

Tabela 12. Composição centesimal de óleo em sementes de plantas originadas a partir de sementes de alto e baixo vigor, das cultivares NA 5909 RG, NS 6209 RR, TMG 7363 RR, e TEC IRGA 6070 RR, submetidas ao estresse por alagamento

Cultivar	Teor de óleo (g 100g ⁻¹)		média
	alto vigor	baixo vigor	
NS 6209 RR	14,48 aA	14,24 aA	14,36
NA 5909 RG	13,95 aA	14,39 aA	14,17
TEC IRGA 6070 RR	14,35 aA	13,81 aB	14,08
TMG 7363 RR	13,96 aA	13,92 aA	13,94
média	14,19	14,09	14,14

Estresse por alagamento temporário	Teor de óleo (g 100g ⁻¹)
Controle (sem alagamento)	14,49 a
Alagamento no estágio reprodutivo	14,09 ab
Alagamento no estágio vegetativo	13,84 b
média	14,14

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); * teste F significativo a 5% para a interação “cultivar x vigor de sementes”; ns – teste F não significativo; Controle (sem alagamento) – Plantas que não receberam estresse por alagamento; Alagamento no estágio vegetativo – Plantas que receberam alagamento temporário à partir do estágio fenológico V6 da cultura; Alagamento no estágio reprodutivo – Plantas que receberam alagamento temporário a partir do estágio fenológico R2 da cultura; alto vigor – plantas originadas de sementes de alto vigor; baixo vigor – plantas originadas de sementes de baixo vigor.

O teor de óleo nas sementes foi influenciado pela interação entre os fatores “cultivar, e vigor de sementes”. Plantas mais vigorosas da cultivar TEC IRGA 6070 RR (geradas a partir de sementes de alto vigor), produziram sementes com cerca de 0,54 g.100g⁻¹ de óleo a mais, quando comparadas as plantas geradas a partir de sementes de baixo vigor desta cultivar. Não foram constatadas diferenças significativas entre as cultivares em cada nível de vigor de sementes. Conforme discutido anteriormente, diversos autores relatam os efeitos positivos do vigor inicial das sementes sobre os componentes do rendimento e a produtividade da cultura da soja, entretanto, Bagatelli et al., (2019) afirmam que a expressão do vigor das sementes no desempenho das plantas de soja, também é dependente do genótipo utilizado e da interação com o ambiente, afetando o crescimento das plantas em diferentes proporções. O que pode acabar refletindo na composição das sementes produzidas, visto que Trzeciak, (2012) constatou uma correlação positiva entre teor de óleo e produtividade, e uma correlação negativa entre teor de proteína e produtividade.

Além disso, efeitos simples foram observados para o fator “estresse por alagamento temporário”, as plantas controle (não submetidas ao alagamento) apresentaram os maiores teores para esta variável, 0,65 g.100g⁻¹ superiores, quando

comparadas as plantas que sofreram estresse no estágio vegetativo. Teores médios de óleo foram observados para as sementes produzidas por plantas que foram submetidas ao alagamento no estágio reprodutivo, não diferindo entre as plantas controle, e plantas que receberam estresse por alagamento no estágio vegetativo.

3.4 Conclusões

O estresse por alagamento do solo influi negativamente no desempenho das plantas de soja, ocasiona reduções no número de legumes por planta, número de sementes por planta, número de nós produtivos na haste principal, número de ramos secundários, no rendimento de sementes por planta, e no teor de óleo das sementes produzidas.

O alto vigor das sementes proporciona incrementos no rendimento de sementes por planta, na massa de mil sementes, no número de nós produtivos na haste principal, na altura da inserção do primeiro legume, e no teor de óleo das sementes.

4 Capítulo 02 - Desempenho fisiológico de sementes oriundas de plantas de soja emergidas de sementes com alto e baixo vigor, de diferentes cultivares, submetidas ao estresse por alagamento

4.1 Introdução

No Rio Grande do Sul, em rotação com o arroz irrigado, o cultivo da soja em terras baixas teve um avanço significativo nas últimas safras, com 426 mil hectares cultivados na safra 2021/2022 (IRGA, 2022). Entre os solos de várzeas, ou terras baixas, presentes no Rio Grande do Sul, predominam os Planossolos, onde 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). Devido a estas características, em épocas de chuva abundante o solo permanece coberto por lâmina de água por longos períodos (VEDELAGO, 2014).

A condição de alagamento do solo é considerada como um dos principais estresses abióticos em diversos ecossistemas (BAILEY - SERRES; VOESENEK, 2008). Esses estresses, são caracterizados por condições ambientais que causam decréscimos no potencial genético de crescimento e rendimento das plantas (MICKELBART et al., 2015). Com o solo alagado, ocorre a redução da disponibilidade de oxigênio para as plantas, em função da baixa difusão do oxigênio pela água (ZABALZA et al., 2008), limitando o crescimento de diversas espécies vegetais (RAMOS et al., 2010; COELHO et al., 2013; ROSA et al., 2015; BAILEY - SERRES; VOESENEK, 2008).

Em resposta ao alagamento do solo, modificações na arquitetura, no metabolismo e no acúmulo de biomassa ocorrem em função da diversidade genética das plantas. Essas modificações são mecanismos associados a uma estratégia de sobrevivência à baixa concentração de oxigênio, permitindo a tolerância das plantas a períodos prolongados de alagamento (BAILEY – SERRES; VOESENEK, 2008). A variabilidade genética resulta em respostas diferentes das plantas ao alagamento, incluindo alterações na arquitetura, no metabolismo, e no acúmulo de biomassa (MOMMER et al., 2006; BAILEY – SERRES; VOESENEK, 2008). As respostas das plantas ao excesso de água no solo dependem do genótipo, da fase de

desenvolvimento da cultura e intensidade e duração do estresse (COLMER; VOESENEK, 2009).

Além do ambiente de cultivo, outros fatores, como a escolha adequada da cultivar, a qualidade das sementes a serem utilizadas, bem como a interação entre esses fatores contribuirão para o estabelecimento, e construção de uma lavoura produtiva (PROCÓPIO et al., 2014). Para Marcos Filho, (2015), sementes com alto potencial fisiológico são capazes de germinar uniforme e rapidamente sob ampla variação do ambiente. Sementes de alta qualidade resultam em plântulas fortes, vigorosas, com maior desenvolvimento e que se estabelecem melhor frente às diferentes condições edafoclimáticas impostas, com maior velocidade de emergência e de desenvolvimento das plantas (FRANÇA NETO et al., 2010).

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 cultivares de soja verificou redução na qualidade fisiológica das sementes produzidas.

Contudo, poucos estudos testaram a suscetibilidade ao encharcamento ao longo das diferentes fases fenológicas da cultura analisando, conjuntamente, o efeito de cultivares e do vigor das sementes, no desempenho fisiológico das sementes produzidas. Portanto, este estudo foi realizado com objetivo de avaliar o desempenho fisiológico de sementes de soja produzidas em solo de terras baixas, em função do vigor inicial das sementes, de diferentes cultivares, submetidas ao estresse por alagamento do solo em diferentes estádios fenológicos da cultura.

4.2 Material e Métodos

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação, e no Laboratório Didático de Análise de Sementes “Flávio Farias Rocha” da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas (FAEM/UFPel), localizado em Capão do Leão – RS.

O ensaio foi realizado na safra 2019/2020, utilizando sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) com variações de vigor obtidas em condições controladas, das cultivares NA 5909 RG, NS 6209 RR, TMG 7363 RR, e TEC IRGA 6070 RR. O estudo foi composto por três fatores, sendo eles, quatro cultivares, dois níveis de vigor de

sementes (alto e baixo vigor), e três regimes de cultivo (cultivo sem alagamento (controle); cultivo com alagamento temporário de 5 dias à partir do período vegetativo – V6; e cultivo com alagamento temporário de 5 dias à partir do período reprodutivo – R2; estádios fenológicos segundo escala de Fehr; Caviness (1977)), constituindo um esquema trifatorial (4x2x3), totalizando 24 tratamentos e 96 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi constituída por quatro vasos com 2 plantas em cada, totalizando 8 plantas por unidade experimental. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições estatísticas. Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando significativos, os efeitos foram avaliados pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Para obtenção da qualidade fisiológica inicial das sementes, foram realizados testes de germinação (BRASIL, 2009), e vigor através da emergência em canteiros, determinado aos 9 dias após semeadura, conforme relatado por Krzyzanowski et al. (2018). As sementes classificadas como alto vigor foram obtidas pela utilização de lotes com médias de 92% de germinação, e 89% de emergência em canteiros, enquanto que as sementes classificadas como de baixo vigor, foram obtidas a partir dos mesmos lotes, mediante a aplicação do envelhecimento acelerado com solução salina saturada (40g de NaCl.100mL⁻¹ de água) à 41°C por um período de 48, 72 e 96 horas para as cultivares NA 5909 RG, TEC IRGA 6070 RR, e TMG 7363 RR, respectivamente, e aplicação do envelhecimento acelerado com H₂O à 43°C por um período de 48 horas para a cultivar NS 6209 RR. Após os tratamentos de envelhecimento acelerado, os lotes de sementes classificadas como baixo vigor passaram por processo de secagem, até atingirem um teor de água de 12%, e foram analisados, apresentando valores médios de 89% de germinação, e 63% de emergência em canteiros.

Momentos antes da semeadura, as sementes receberam tratamento químico com um produto comercial a base de fungicidas e inseticida (Piraclostrobina (25 g.L⁻¹) + Tiofanato metílico (225 g.L⁻¹) + Fipronil (250 g.L⁻¹)) na dose de 200 mL.100 kg⁻¹ de sementes. As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium elkanii*, linhagem SEMIA 587 e SEMIA 5019 (BRASILEC TS IN-BOX), com 480 g.100 Kg⁻¹ de sementes (4 doses). Para auxiliar na fixação do inoculante turfoso, as sementes foram umedecidas com solução açucarada a 10% (600 mL.100 kg⁻¹ de sementes), em seguida receberam o inoculante, que foi homogeneizado em meio as sementes. A semeadura foi realizada em 23/12/2019, utilizando semeadoras manuais.

As plantas foram cultivadas em vasos contendo 8 Kg de solo, previamente peneirado, coletado do horizonte A1 de um Planossolo Háplico (STRECK et al., 2008). O manejo da calagem foi realizado de acordo com o Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS - RS/SC, 2016). A adubação potássica e fosfatada foi realizada com KCl e Superfosfato Triplo moídos, e homogeneizados ao solo, na dose equivalente a 3 vezes a recomendação observada no Manual citado acima, a fim de que as concentrações destes nutrientes no solo não fossem limitantes ao desenvolvimento da cultura.

Para obter as plântulas mais representativas do comportamento médio dos lotes, realizou-se a semeadura de três a quatro sementes por cova, e posteriormente, efetuou-se o desbaste deixando uma planta por cova, e duas plantas por vaso. O desbaste ocorreu entre 4 e 7 dias após a semeadura, visto que os lotes de maior vigor emergiram com maior velocidade quando comparados aos lotes de baixo vigor. Visando evitar a competição intra-específica durante o período de condução do experimento, utilizou-se espaçamento entre plantas no vaso de 10 cm, 50 cm entre linhas de semeadura. Com auxílio de um sistema de irrigação (microtubos individuais por vaso), acionado automaticamente, com frequência diária de 3 vezes, o solo de cultivo foi mantido próximo a capacidade de campo.

O alagamento temporário de 5 dias foi imposto através do encaixe do vaso perfurado (cultivado) em outro vaso ligeiramente maior com aplicação de um filme plástico impermeável entre os dois, em seguida os vasos receberam água até formar uma lâmina de 5 cm sobre a superfície do solo. Após 5 dias, os vasos perfurados (cultivados) foram desencaixados e drenaram naturalmente. Plantas controle, não foram submetidas ao alagamento, outras receberam alagamento somente no período vegetativo e as demais foram submetidas ao alagamento somente no período reprodutivo. O manejo fitossanitário foi feito para controlar pragas, doenças e plantas daninhas, conforme recomendações para a cultura.

Ao final do ciclo, 8 plantas por unidade experimental foram coletadas com auxílio de uma tesoura de poda, realizando-se o corte da haste principal rente ao solo. Foram então coletados os legumes e separadas as sementes de cada parcela. Em seguida as avaliações da qualidade fisiológica das sementes foram realizadas através dos seguintes testes:

Germinação (G) – Conduzido com 200 sementes, subdivididas em quatro subamostras de 50 sementes, semeadas em substrato papel Germitest umedecido

com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel seco. Os rolos de papel contendo as sementes foram mantidos na temperatura de 25°C constante. As avaliações foram realizadas aos cinco dias após semeadura (**Primeira contagem de germinação - PCG**), e aos oito dias após a implantação do teste, seguindo os critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Os resultados serão expressos em percentagem de plântulas normais.

Envelhecimento acelerado – conduzido com a utilização de caixas plásticas tipo “gerbox” (11,0 x 11,0 x 3,5cm) com compartimento individual, possuindo, suspensa em seu interior, tela de alumínio, onde as sementes foram distribuídas em camada única e uniforme. No interior de cada caixa foram adicionados 40 mL de água. As caixas tampadas foram mantidas em BOD sob temperatura de 41°C por período de 48 horas. (MARCOS FILHO, 1999). Ao término deste período as sementes foram submetidas ao teste de germinação. As avaliações foram realizadas no quinto dia após semeadura, e os resultados expressos em percentagem de plântulas normais.

Emergência de plântulas à campo (EC) – Foram semeadas 200 sementes em canteiros, subdivididas em quatro linhas de 50 sementes. A contagem de plântulas emergidas foi realizada aos 9 dias após a semeadura, conforme relatado por Krzyzanowski et al. (2018). Os resultados foram expressos em percentagem de plântulas normais emergidas.

Comprimento de raiz (CR), comprimento da parte área CPA), e comprimento total de plântulas (CT): foi realizado utilizando-se 10 plântulas por repetição. As sementes foram dispostas em uma linha no terço superior, no sentido longitudinal do papel Germitest, previamente umedecido com água destilada equivalente a 2,5 vezes a massa seca do papel. Os rolos de papel contendo as sementes foram mantidos na temperatura de 25°C constante. As avaliações foram realizadas aos cinco dias após semeadura. O Comprimento de raiz, comprimento da parte área, e comprimento total de plântulas foi mensurado com o auxílio de uma régua graduada, conforme metodologia adaptada de KRZYZANOWSKI et al., (2020). Os resultados foram expressos em centímetros.

Massa da matéria seca de raiz (MSR), massa da matéria seca da parte área (MSPA), e massa da matéria seca total de plântulas (MST): foi determinada com as plântulas provenientes de teste de comprimento de plântulas, onde foram colocadas em saco de papel e em seguida em estufa a 70°C até atingirem peso constante, conforme metodologia adaptada de KRZYZANOWSKI et al., (2020).

Condutividade elétrica: realizada a partir de quatro repetições de 25 sementes para cada parcela. As sementes foram pesadas com precisão de 0,001g, colocadas em copos plásticos contendo 75 ml de água deionizada e mantidas à temperatura de 20°C, por 8, e 24 horas, conforme Marcos-Filho et al., (1990) e Barros e Marcos-Filho, (1997), respectivamente. Após cada período, a condutividade elétrica da solução foi mensurada em condutímetro, e os dados obtidos foram expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ de sementes.

4.3 Resultados e discussão

As cultivares NA 5909 RG e TEC IRGA 6070 RR apresentaram os maiores valores de Primeira Contagem de Germinação (Tabela 1), ambos com 97% de plântulas normais, quando comparadas as cultivares NS 6209 RR e TMG 7363 RR que apresentaram valores de 91 e 87%, respectivamente.

Tabela 1. Primeira contagem de germinação (PCG) de sementes de plantas originadas a partir de sementes de alto e baixo vigor, das cultivares NA 5909 RG, NS 6209 RR, TMG 7363 RR, e TEC IRGA 6070 RR, submetidas ao estresse por alagamento

Cultivar	Primeira contagem de germinação (%)
NA 5909 RG	97 a
TEC IRGA 6070 RR	97 a
NS 6209 RR	91 b
TMG 7363 RR	87 b
média	93

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); ns – teste F não significativo.

A viabilidade das sementes avaliada pelo teste de germinação (tabela 2) foi influenciada pela interação dos fatores “cultivar”, e “estresse por alagamento temporário”. Para plantas que não sofreram alagamento (plantas controle), as cultivares TEC IRGA 6070 RR e NA 5909 RG apresentaram as maiores percentagens de plântulas normais, quando comparadas as cultivares NS 6209 RR e TMG 7363 RR. Para plantas que sofreram alagamento no estágio vegetativo, a cultivar TMG 7363 RR apresentou a menor % de germinação, e para plantas que sofreram alagamento no estágio reprodutivo, as cultivares TEC IRGA 6070 RR e NA 5909 RG apresentaram as maiores % de germinação, seguidas da cultivar NS 6209 RR e da cultivar TMG 7363 RR. Para a cultivar TMG 7363 RR o alagamento no estágio reprodutivo

proporcionou menor % de sementes germinadas quando comparadas as sementes produzidas por plantas que não foram submetidas ao alagamento. Já para a cultivar NS 6209 RR uma maior germinação foi observada para plantas que foram submetidas ao alagamento no estágio vegetativo. Para as cultivares TEC IRGA 6070 RR e NA 5909 RG não foram constatadas diferenças significativas de germinação para as sementes produzidas por plantas que não foram submetidas ao alagamento (plantas controle) e plantas que foram submetidas ao alagamento temporário.

Tabela 2. Germinação (G) de sementes de plantas originadas a partir de sementes de alto e baixo vigor, das cultivares NA 5909 RG, NS 6209 RR, TMG 7363 RR, e TEC IRGA 6070 RR, submetidas ao estresse por alagamento

Cultivar	Germinação (%)			média
	Controle (sem alagamento)	Alagamento no estádio vegetativo	Alagamento no estádio reprodutivo	
TEC IRGA 6070 RR	99 aA	99 aA	99 aA	99
NA 5909 RG	99 aA	99 aA	99 aA	99
NS 6209 RR	97 bB	99 aA	97 bB	97
TMG 7363 RR	97 bA	96 bAB	95 cB	96
média	98	98	98	98

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); * teste F significativo a 5% para a interação “cultivar x estresse por alagamento temporário”; ns – teste F não significativo; Controle (sem alagamento) – Plantas que não receberam estresse por alagamento; Alagamento no estágio vegetativo – Plantas que receberam alagamento temporário à partir do estágio fenológico V6 da cultura; Alagamento no estágio reprodutivo – Plantas que receberam alagamento temporário a partir do estágio fenológico R2 da cultura.

O vigor das sementes produzidas no ensaio, avaliado pelo teste de envelhecimento acelerado (tabela 3) apresentou efeitos simples para o fator “cultivar”. Com maior vigor, as sementes produzidas pelas cultivares TEC IRGA 6070 RR e NA 5909 RG apresentaram desempenho de 98 % de vigor pelo teste de EA. Já as sementes produzidas pelas cultivares NS 6209 RR e TMG 7363 RR neste estudo, apresentaram médias de 94% de vigor pelo teste de envelhecimento acelerado.

Tabela 3. Vigor de sementes avaliado pelo teste de Envelhecimento Acelerado (EA) de sementes de plantas originadas a partir de sementes de alto e baixo vigor, das cultivares NA 5909 RG, NS 6209 RR, TMG 7363 RR, e TEC IRGA 6070 RR, submetidas ao estresse por alagamento

Cultivar	Vigor (EA %)
TEC IRGA 6070 RR	98 a
NA 5909 RG	98 a
NS 6209 RR	94 b
TMG 7363 RR	94 b
média	96

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); ns – teste F não significativo

O vigor das sementes avaliado pelo teste de emergência em canteiros (tabela 4) foi influenciado pela interação entre os fatores “cultivar”, e “vigor de sementes”. Não foram constatadas diferenças significativas de EC % entre as cultivares, quando as sementes foram produzidas por plantas mais vigorosas (emergidas de sementes de alto vigor). Já para plantas emergidas de sementes de baixo vigor, as sementes produzidas pela cultivar NS 6209 RR apresentaram a menor emergência, quando comparada as demais cultivares. Para a cultivar NS 6209 RR, as sementes produzidas por plantas mais vigorosas (emergidas de sementes de alto vigor) apresentaram maior percentagem de emergência de plântulas, quando comparadas as sementes produzidas por plantas de menor vigor (emergidas de sementes de baixo vigor).

Tabela 4. Vigor de sementes avaliado pelo teste de Emergência em Canteiros (EC) de sementes de plantas originadas a partir de sementes de alto e baixo vigor, das cultivares NA 5909 RG, NS 6209 RR, TMG 7363 RR, e TEC IRGA 6070 RR, submetidas ao estresse por alagamento

Cultivar	Vigor (EC %)		média
	alto vigor	baixo vigor	
TEC IRGA 6070 RR	97 aA	99 aA	98
NA 5909 RG	98 aA	97 aA	98
TMG 7363 RR	97 aA	98 aA	98
NS 6209 RR	98 aA	95 bB	97
média	98	97	98

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); * teste F significativo a 5% para a interação “cultivar x vigor de sementes”; ns – teste F não significativo; alto vigor – plantas originadas de sementes de alto vigor; baixo vigor – plantas originadas de sementes de baixo vigor.

Conforme apresentado na tabela 5, foram observados efeitos simples do fator “cultivar” sobre as variáveis comprimento da parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), e comprimento total das plântulas (CPA + CR). A cultivar NA 5909 RG apresentou os maiores valores para CPA (7,5 cm), CR (12,4 cm) e comprimento total (18,8 cm), entre as cultivares em estudo. A cultivar NS 6209 RR apresentou valores de comprimento da parte aérea, e comprimento total inferiores aos produzidos pela cultivar NA 5909 RG, porém superiores a cultivar TEC IRGA 6070 RR. As cultivares TEC IRGA 6070 RR e TMG 7363 RR apresentaram o menor comprimento total de plântulas, entre as cultivares em estudo. O menor comprimento médio de raiz, foi observado na cultivar TMG 7363 RR. O comprimento médio da parte aérea também foi influenciado pelo fator “estresse por alagamento temporário”, e conforme observado, o comprimento médio da parte aérea (CPA) de plântulas geradas a partir de sementes produzidas por plantas que foram submetidas ao alagamento no estádio

vegetativo foi estimulado, diferindo estatisticamente do CPA de plantas que não foram submetidas ao alagamento, e de plantas que foram alagadas no estágio reprodutivo, com um acréscimo de 0,5 cm em média.

Tabela 5. Vigor de sementes avaliado pelo teste de Comprimento de plântulas (CP) de sementes de plantas originadas a partir de sementes de alto e baixo vigor, das cultivares NA 5909 RG, NS 6209 RR, TMG 7363 RR, e TEC IRGA 6070 RR, submetidas ao estresse por alagamento

Cultivar	Comprimento médio de plântulas (cm)		
	Parte aérea (CPA)	Raiz (CR)	Total (CPA + CR)
NA 5909 RG	7,5 a	12,4 a	19,8 a
NS 6209 RR	6,5 b	11,5 ab	18,0 b
TEC IRGA 6070 RR	5,7 c	10,5 bc	16,2 c
TMG 7363 RR	6,1 bc	10,0 c	16,1 c
média	6,4	11,1	17,6

Estresse por alagamento temporário	Comprimento médio de parte aérea (cm)
Alagamento no estágio vegetativo	6,8 a
Controle (sem alagamento)	6,3 b
Alagamento no estágio reprodutivo	6,3 b
média	6,4

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); ns – teste F não significativo.

A matéria seca de plântulas (tabela 6) foi influenciada por efeitos simples dos fatores “Cultivar” e “Estresse por alagamento temporário”. As cultivares TMG 7363 e NA 5909 RG apresentaram a maior massa da matéria seca de parte aérea, 0,202 e 0,188 $\text{g} \cdot 10^{-1}$ plantas, respectivamente, e as plântulas das cultivares NS 6209 RR e TEC IRGA 6070 RR apresentaram as menores massas de matéria seca de parte aérea, com 0,166 e 0,160 $\text{g} \cdot 10^{-1}$ plantas. A maior massa da matéria seca de raiz (0,094 $\text{g} \cdot 10^{-1}$ plantas) foi alcançada por plântulas da cultivar TMG 7363 RR. A maior massa de matéria seca total foi produzida por plântulas da Cultivar TMG 7363 RR (0,297 $\text{g} \cdot 10^{-1}$ plantas), seguida pela cultivar NA 5909 RG, com 0,269 $\text{g} \cdot 10^{-1}$ plantas, e o menor valor para esta variável foi desempenhado por plântulas da cultivar TEC IRGA 6070 RR, que gerou 0,243 $\text{g} \cdot 10^{-1}$ plantas de massa da matéria seca total de plântulas.

O fator “estresse por alagamento temporário” influenciou de forma semelhante as variáveis CPA, CR e CTOTAL, sendo que os maiores valores foram alcançados por plântulas geradas de sementes colhidas de plantas que foram submetidas ao alagamento no estágio reprodutivo, quando comparadas as que receberam o alagamento no estágio vegetativo. Já as sementes de plantas que não foram

submetidas ao alagamento, geraram plântulas com valores intermediários para as variáveis CPA, CR e CTOTAL, não diferindo estatisticamente das sementes colhidas de plantas que foram submetidas ao alagamento temporário no estágio vegetativo, nem das sementes produzidas por plantas que foram alagadas no estágio reprodutivo.

Tabela 6. Vigor de sementes avaliado pela massa da matéria seca de plântulas de sementes de plantas originadas a partir de sementes de alto e baixo vigor, das cultivares NA 5909 RG, NS 6209 RR, TMG 7363 RR, e TEC IRGA 6070 RR, submetidas ao estresse por alagamento

Cultivar	Massa da matéria seca de 10 plântulas (g)		
	Parte aérea (PA)	Raiz (R)	Total (PA + R)
TMG 7363 RR	0,202 a	0,094 a	0,297 a
NA 5909 RG	0,188 a	0,082 b	0,269 b
NS 6209 RR	0,166 b	0,084 b	0,250 bc
TEC IRGA 6070 RR	0,160 b	0,083 b	0,243 c
média	0,179	0,086	0,265

Estresse por alagamento temporário	Massa da matéria seca de 10 plântulas (g)		
	Parte aérea (PA)	Raiz (R)	Total (PA + R)
Alagamento no estágio reprodutivo	0,185 a	0,089 a	0,274 a
Controle (sem alagamento)	0,180 ab	0,087 ab	0,267 ab
Alagamento no estágio vegetativo	0,172 b	0,082 b	0,254 b
média	0,179	0,086	0,265

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); ns – teste F não significativo.

Conforme tabela 7, efeitos simples do fator “cultivar” influenciaram as médias de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) das sementes soja embebidas em 75mL de água deionizada à 20 °C por 8 horas. Os menores valores de condutividade foram observados em sementes da cultivar NS 6209 RR ($35,6 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$), seguido da cultivar TEC IRGA 6070 RR, que apresentou CE de $40,1 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$, posteriormente $45,5 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ foram gerados pela cultivar NA 5909 RG, e com a maior condutividade elétrica ($49,0 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$), e conseqüentemente o menor vigor, as sementes produzidas pela cultivar TMG 7363 RR.

Tabela 7. Médias de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) das sementes soja (embebidas em 75mL de água deionizada à 20 °C por 8 horas) de plantas originadas a partir de sementes de alto e baixo vigor, das cultivares NA 5909 RG, NS 6209 RR, TMG 7363 RR, e TEC IRGA 6070 RR, submetidas ao estresse por alagamento temporário.

Cultivar	Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) embebidas por 8 horas
NS 6209 RR	35,6 d
TEC IRGA 6070 RR	40,1 c
NA 5909 RG	45,5 b
TMG 7363 RR	49,0 a
média	42,5

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); ns – teste F não significativo.

As médias de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) das sementes soja embebidas em 75mL de água deionizada à 20 °C por 24 horas foram influenciadas pela interação tripla dos fatores “cultivar” x “vigor de sementes” x “estresse por alagamento temporário”, as médias dos desdobramentos de cultivar em cada nível de vigor, em cada nível de estresse por alagamento temporário, e os desdobramentos de vigor de sementes em cada nível de cultivar, em cada nível de estresse por alagamento temporário, são apresentados na Tabela 8. Já o desdobramento do estresse por alagamento temporário em cada nível de cultivar, em cada nível de vigor de sementes é apresentado na Tabela 9.

Tabela 8. Médias de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) das sementes soja (embebidas em 75mL de água deionizada à 20 °C por 24 horas) de plantas originadas a partir de sementes de alto e baixo vigor, das cultivares NA 5909 RG, NS 6209 RR, TMG 7363 RR, e TEC IRGA 6070 RR, submetidas ao estresse por alagamento temporário. Desdobramento de cultivares em cada nível de vigor de sementes, em cada nível de estresse por alagamento temporário (colunas), e desdobramento de vigor de sementes, em cada nível de cultivar, em cada nível de estresse por alagamento temporário (linhas).

Cultivar	Controle (sem alagamento)		média
	alto vigor	baixo vigor	
TMG 7363 RR	62,79 a	64,76 a	63,77^{ns}
NA 5909 RG	60,94 a	63,61 a	62,27^{ns}
TEC IRGA 6070 RR	54,17 b	57,39 b	55,78^{ns}
NS 6209 RR	53,70 bA	47,89 cB	50,80*
média	57,90*	58,41*	58,16

Cultivar	Alagamento no estágio vegetativo		média
	alto vigor	baixo vigor	
TMG 7363 RR	62,17 ab	64,89 a	63,53^{ns}
NA 5909 RG	63,40 a	60,21 a	61,80^{ns}
TEC IRGA 6070 RR	57,02 b	54,66 b	55,84^{ns}
NS 6209 RR	51,18 c	53,57 b	52,37^{ns}
média	58,44*	58,33*	58,39

Cultivar	Alagamento no estágio reprodutivo		média
	alto vigor	baixo vigor	
TMG 7363 RR	61,97 a	63,62 a	62,80^{ns}
NA 5909 RG	65,65 aA	58,48 abB	62,07*
TEC IRGA 6070 RR	55,64 b	56,48 b	56,06^{ns}
NS 6209 RR	52,51 bB	57,52 bA	55,01*
média	58,94*	59,02*	58,98

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); * teste F significativo a 5% para a interação “cultivar x vigor de sementes x estresse por alagamento temporário”; ns – teste F não significativo; Controle (sem alagamento) – Plantas que não receberam estresse por alagamento; Alagamento no estágio vegetativo – Plantas que receberam alagamento temporário à partir do estágio fenológico V6 da cultura; Alagamento no estágio reprodutivo – Plantas que receberam alagamento temporário a partir do estágio fenológico R2 da cultura; alto vigor – plantas originadas de sementes de alto vigor; baixo vigor – plantas originadas de sementes de baixo vigor

Conforme tabela 8, sementes produzidas por plantas de alto vigor, que não foram submetidas ao alagamento, as cultivares TMG 7363 RR e NA 5909 RG apresentaram os maiores valores de CE, quando comparadas as cultivares TEC IRGA 6070 RR e NS 6209 RR que apresentaram os menores valores de CE, e por fim maior vigor das sementes produzidas. Quando observamos as sementes produzidas por plantas de baixo vigor, e que não foram submetidas ao alagamento, as sementes da cultivar NS 6209 RR apresentou o menor valor de CE (maior vigor), seguido da cultivar TEC IRGA 6070 RR, e com menor vigor (maior CE), as sementes produzidas pelas

cultivares TMG 7363 RR e NA 5909 RG. Para a cultivar NS 6209 RR, as sementes produzidas a partir de plantas mais vigorosas, geraram maiores valores de CE quando comparadas as sementes produzidas de plantas emergidas de sementes de baixo vigor.

Para as plantas emergidas de sementes de alto vigor, e que foram submetidas ao alagamento no estágio vegetativo, a maior CE foi apresentada pelas sementes da cultivar NA 5909 RG, seguido pelas sementes produzidas pela cultivar TEC IRGA 6070 RR e com o menor valor de CE as sementes da cultivar NS 6209 RR. Já para as plantas emergidas de sementes de baixo vigor, submetidas ao alagamento no estágio vegetativo, os maiores valores de condutividade elétrica foram observados pelas sementes produzidas pelas cultivares TMG 7363 RR e NA 5909RG, quando comparadas as sementes produzidas pelas cultivares TEC IRGA 6070 RR e NS 6209 RR que apresentaram menores valores de CE, e consequentemente maior vigor.

As médias de condutividade elétrica observadas nas sementes produzidas por plantas emergidas de sementes de alto vigor, submetidas ao alagamento no estágio reprodutivo diferiram entre as cultivares, onde o maior vigor, demonstrado pelos menores valores de CE foram observados por sementes produzidas pelas cultivares NS 6209 RR e TEC IRGA 6070 RR, quando comparadas as sementes produzidas pelas cultivares NA 5909 RG e TMG 7363 RR que apresentaram os maiores valores de CE. Já para as sementes produzidas por plantas emergidas de sementes de baixo vigor, que foram submetidas ao alagamento no estágio reprodutivo, a maior CE elétrica observada ocorreu em sementes produzidas pela cultivar TMG 7363 RR, quando comparadas as sementes produzidas pelas cultivares TEC IRGA 6070 RR e NS 6209 RR, que apresentaram o maior vigor (menor CE).

Para as sementes produzidas pela cultivar NA 5909 RG que foram submetidas ao alagamento no estágio reprodutivo, as médias de CE foram superiores em sementes produzidas por plantas emergidas de sementes de alto vigor, quando comparadas as sementes produzidas por plantas emergidas de sementes de baixo vigor. Já para as sementes produzidas por plantas da cultivar NS 6209 RR, que foram submetidas ao alagamento no estágio reprodutivo, as médias de CE foram superiores (menor vigor) em sementes produzidas por plantas emergidas de sementes de baixo vigor, quando comparadas as sementes produzidas por plantas emergidas de sementes de alto vigor, ou seja, para esta cultivar, plantas de baixo vigor, produziram

sementes de menor vigor, quando comparadas as sementes produzidas por plantas mais vigorosas.

Conforme demonstrado na tabela 9, para sementes produzidas por plantas da cultivar NS 6209 RR, emergidas de sementes de baixo vigor, as menores médias de CE e conseqüentemente o maior vigor das sementes foi observado em sementes produzidas por plantas que não foram submetidas ao estresse por alagamento, quando comparadas as sementes produzidas por plantas que foram submetidas ao alagamento no estágio vegetativo, e plantas que foram alagadas no estágio reprodutivo, demonstrando que o efeito negativo do alagamento das plantas sobre a qualidade fisiológica das sementes produzidas por esta cultivar.

Tabela 9. Médias de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) das sementes soja de plantas originadas a partir de sementes de alto e baixo vigor, das cultivares NA 5909 RG, NS 6209 RR, TMG 7363 RR, e TEC IRGA 6070 RR, submetidas ao estresse por alagamento temporário, embebidas em 75mL de água deionizada à 20 °C por 24 horas. Desdobramento de estresse por alagamento temporário, em cada nível de cultivar, em cada nível de vigor de sementes.

Cultivar	alto vigor			média
	Controle (sem alagamento)	Alagamento no estádio vegetativo	Alagamento no estádio reprodutivo	
TMG 7363 RR	62,79	62,17	61,97	62,31 ^{ns}
NA 5909 RG	60,94	63,40	65,65	63,33 ^{ns}
TEC IRGA 6070 RR	54,17	57,02	55,64	55,61 ^{ns}
NS 6209 RR	53,70	51,18	52,51	52,47 ^{ns}
média	57,90	58,44	58,94	58,43

Cultivar	baixo vigor			média
	Controle (sem alagamento)	Alagamento no estádio vegetativo	Alagamento no estádio reprodutivo	
TMG 7363 RR	64,76	64,89	63,62	64,42 ^{ns}
NA 5909 RG	63,61	60,21	58,48	60,77 ^{ns}
TEC IRGA 6070 RR	57,39	54,66	56,48	56,8 ^{ns}
NS 6209 RR	47,89 B	53,57 A	57,52 A	52,99*
média	58,41	58,33	59,02	58,59

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); * teste F significativo a 5% para a interação “cultivar x vigor de sementes x estresse por alagamento temporário”; ns – teste F não significativo; Controle (sem alagamento) – Plantas que não receberam estresse por alagamento; Alagamento no estágio vegetativo – Plantas que receberam alagamento temporário a partir do estágio fenológico V6 da cultura; Alagamento no estágio reprodutivo – Plantas que receberam alagamento temporário a partir do estágio fenológico R2 da cultura; alto vigor – plantas originadas de sementes de alto vigor; baixo vigor – plantas originadas de sementes de baixo vigor

Trabalhando com cultivares de soja cultivadas em solos de várzea submetidas a ao alagamento em diferentes períodos, Pazzin, (2012), observou efeitos negativos do alagamento das plantas sobre a qualidade fisiológica das sementes produzidas,

afetando o desempenho das sementes quando avaliados pelos testes de primeira contagem de germinação, germinação, e envelhecimento acelerado, principalmente quando o alagamento ocorre no estágio V2. Entretanto não observou efeito dos fatores “cultivar” e “alagamento do solo” sobre a emergência à campo. Corroborando com esses dados, Santos et al., (1989), constatou reduções na germinação de sementes produzidas por plantas submetidas ao alagamento.

De maneira geral, Ludwig, (2015) constatou efeitos negativos do alagamento do solo na qualidade fisiológica das sementes produzidas, quando avaliadas pelos testes de primeira contagem de germinação, germinação, e envelhecimento acelerado. De forma semelhante ao verificado no presente estudo, Ludwig, (2015) também observou interação entre cultivares e o período em que o alagamento ocorre, sobre a qualidade fisiológica das sementes.

Efeitos negativos do estresse provocado pela deficiência de oxigênio em plantas de trigo sobre a qualidade fisiológica das sementes produzidas também foi relatado por Segalin, (2015), que observou decréscimos de germinação, primeira contagem de germinação e do índice de velocidade de germinação, em sementes produzidas por plantas submetidas ao alagamento em diferentes estádios fenológicos, quando comparadas àquelas mantidas na capacidade de campo, entretanto não constatou efeitos significativos sobre o desempenho das sementes, quando avaliadas pelos testes de envelhecimento acelerado, e índice de velocidade de emergência.

Segundo França-Neto et al., (2000), modificações na qualidade fisiológica das sementes ocorrem em razão de diversos fatores, entre outras condições, períodos de estiagem, danos por insetos, temperaturas extremas durante a maturação, e flutuações de umidade do ar no ambiente de produção. Estudos relatam que a partir de 0,5 horas sob baixa concentração de oxigênio, plantas de *Arabidopsis* começam a alterar o conjunto de genes expressos (KLOK et al., 2002), podendo alterar a qualidade fisiológica, e por fim o desempenho das sementes produzidas em condições de alagamento. Observações de Loreti et al., (2005), verificaram que a síntese de sacarose em plântulas de *Arabidopsis* é alterado em função da permanência das plantas sob anoxia, afetando o crescimento das plantas (BUCKERIDGE et al., 2000).

Estudos realizados por Hajduch et al., (2005), identificaram que durante o processo de formação das sementes de soja, 422 proteínas estão envolvidas com o metabolismo de outras proteínas, armazenamento, transporte de metabólitos e

mecanismos de defesa da planta. A síntese de proteínas pode sofrer alterações em função da modificação no metabolismo das plantas em função do estresse ocasionado pelo alagamento, podendo assim afetar a qualidade fisiológica das sementes produzidas.

A qualidade fisiológica inferior nas sementes produzidas por plantas que sofreram alagamento, pode estar associada ao acúmulo de substâncias tóxicas e diminuição da absorção de nutrientes (CHEN et al., 2002), que são translocados da planta mãe para a semente. Mudanças na transcrição gênica, na síntese e degradação de proteínas e no metabolismo celular são provocados pelo baixo nível de oxigênio (BAILEY-SERRES; VOESENEK, 2008; KOMATSU et al., 2009), que nestas condições, a sobrevivência das plantas depende em grande parte do metabolismo anaeróbio (SOUSA; SODEK, 2002). Em condições anaeróbicas, o metabolismo da planta se altera, com produção de acetaldeído (ZABALZA et al., 2009) e etanol (ROCHA et al., 2010), que são tóxicos às sementes e que podem contribuir para a sua morte. (VAN TOAI et al., 1988; MARTIN et al., 1991). Entretanto, algumas enzimas podem estar relacionadas à inibição da germinação e/ou protrusão da radícula em condições de restrição de O₂, como invertase, sucrose sintase (ZENG et al., 1999) e álcool desidrogenase (CHUNG; FERL, 1999).

Embora os dados apresentarem diferença significativa entre os tratamentos para o teste de germinação (Tabela 2), esses resultados devem ser interpretados com cautela, uma vez que a porcentagem de germinação permaneceu superior aos padrões estabelecidos pela Instrução Normativa nº 45 de 17 de setembro de 2013 pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2013) para comercialização de sementes de soja. Conforme Peske et al., (2012), mesmo em condições desfavoráveis que afetam o desenvolvimento das matrizes e suas sementes, o vigor é mantido a fim de garantir o funcionamento das estruturas celulares formadas durante a deposição das reservas na constituição da semente.

Estudos têm centralizado suas pesquisas no efeito que determinado evento de estresse prévio tem sob a tolerância aos eventos de estresse subsequentes (BILICHAK et al., 2015). Conforme Conrath et al., (2006), plantas que sofreram estresse prévio respondem de maneira mais rápida e/ou mais vigorosamente a um posterior estresse, de origem biótica ou abiótica. As plantas capazes de manter, e transmitir para a próxima geração, informações da exposição ao estresse durante a ontogenia (BILICHAK et al., 2015). Conforme BRUCE et al., (2007) as respostas das

plantas frente a um evento de estresse, são controladas em nível molecular por mudanças na expressão de genes. Neste sentido, o efeito materno apresenta potencial para influenciar parâmetros básicos da genética quantitativa da germinação das sementes (DONOHUE et al., 2005). A planta matriz pode influenciar na germinação da progênie pela transcrição e fornecimento de proteínas durante o desenvolvimento das sementes (ALMOGUERA; JORDANO, 1992). Desta forma, podendo influenciar a germinação das sementes através de compostos armazenados (RAJJOU et al., 2004).

Entretanto, sabe-se que sementes de alto vigor originam plantas de alto desempenho agrônômico, e que plantas vigorosas tendem a ter taxas de crescimento superiores, melhor estrutura de parte aérea, e um profundo e robusto sistema radicular, com incrementos no potencial produtivo. Além disso, o aproveitamento mais eficiente de água, luz e nutrientes também é associado às plantas de alto desempenho. (França-Neto et al., 2016).

4.4 Conclusões

O estresse por alagamento do solo afeta negativamente a qualidade fisiológica das sementes de soja.

A expressão, e a intensidade de resposta do vigor inicial das sementes sobre a qualidade fisiológica das sementes produzidas por plantas de soja submetidas ao estresse por alagamento é dependente do genótipo.

5 Considerações finais

Os componentes do rendimento da cultura da soja sofrem influência do material genético utilizado, do vigor das sementes, e do estresse por alagamento, além da interação entre fatores. Plantas de soja submetidas ao estresse por alagamento, apresentam reduções no número de legumes, no número de sementes, e no rendimento de sementes por planta. A queda do rendimento das plantas é mais acentuada quando o estresse ocorre no estágio vegetativo. O alagamento do solo no estágio vegetativo provoca redução do número de nós produtivos na haste principal, o número de ramos secundários, e no teor de óleo das sementes produzidas.

A massa de mil sementes, o rendimento de sementes e a composição centesimal de óleo são afetados pela interação entre o genótipo e o vigor das sementes. O alto vigor das sementes da cultivar NA 6209 RR proporcionou incrementos no rendimento de sementes por planta, e na massa de mil sementes. A utilização de sementes de alto vigor resultou em incrementos no teor de óleo das sementes produzidas pela cultivar TEC IRGA 6070 RR. Plantas originadas de sementes de alto vigor apresentaram maior número de nós produtivos na haste principal, além de maior altura da inserção do primeiro legume.

A qualidade fisiológica das sementes de soja produzidas em solo de terras baixas sofre influência do material genético utilizado, do vigor das sementes, e do estresse por alagamento, além da interação entre fatores. O alto vigor das sementes da cultivar NA 6209 RR proporcionou incrementos na qualidade fisiológica das sementes produzidas, na qual apresentou maior percentagem de emergência de plântulas, frente às sementes originadas de plantas de baixo vigor. Plantas oriundas de sementes de baixo vigor da cultivar NS 6209 RR produziram sementes com a menor percentagem de emergência de plântulas frente aos demais genótipos.

O alagamento do solo afetou negativamente a qualidade fisiológica das sementes produzidas por plantas oriundas de sementes de baixo vigor da cultivar NS 6209 RR, determinado pelo teste de condutividade elétrica após 24 horas de embebição.

A qualidade fisiológica das sementes produzidas pelas cultivares TEC IRGA 6070 RR e NA 5909 RG apresentou desempenho superior às demais cultivares, quando avaliados pelos testes de germinação, primeira contagem de germinação e envelhecimento acelerado.

O aumento do comprimento da parte aérea de plântulas de soja é ocasionado em sementes produzidas por plantas submetidas ao estresse por alagamento no período vegetativo.

Referências

- 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.
- ALMOGUERA, C.; JORDANO, J. Developmental and environmental concurrent expression of sunflower dry seed-stored low-molecular-weight heat-shock protein and Lea mRNAs. **Plant Molecular Biology**, v.19, p.781–792, 1992.
- AOSA - **Association of Official Seed Analysts**. Seed vigor testing handbook. East Lansing, AOSA. 88p. (Contribution, 32). 1983.
- BACANAMWO, M.; PURCELL, L. C. Soybean root morphological and anatomical traits associated with acclimation to flooding. **Crop Science**, v. 39, n. 1, p. 143-149, 1999.
- Bagateli, José Ricardo et al. Productive performance of soybean plants originated from seed lots with increasing vigor levels. **Journal of Seed Science** [online]. 2019, v. 41, n. 2 [Accessed 4 August 2022], pp. 151-159. Available from: <<https://doi.org/10.1590/2317-1545v41n2199320>>. Epub 01 July 2019. ISSN 2317-1545. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v41n2199320>.
- BAILEY-SERRES, J.; VOESENEK, L.A.C.J. Flooding stress: acclimations and genetic diversity. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v.59, p.313-319, 2008.
- BARNI, N.A. **Efeitos de períodos de inundação sobre o rendimento de grãos e características agronômicas da soja** (*Glycine max* (L.) Merrill). Porto Alegre, 1973. 153p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1973.
- BARNI, N.A. Resposta da soja (*Glycine max* (L) Merrill) à inundação do solo durante o período reprodutivo. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.14, n.2, p.215-225, 1978.
- BARNI, N.A.; COSTA, J.A. Efeito de períodos de inundação do solo sobre o crescimento e características morfológicas da planta de soja. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 163-173, 1976.
- BARROS, A.S.R.; MARCOS-FILHO, J. Testes para avaliação rápida do vigor de sementes de soja. **Revista Brasileira de sementes**, v.19, n.2, p.289-295, 1997.
- BARTLETT, R. J.; JAMES, B. R. Redox chemistry of soil. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 50, p. 151-208, 1993.
- BATISTA, C. U. N.; MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; MEDRI, C.; PIMENTA, J. A. Tolerância à inundação de *Cecropia pachystachya* Trec. (Cecropiaceae): aspectos

ecofisiológicos e morfoanatômicos. **Acta Botânica Brasileira**, Londrina, v. 22, n. 1, p. 91-98, 2008.

BILICHAK, A.; ILNYTSKYY, Y.; WÓYCICKI, R.; KEPESHCHUK, N.; FOGEN, D.; KOVALCHUK, I. The elucidation of stress memory inheritance in Brassica rapa plants. **Frontiers in plant Science**, v.6, p.1-17, 2015.

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**. Instrução Normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013. Diário Oficial República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n. 183, 20 set. 2013b. Seção 1, p.6-27.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, p.395, 2009.

BRUCE, T.J.A.; MATTHES, M.C.; NAPIER, J.A.; PICKETT, J.A. Stressful “memories” of plants: Evidence and possible mechanisms. **Plant Science**, v.173, p.603-608, 2007.

BUCKERIDGE, M. S.; SANTOS, H. P.; TINÉ, M. A. S. 2000. Mobilisation of storage cell wall polysaccharides in seeds. **Plant Physiology and Biochemistry**, New Delhi, 38, p. 141- 156.

CANTARELLI, L. D. **Distribuição espacial e comportamento individual de plantas em populações de soja em função do vigor das sementes**. 2005. 57p. Dissertação (Mestrado em Ciência e tecnologia de sementes) Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, UFPel, Pelotas – RS.

Cantarelli, LD, LOB Schuch, LC Tavares, and de AR Cassyo. 2015. Variabilidade de plantas de soja originadas de sementes com diferentes níveis de qualidade fisiológica. **Acta Agron**. 64:234-238. 2015

CARNEIRO, L. M. T. A. **Antecipação da colheita, secagem e armazenagem na manutenção da qualidade de grãos e sementes de trigo comum e duro**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2003. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588p.

CASAGRANDE, E. C.; FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; PEDROSO, J.; MARTINS, P. K.; BRETON, M. C.; NEPOMUCENO, A. L. 2001. Expressão gênica diferencial

durante déficit hídrico em soja. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 168-184.

CAVERZAN, A.; GIACOMIN, R.; MÜLLER, M.; BIAZUS, C.; LÂNGARO, N. C.; CHAVARRIA, G. L. How Does Seed Vigor Affect Soybean Yield Components? **Agronomy Journal**, v. 110, n. 5, p. 1318-1327, 2018

CHEN, H.; QUALLS, R. G.; MILLER, G.C. Adaptive responses of *Lepidium latifolium* to soil flooding: biomass allocation, adventitious rooting, aerenchyma formation and ethylene production. **Environmental and Experimental Botany**, v.48, p.119-128, 2002.

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. & D. M. Roberts. 2007. Arabidopsis NIP 2;1: a major intrinsic protein transporter of lactic acid induced by anoxic stress. **Journal of Biological Chemistry**, 282: 24209-24218.

CHUNG, H.; FERL, R. J. Arabidopsis alcohol dehydrogenase expression in both shoots and roots is conditioned by root growth environment. **Plant Physiology**, v.121, p.429-436, 1999.

COELHO, C.C.R.; NEVES, M.G.; OLIVEIRA, L.M.de; CONCEIÇÃO, A.G.C. da; OKUMURA, R.S.; OLIVEIRA NETO, C.F. de. Biometria em plantas de milho submetidas ao alagamento. **Agroecossistemas**, Marabá, v.5, n.1, p.32-38, 2013.

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.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **Boletim da safra de grãos: 11º Levantamento - Safra 2021/22**. Brasília: Conab, 2022. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 12 ago. 2022.

CONRATH, U.; BECKERS, G.J.M.; FLORS, V.; GARCÍA-AGUSTÍN, P.; JAKAB, G.; MAUCH, F.; NEWMAN, M.A.; PIETERSE, C.M.J.; POINSSOT, B.; POZO, M.J.; PUGIN, A.; SCHAFFRATH, U.; TON, J.; WENDEHENNE, D.; ZIMMERLI, L.; MAUCH-MANI, B. Priming: getting ready for battle. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v.19, p. 1062-1071, 2006.

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

COSTA, J.A. Efeitos de inundação sobre a soja (*Glycine max* L. Merrill). **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 113-119, jan. 1973.

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.

DENARDIN, J. E. **Manejo da cultura de soja para terras baixas**. In: REUNIÃO DE PESQUISA DA SOJA DA REGIÃO SUL, 40., 2014, Pelotas. Atas e resumos... Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2014. p. 60-64.

DONOHUE, K.; DORN, L.; GRIFFITH, C.; KIM, E.; AGUILERA, A.; POLISETTY, C.R.; SCHMITT, J. Environmental and genetic influences on the germination of *Arabidopsis thaliana* in the field. **Evolution**, v.59, p.740-757, 2005.

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.

EBONE, L.A.; CARVEZAN, A.; TAGLIARI, A.; CHIOMENTO, J.L.T.; SILVEIRA, D.C.; CHAVARRIA, G. Soybean seed vigor: uniformity and growth as key factors to improve yield. **Agronomy**, v.10, n.4, p.1-15, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10040545>

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Indicações para cultivo de soja e milho em terras baixas são reunidas em livro**. Brasília: Embrapa, 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/26114068/indicacoes-para-cultivo-de-soja-e-milho-em-terras-baixas-sao-reunidas-em-livro>> Acesso em: 20 maio 2018.

FAGUNDES, P.R.R.; VERNETTI, F.J.; GASTAL, M.F.C, DAMIAN, E.A. **Effects of soil saturation on yield and other characteristics of soybean**. In: WORLD SOYBEAN CONFERENCE, 1., 1994, Chiang Mai. Proceedings... Chiang Mai: Bangkok: Kaset Sart University, 1997. p. 377-382.

FRANÇA NETO, J. B. Qualidade fisiológica da semente. In: FRANÇA NETO, J. B; HENNING, A. A. **Qualidade fisiológica e sanitária de semente de soja**. Londrina: EMBRAPA, CNPSo, 1984. p. 5-24. (Circular Técnica, 9).

FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A. A importância do uso de semente de soja de alta qualidade. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 20, n. 1 e 2, p.37-38, 2010.

FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A.; COSTA, N. P. 2000. Tecnologia de produção de sementes. In: Embrapa Soja. **A cultura da soja no Brasil**. Londrina. 262 pp.

FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A. **A alta qualidade da semente de soja: fator importante para a produção da cultura**. Londrina: Embrapa Soja, 2018. 24p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 136).

FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A.; PADUA, G.P.; LORINI, I.; HENNING, F.A. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade**. Londrina: Embrapa Soja, 2016. 82p.(Embrapa Soja. Documentos, 380).

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

GANDOLFI, V.H.; BAN, A.D.; VILHORDO, B.W.; MÜLLER, L. Morfologia, anatomia e desenvolvimento. In: VERNETTI, F.J. (Coord.). **Soja: planta, clima, pragas, moléstias e invasoras**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. cap. 2, p. 17-89.

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.

GLIER, C.A.S.; JÚNIOR, J.B.D.; FACHIN, G.M.; COSTA, A.C.T.; GUIMARÃES, V.F.; MROZINSKI, C.R. Defoliation percentage in two soybean cultivars at different growth stages. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.6, p.567-573, 2015. <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v19n6/1415-4366-rbeaa-19-06-0567.pdf>

GRIFFIN, J.L.; SAXTON, A.M. Response of solid-seeded soybean to flood irrigation. II. Flood irrigation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, n. 5, p. 885-888, nov./dec. 1988.

HAJDUCH, M.; GANAPATHY, A.; STEIN, J. W.; THELEN, J.J. A. 2005. 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**, Waterbury, 137, p. 1397– 1419.

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.

HEIL, C **Rapid, multi-component analysis of soybeans** by FT-NIR Spectroscopy. Madison: Thermo Fisher Scientific, 2010. 3 p. (Application note: 51954). Disponível em: <http://www.nicoletcz.cz/userfiles/file/vjegy/soybeans.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2012.

HÖFS, A.; SCHUCH, L.O.B.; PESKE, S.T.; BARROS, A.C.S.A. Emergência e crescimento de plântulas de arroz em resposta à qualidade fisiológica de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v.26, n.1, p.92-97, 2004a.

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.

IRGA (INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ Soja - **Produtividades Municipais - Safra 2021/2022**. Disponível em: < <https://irga.rs.gov.br/soja>>. Acesso em: 12 ago. 2022.

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.

KLOK, E. J.; WILSON, I.W.; WILSON, D.; CHAPMAN, S. C.; EWING, R.M.; SOMERVILLE, S. C.; PEACOCK, W. J.; DOLFERUS, R.; DENNIS, E. S. 2002. Expression profile analysis of the low-oxygen response in Arabidopsis root cultures. **The Plant Cell**, Waterbury, 14, p. 2481–2494.

KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L.O.B; PESKE, S.T. Crescimento inicial de soja em função do vigor das sementes. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.12, n.2, p.163-166, 2006.

KOLCHINSKI, E. M; SCHUCH, L. O. B; PESKE, S. T. Vigor de sementes e competição intraespecífica em soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1248-1256, nov./dez. 2005.

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.

KOMATSU, S.; YAMAMOTO, R.; NANJO, Y.; MIKAMI, Y.; YONUKAWA, H.; SAKATA, K. A comprehensive analysis of the soybean genes and proteins expressed under flooding stress using transcriptome and proteome techniques. **Journal of Proteome Research**, v.8, p.4766-4778, 2009.

KRZYZANOWSKI F.C.; FRANÇA NETO J.B.; HENNING A.A.; COSTA N.P. **O controle de qualidade Agregado Valor as Sementes – Série Sementes**. Londrina: EMBRAPA SOJA, 2008. 12 p (Circular Técnica 55).

Krzyzanowski, F.C.; França Neto, J.B.; Gomes Junior, F.G.; Nakagawa, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: Krzyzanowski, F.C.; Vieira, R.D.; França Neto, J.B; Marcos-Filho, J. Vigor de sementes: conceitos e testes Londrina: **Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes - ABRATES**, 2020. p.79–140.

KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA-NETO, J.B.; HENNING, A.A. **A alta qualidade da semente de soja: fator importante para a produção da cultura**. Londrina: Embrapa Soja, 2018. 24p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 136).

LATHWELL, D.J., EVANS, C.E. Nitrogen uptake from solutions by soybeans at successive stages of growth. **Agronomy Journal**, Madison, v.43, n.6, p.264-270, 1951.

LINKEMER, G.; BOARD, J.E.; MUSGRAVE, M.E. Waterlogging effects on growth and yield components in late-planted soybean. **Crop Science**, Madison, v. 36, n. 6, p. 1576- 1584, nov./ dec. 1998.

LORETI, E.; POGGI, A.; NOVI, G.; ALPI, A.; PERATA, P. 2005. A Genome-wide analysis of the effects of sucrose on gene expression in Arabidopsis seedlings under anoxia. **Plant Physiology**, Waterbury, 137, p. 1130–1138.

LUDWIG, M. P. **Desempenho agrônômico e qualidade de sementes de soja produzida em solo de várzea alagada**. 2010. 115f. Tese (Doutorado em Ciência e 32 Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.

LUDWIG, M. P.;SCHUCH, L.O.; OLIVEIRA, S.; VERNETTI, F. de J.; LEMES, E. S.; CORREA, M. F.; SEUS, R. Desempenho morfofisiológico de cultivares de soja de ciclo precoce sob alagamento do solo. **Revista Cultivando o Saber**. n. 1, v. 9, p. 32-50, 2016.

LUDWIG, M. P.;SCHUCH, L.O.; VERNETTI, F. de J.; OLIVEIRA, S.; SEUS, R.; CRIZEL, R. L.; CORREA, M. F.; LEMES, E. S. Desempenho morfofisiológico de genótipos de ciclo semi-tardio/tardio de soja sob alagamento do solo. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata. n. 2, v. 117, p. 215-222, 2018.

LUXMOORE, R.J.; FISCHER, R.A.; STOLZY, L.H. Flooding and soil temperature effects on wheat during grain filling. **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, n. 3, p. 361-364, may./ june 1973.

MACHADO, R. F. **Desempenho de aveia-preta (*Avena sativa* L.) em função do vigor de sementes e população de plantas**. 2002. 46f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

MACHADO, R.F.; SCHUCH, L.O.B. Produção de forragem e de sementes de aveia branca em função do vigor de sementes e populações de plantas. **Revista Científica Rural**, v.9, n.1, p.126-136, 2004.

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. 2005. Embrapa Clima Temperado. **Circular Técnica**, 67p.

MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Londrina: Abrates, 659p. 2015.

MARCOS FILHO, J.; SILVA, W.R.; NOVEMBRE, A.D.C.L.; CHAMMA, H.M.C.P. Estudo comparativo de métodos para avaliação da qualidade fisiológica de

sementes de soja, com ênfase ao teste de condutividade elétrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25, n.12, p.1805-1815, 1990.

MARCOS-FILHO, J. **Teste de envelhecimento acelerado**. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B. (Eds.). Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: ABRATES, 1999 Cap. 3. p. 1-24.

MARTIN, B.A.; CERWICK, S.F.; REDING, L.D. Physiological basis for inhibition of maize seed germination by flooding. **Crop Science**, v.31, p.152-1057, 1991.

MCDONALD JUNIOR, M.B.; PHANNENDRANATH, B.R. A modified accelerated aging seed vigor test for soybeans. **Journal of Seed Technology**, East Lansing, v. 3, n.1, p.27-37, 1978.

MELO, P.T.B.S. **Desempenho individual e de populações de plantas de arroz relacionado ao vigor de sementes**. 2005. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, UFPel, Pelotas – RS.

MICKELBART, M.V.; HASEGAWA, P.M.; BAILEY-SERRES, J. Genetic mechanisms of abiotic stress tolerance that translate to crop yield stability. **Nature Reviews Genetics**, v.16, p.237-251, 2015.

MICKELBART, M.V.; HASEGAWA, P.M.; BAILEY-SERRES, J. Genetic mechanisms of abiotic stress tolerance that translate to crop yield stability. **Nature Reviews Genetics**, v.16, p.237-251, 2015.

MOMMER, L.; LENNSEN, 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.

MUNDSTOCK, C. M. **Soja: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Porto Alegre: Dep. de plantas de lavoura da UFRS: Evangraf, 2005. 31 p.

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.

Neto, M. E. F., R. A. Pitelli, E. A. G. Basile & P. C. Timossi. 2009. Seletividade de herbicidas pós-emergentes aplicados na soja geneticamente modificada. **Planta Daninha**, 27: 345-352.

PANOZZO, L. E.; SCHUCH, L. O. B.; PESKE, S. T.; MIELEZRSKI, F.; PESKE, F. B. Comportamento de plantas de soja originadas de sementes de diferentes níveis de qualidade fisiológica. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, v. 16, n. 1, p. 32-41, 2009.

PAZZIN, D. **Comportamento de cultivares de soja cultivadas em solos de várzea submetidas a períodos de excesso hídrico**. Pelotas, 2012. 44f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de

Sementes. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2012.

PESKE, S. T.; BARROS, A. C.S. A.; SCHUCH, L. O. B. Produção de Sementes. In: PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGHELLO, G.E. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 3ª ed. Ed. Universitária UFPel, 2019. Pelotas. 579p.

PESKE, S.T; BARROS, A.S.C.A; SCHUCH, L.O.B. Produção de sementes. In: PESKE S.T.; VILLELA, F.A.; MENEGHELLO, G.E. **SEMENTES: Fundamentos Científicos e Tecnológicos. Universidade Federal de Pelotas**. 3 Ed., 2012, p 14 - 103.

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.

POPINIGIS, F. **Effects of physiological quality of seeds on field performance of soybean as affected by population density**. Mississippi State, Mississippi. 85p., 1973. Tese (Ph.D), Mississippi State University.

PROCÓPIO, S.O.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; PANISON, F. Semeadura em fileira dupla e espaçamento reduzido na cultura da soja. **Revista Agroambiente**, v.8, n.2, p.212-221, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v8i2.1469>

RAJJOU, L.; GALLARDO, K.; DEBEAUJON, I.; VANDEKERCKHOVE, J.; JOB, C.; JOB, D. The effect of alpha-amanitin on the Arabidopsis seed proteome highlights the distinct roles of stored and neosynthesized mRNAs during germination. **Plant Physiology**, v.134, p.1598-1613, 2004.

RAMOS, T.J.N.; CARVALHO, C.J.R.; SOUZA, C.M.A.; VASCONCELOS, S.S. Alterações morfológicas e crescimento de duas espécies gramíneas sob alagamento. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v.53, n.1, p.5-11, 2010.

ROCHA, M.; LICAUSI, L.; ARAÚJO, W.L.; NUNES-NESE, A.; SODEK, L.; FERNIE, A.R.; DONGEN, J.T. van. Glycolysis and the tricarboxylic acid cycle are linked by alanine aminotransferase during hypoxia induced by waterlogging of *Lotus japonicus*. **Plant Physiology**, v.152, p.1501-1513, 2010.

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.

ROSA, T.D.; PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E.G.; GEHLING, V.M.; AISENBERG, G.R.; AUMONDE, T.Z.; VILLELA, F.A. Alagamento do solo: efeito no crescimento inicial da aveia branca (*Avena sativa* L.). **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v.14, n.2, p.127-131, 2015.

ROSSI, R. F.; CAVARIANI, C.; FRANÇA-NETO, J. B. VIGOR DE SEMENTES, POPULAÇÃO DE PLANTAS E DESEMPENHO AGRONÔMICO DE SOJA. *Rev. Cienc. Agrar.*, v. 60, n. 3, p. 215-222, jul./set. 2017. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/191525/1/Rossi-Vigor.pdf> >, acesso em: 15/07/2022.

SÁ, J.S. **Influência do manejo do nível freático e doses de nitrogênio em culturas sob hipoxia no solo.** 2005, 168f. Tese - (Doutorado em Agronomia), Programa de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem, ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

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.

SANTOS, T. L. Soja. In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A.; SESTARI, I. Manual de fisiologia vegetal: fisiologia de cultivos. São Paulo: **Ceres**, 2008. 864 p.

SCHEEREN, B.R.; PESKE, S.T.; SCHUCH, L.O.B.; BARROS, A.C.A. Qualidade fisiológica e produtividade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 32, nº 3 p. 035-041, 2010.

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.

SCHUCH, L. O. B.; NEDEL, J. L.; ASSIS, F. N. Vigor de sementes e análise de crescimento de aveia preta. **Scientia Agricola**, v.57, n.2, p.305-312, 2000.

SCHUCH, L.O.B.; KOLCHI NSKI, E.M.; FINATTO, J.A. Qualidade fisiológica da semente e desempenho de plantas isoladas em soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.31, n.1, p.144-149, 2009.
<http://www.scielo.br/pdf/rbs/v31n1/a16v31n1.pdf>

SCHUCH, L.O.B.; NEDEL, J.L.; ASSIS, F.N.; MAIA, M.S. Crescimento em laboratório de plântulas de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) em função do vigor das sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v.21, n.1, p.229- 234.1999.

SCHUCH, L.O.B.; NEDEL, J.L.; ASSIS, F.N.; MAIA, M.S. Emergência a campo e crescimento inicial de aveia preta em resposta ao vigor de sementes. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.6, n.2, p.97-101, 2000.

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.

SEGALIN, S. R. **Análise de crescimento e partição de assimilados em plantas de trigo submetidas a períodos de alagamento e qualidade fisiológica de sementes**. Pelotas, 2015. 52f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2015.

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.

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.

SILVA, C.S.S.; SCHUCH, L.O.B.; OLIVO, M.; SEUS, R. Desempenho de plantas isoladas de soja, biometria e qualidade fisiológica das sementes. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, v.19, n.1, p.1-9, 2013. <http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/fzva/article/view/10305>

SILVA, CLARISSA SANTOS DA. **Vigor de sementes de soja e desempenho da cultura**. Pelotas, 2010. 60f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2010.

SIONIT; N.; KRAMER, P.J. Effects of water stress during different stages of growth of soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 69, n. 2, p. 274-278, mar./ apr. 1977.

SOUSA, C.A.F.; SODEK, L. Metabolic changes in soybean plants in response to waterlogging in the presence of nitrate. **Physiology Molecular Biology of Plants**, v.8, p.97-104, 2002.

SOUZA, C. A.; FIGUEIREDO, B. P.; COELHO, C. M. M.; CASA, R. T. I.; SANGOI, L. Arquitetura de plantas e produtividade da soja decorrentes do uso de redutores de crescimento. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 3, p. 634-643, maio-jun 2013.

SUGIMOTO, H.; KOESMARYONO, Y.; NAKANO, R. Effects of excess moisture in the soil at different stages of development on the growth and seed yield of soybean. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 3, n. 9, p. 1965-1967, 2000. Disponível em: <<http://www.ansinet.org>>. Acesso em: 23 mar. 2004.

TAVARES, L.C.; RUFINO, C.A.; BRUNES, A.P.; TUNES, L.M.; BARROS, A.C.S.A.; PESKE, S.T. Desempenho de sementes de soja sob deficiência hídrica: rendimento

e qualidade fisiológica da geração F1. **Ciência Rural**, v.43, n.8, p.1357-1363, 2013. <http://www.scielo.br/pdf/cr/v43n8/a22213cr2012-0950.pdf>

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. 9, p. 1191–1198, 2005.

TILLMANN, M.A.A; MENEZES, N.L. Análise de semente. In: PESKE S.T.; VILLELA, F.A.; MENEGHELLO, G.E. **SEMENTES: Fundamentos Científicos e Tecnológicos. Universidade Federal de Pelotas**. 3 Ed., 2012, p 162 - 272.

UHRJ JUNIOR, Darci Francisco **Resposta de cultivares de soja a práticas de manejo após excesso hídrico em solo hidromórfico**. Porto Alegre, 2018. 112f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2018.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. **World Agricultural Supply and Demand Estimates**. 12 de julho de 2022. Disponível em: <<https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/wasde0722.pdf>> Acesso em: Acesso em: 12 ago. 2022.

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.; FAUSEY, N.R.; McDONALD Jr., M.B. Oxygen requirements for germination and growth of flood-susceptible and flood-tolerant corn lines. **Crop Science**, v.28, p.79-83, 1988.

Vantoai, T. T., S. T. Martin, S. K. Chase, K. Boru, V. Schimpke, A. F. Schmitthenner & K. G. Lark. 2001. Identification of a QTL associated with tolerance of soybean to soil waterlogging. **Crop Science**, 41: 1247-1252.

VANZOLINI, S.; CARVALHO, N. M. Efeito do vigor de sementes de soja sobre o seu desempenho em campo. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 24, n. 1, p. 33- 41, 2002.

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

VEDELAGO, A. **Adubação para a soja em Terras Baixas drenadas do Rio Grande do Sul**. 83f, 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

VIDEMŠEK, U.; TURK, B.; VODNIK, D. Root aerenchyma – formation and function. **Acta Agriculturae Slovenica**, v. 87, n. 2, p. 445–453, 2006.

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.

ZABALZA, A.; DONGEN, J.T.V.; FROEHLICH, A.; OLIVER, S.N.; FAIX, B.; GUPTA, K.J.; SCHMÄLZLIN, E.; IGAL, M.; ORCARAY, L.; ROYUELA, M.; GEIGENBERGER, P. Regulation of respiration and fermentation to control the plant internal oxygen concentration. **Plant Physiology**, Rockville, v.149, n.2, p.1087-1098, 2008.

ZENG, Y.; WU, Y.; AVIGNE, W. T.; KOCH, K. E. Rapid repression of maize invertases by low oxygen: invertase/sucrose synthase balance, sugar signalling potential, and seedling survival. **Plant Physiology**, v.121, n.2, p.599-608, 1999.

ZIMMER, P.D. Fundamentos da qualidade da semente. In: PESKE S.T.; VILLELA, F.A.; MENEGHELLO, G.E. **SEMENTES: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**. Universidade Federal de Pelotas. 3 Ed., 2012, p 106 - 160.