

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

RESPOSTA DE CULTIVARES DE SOJA A PRÁTICAS DE MANEJO APÓS
EXCESSO HÍDRICO EM SOLO HIDROMÓRFICO

Darci Francisco Uhry Junior
Engenheiro Agrônomo/UFSM

Dissertação apresentada com um dos requisitos
à obtenção do Grau de Mestre em Fitotecnia
Área de Concentração Sistemas de produção vegetal

Porto Alegre (RS), Brasil
Agosto de 2018

CIP - Catalogação na Publicação

Uhry Junior, Darci Francisco
Resposta de cultivares de soja a práticas de manejo
após excesso hídrico em solo hidromórfico / Darci
Francisco Uhry Junior. -- 2018.
112 f.
Orientador: Christian Bredemeier.

Coorientador: Alencar Junior Zanon.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS,
2018.

1. Rotação. 2. Reinoculação. 3. Nitrogênio. 4.
Estresse. 5. Recuperação. I. Bredemeier, Christian,
orient. II. Zanon, Alencar Junior, coorient. III.
Titulo.

DARCI FRANCISCO UHRY JUNIOR
Engenheiro Agrônomo - UFSM

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

MESTRE EM FITOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 22.08.2018
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 12.03.2019
Por

CHRISTIAN BREDEMEIER
Orientador - PPG em Fitotecnia
UFRGS

CLAUDIMAR SIDNEI FIOR
Coordenador Substituto do
Programa de Pós-Graduação
em Fitotecnia

ALENCAR JUNIOR ZANON
Coorientador
Departamento de Fitotecnia/UFSM

PAULO RÉGIS FERREIRA DA SILVA
PPG em Fitotecnia/UFRGS

ANDRÉ LUIS VIAN
Departamento de Plantas de Lavoura
UFRGS

FILIPE SELAU CARLOS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
UFPEL

CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de
Agronomia

*“Talvez não tenha conseguido fazer o
melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito.
Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus,
não sou o que era antes”.*

Marthin Luther King

À minha esposa Alexsandra e às minhas filhas, Carolina e Gabriela.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à toda minha família, pelo apoio e pela compreensão do tempo de convívio muitas vezes sacrificado para realização deste trabalho. Agradeço especialmente à minha esposa Alexsandra, pelo carinho, apoio, paciência, muita compreensão e pelo incentivo em todos os momentos. E às minhas filhas, Carolina e Gabriela que são o maior presente que Deus poderia ter me dado nesta vida.

Ao meu orientador, professor Christian Bredemeier, pela orientação, ajuda e pelos inúmeros ensinamentos durante o decorrer do mestrado.

Ao professor Paulo Regis Ferreira da Silva, pelos inúmeros ensinamentos e auxílio em todos os momentos que tive dúvidas.

Ao meu coorientador e ex-colega de trabalho, professor Alencar Junior Zanon, pela amizade e ensinamentos durante a realização deste estudo.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), à Faculdade de Agronomia e ao Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), por terem possibilitado a realização deste curso de pós-graduação.

Ao todos os pesquisadores, técnicos, colaboradores, estagiários e bolsistas do IRGA e da UFRGS, que contribuíram para a realização do experimento, das avaliações e da elaboração desta dissertação.

Aos professores André Luis Vian, Filipe Selau Carlos e Paulo Regis Ferreira da Silva, pela participação na banca examinadora deste trabalho.

Aos demais professores do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, pelos tantos ensinamentos.

Aos amigos, colegas de pós-graduação e do IRGA, em especial à Cecília Giordano, Danielle Almeida, Débora Favero, Francisco Alexandre de Moraes e Daniel Arthur Waldow, pelo auxílio na elaboração desta dissertação.

A todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a concretização desta etapa e para minha formação profissional.

RESPOSTA DE CULTIVARES DE SOJA A PRÁTICAS DE MANEJO APÓS PERÍODO DE EXCESSO HÍDRICO¹

Autor: Darci Francisco Uhry Junior
Orientador: Christian Bredemeier

RESUMO

Nos últimos anos, a cultura da soja tem sido a principal opção para a rotação com o arroz irrigado, motivada pela valorização econômica e também pelos benefícios gerados à cultura do arroz, principalmente em relação à redução na incidência de plantas daninhas. No entanto, os solos onde tradicionalmente se cultiva o arroz irrigado apresentam dificuldades de drenagem e estão sujeitos a alagamentos com frequência, o que contribui para a redução do potencial produtivo da soja nestas áreas. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar, durante dois anos agrícolas, as consequências do excesso hídrico na cultura da soja e os efeitos da reinoculação com *Bradyrhizobium* pela pulverização em cobertura e da aplicação em cobertura de fertilizante mineral nitrogenado sobre a recuperação da simbiose, o desenvolvimento e a produtividade de duas cultivares de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9. Os trabalhos foram conduzidos a campo durante os anos agrícolas 2015/16 e 2016/17 em um Gleissolo no município de Cachoeirinha, RS. Os tratamentos constaram de duas cultivares de soja (TEC IRGA 6070 RR e NA 5909 RG), sete manejos para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo (somente drenagem, reinoculação por pulverização em cobertura, 20 kg N ha⁻¹ em cobertura, 20 kg N ha⁻¹ + reinoculação, 80, 160 e 320 kg N ha⁻¹ em cobertura) e uma testemunha não submetida ao estresse por excesso hídrico. Os parâmetros avaliados foram nodulação, características associadas ao desenvolvimento da planta, características agronômicas, componentes da produtividade e produtividade de grãos. O estresse por excesso hídrico afetou negativamente a nodulação, o desenvolvimento da planta e ocasionou redução da produtividade de grãos de 4.158 kg ha⁻¹ para 3.071 kg ha⁻¹ no ano 2015/16 e de 3.679 kg ha⁻¹ para 2.527 kg ha⁻¹ no ano 2016/17, correspondendo a 26 e 31% de redução, respectivamente no primeiro e segundo anos. A reinoculação por pulverização em cobertura e a aplicação de N em cobertura não foram estratégias eficientes para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo. As duas cultivares avaliadas responderam de forma similar ao excesso hídrico e aos manejos utilizados para recuperar os efeitos desse estresse.

¹Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (112f.) Agosto, 2018.

RESPONSE OF SOYBEAN GENOTYPES TO MANAGEMENT PRACTICES AFTER PERIOD OF WATER EXCESS¹

Author: Darci Francisco Uhry Junior
Adviser: Christian Bredemeier

ABSTRACT

Recently, soybean has been the main option for crop rotation with flooded rice, due to its economic return and reduction in weeds infestation. However, soils in which flooded rice is cultivated have drainage limitations and are subject to flooding, resulting in the reduction of grain yield potential of soybean cultivated in these areas. The objective of this work was to evaluate the impacts of water excess and the effects of reinoculation with *Bradyrhizobium* and nitrogen topdressing application on the recovery of the symbiosis, plant development and grain yield on two soybean genotypes submitted to water excess in the soil on the vegetative stage (growth stage V8-V9). The work was carried out under field conditions in 2015/16 and 2016/17 in the EEA/IRGA (Cachoeirinha, RS). Treatments consisted of two soybean genotypes (TEC IRGA 6070 RR and NA 5909 RG), seven treatments applied after water excess (drainage only, reinoculation, 20 kg N ha⁻¹, 20 kg N ha⁻¹ + reinoculation, 80, 160 and 320 kg N ha⁻¹) and a control treatment not submitted to water excess. The variables evaluated were nodulation, plant development, agronomic parameters, yield components and grain yield. Water excess negatively affected nodulation and plant development and resulted in a reduction on grain yield from 4,158 kg ha⁻¹ to 3,071 kg ha⁻¹ in the first year and from 3,679 kg ha⁻¹ to 2,527 kg ha⁻¹ in the second year, corresponding to a reduction of 26 and 31% in the first and second year, respectively. Reinoculation with *Bradyrhizobium* and topdressing nitrogen application were not efficient strategies for the recovery of soybean after a period of water excess in the soil. The two soybean genotypes evaluated responded in a similar way to water excess as well as to management practices applied to minimize the effects of this stress.

¹Master Dissertation in Plant Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (112p.) August, 2018.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Aspectos gerais da cultura da soja no Brasil e no estado do Rio Grande do Sul (RS)	5
2.2 O cultivo da soja em áreas de terras baixas	6
2.3 Deficiência de oxigênio (O ₂) no solo	8
2.4 Fixação biológica de nitrogênio (FBN) em solos hidromórficos	10
2.5 Reinoculação na cultura da soja	14
2.6 Adubação nitrogenada em soja após hipóxia	16
3 MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 Caracterização do ambiente	19
3.2 Delineamento experimental e tratamentos	20
3.3 Procedimento experimental	23
3.4 Parâmetros avaliados	25
3.4.1 Número e massa seca de nódulos por planta e massa seca por nódulo	25
3.4.2 Produtividade de massa seca na parte aérea da planta no estágio R5 (Início do enchimento de grãos)	26
3.4.3 Quantidade de nutrientes acumulada na parte aérea das plantas no estágio R5 (Início do enchimento de grãos)	27
3.4.4 Leitura da reflectância do dossel - NDVI	27

	Página	
3.4.5	Correlação entre NDVI e produtividade de massa seca.....	28
3.4.6	Teor relativo de clorofila na folha	28
3.4.7	Características agronômicas, componentes da produtividade e produtividade de grãos	29
3.5	Análise estatística	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1	Magnitude do estresse por excesso hídrico.....	33
4.1.1	Nodulação	33
4.1.2	Características associadas ao desenvolvimento da planta.....	37
4.1.3	Características agronômicas, componentes da produtividade e produtividade de grãos	47
4.2	Eficiência da reinoculação com <i>Bradyrhizobium</i> , de forma isolada ou associada à aplicação de 20 kg N ha ⁻¹ em cobertura.....	55
4.3	Eficiência da aplicação em cobertura de fertilizante mineral nitrogenado	57
4.3.1	Nodulação	59
4.3.2	Características associadas ao desenvolvimento da planta.....	61
4.3.3	Características agronômicas, componentes da produtividade e produtividade de grãos	63
4.4	Resposta diferencial de cultivares de soja ao estresse por excesso hídrico e às estratégias de manejo para recuperar esses efeitos.....	64
4.4.1	Nodulação	65
4.4.2	Características associadas ao desenvolvimento da planta.....	67
4.4.3	Características agronômicas, componentes da produtividade e produtividade de grãos	70
5	CONCLUSÕES	75

	Página
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
7 APÊNDICES.....	91

LISTA DE TABELAS

Página

1. Características das cultivares de soja utilizadas nos experimentos. Cachoeirinha, RS.20
2. Número e massa de nódulos por planta e massa de um nódulo de soja nos tratamentos com e sem excesso hídrico, na média de duas cultivares, aos quatro (2015/16) e seis dias (2016/17) após a drenagem da lâmina de água para imposição do estresse por excesso hídrico no solo, e no estágio R5, na média de duas cultivares, submetidas a diferentes tratamentos¹ para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.34
3. Produtividade de massa seca (MS) da parte aérea e quantidade acumulada de nutrientes no estágio R5, na média de duas cultivares de soja, submetidas a diferentes tratamentos¹ para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.38
4. Teor relativo de clorofila na folha (Índice SPAD), na média de duas cultivares de soja submetida a diferentes tratamentos¹ para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, em diferentes datas de avaliação², em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.41

5. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na média de duas cultivares de soja submetidas a diferentes tratamentos¹ para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, em diferentes datas de avaliação², em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.....45
6. Características agronômicas, componentes da produtividade e produtividade de grãos, na média de duas cultivares de soja submetidas a diferentes tratamentos¹ para a recuperação do estresse por excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.....49
7. Número e massa de nódulos por planta e massa de um nódulo de soja nas cultivares TEC IRGA 6070 RR e NA 5909 RG, na média dos tratamentos com e sem excesso hídrico no solo, aos quatro (2016/17) e aos seis dias (2016/17) após a drenagem da lâmina de água utilizada para a imposição do estresse, e no estágio R5, na média dos tratamentos realizados para recuperação do estresse, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.....66
8. Produtividade de massa seca (MS) da parte aérea da soja e quantidade acumulada de nutrientes no estágio R5 de duas cultivares de soja, na média de diferentes tratamentos para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.....68
9. Teor relativo de clorofila na folha (Índice SPAD) de duas cultivares de soja, na média de diferentes tratamentos para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, em diferentes datas de avaliação¹, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.....69

10. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) de duas cultivares de soja, na média de diferentes tratamentos para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, em diferentes datas de avaliação¹, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.....70
11. Produtividade de grãos, seus componentes e outras características agronômicas de duas cultivares de soja, na média de diferentes tratamentos para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.71

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Soja estabelecida em microcamalhões submetida ao excesso hídrico durante quatro dias (ao fundo) e, na frente, a testemunha sem imposição do estresse. Cachoeirinha-RS, 2016.	23
2. Lavagem em água corrente (a) e separação dos nódulos (b) de plantas de soja. Cachoeirinha-RS, 2016.	25
3. Sintomas de clorose foliar em plantas de soja, observados aos três dias após o término de imposição do excesso hídrico (estádio V10) nas parcelas submetidas a esse estresse (ao fundo) e, na frente, a testemunha sem imposição do estresse. Cachoeirinha-RS, 2017.	42
4. Plantas de soja no estágio R5, evidenciando a recuperação dos sintomas visuais nas parcelas submetidas ao estresse por excesso hídrico (ao fundo) em comparação com plantas não submetidas a este estresse (na frente), embora o desenvolvimento continue menor nas plantas submetidas ao estresse. Cachoeirinha-RS, 2017.	44
5. Relação entre produtividade de massa seca da parte aérea e leitura do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em soja no estágio R5. Média de duas cultivares (TEC IRGA 6070 RR e NA 5909 RG) submetidas a diferentes tratamentos para recuperação das plantas de soja após estresse por excesso hídrico no solo, nas safras 2015/16 (A) e 2016/17 (B). *Significativo a 5% de probabilidade.	47

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja (*Glycine max* (L.) Merrill.), contribuindo com cerca de 30% da produção global (USDA, 2018). O estado do Rio Grande do Sul (RS) é responsável por aproximadamente 15% da produção total de soja no Brasil, com área cultivada de cerca de 5,7 milhões de hectares (CONAB, 2018a). Deste total, em torno de 300.000 ha foram cultivados em solos arrozeiros na safra 2017/2018 (IRGA, 2018b).

A soja é, atualmente, a principal opção para a rotação de culturas com o arroz irrigado (*Oryza sativa* L.) no estado do RS. O crescimento da área cultivada com soja neste sistema foi impulsionado pela valorização econômica e também pelos benefícios gerados à cultura do arroz irrigado, principalmente por propiciar rotação de mecanismos de ação de herbicidas e controle mais eficiente de plantas daninhas, especialmente o arroz-daninho.

O RS é o principal produtor de arroz do país, com área cultivada anual próxima a 1,1 milhão de hectares, onde a maioria é caracterizada pelo sistema de produção de arroz na primavera-verão e, na entressafra, o pousio ou cultivo de pastagens. No entanto, a monocultura ocasiona uma série de problemas que provocam o declínio paulatino do potencial produtivo do solo e maior impacto ao meio ambiente.

Dentre estes problemas, salienta-se o aumento da infestação e a dificuldade de controle de plantas daninhas, devido à evolução dos casos de resistência a herbicidas. Essas plantas competem com o arroz pelos recursos do meio, reduzem a produtividade e dificultam as operações de colheita e pós-colheita. Em muitas áreas arroteiras, este foi o motivo preponderante para o aumento significativo da adoção de rotação de culturas nos últimos anos, sendo que a soja tem sido a cultura predominantemente utilizada para tal.

A rotação de culturas é a principal ferramenta para o manejo adequado das plantas daninhas, principalmente para as que apresentam resistência, devido à possibilidade de utilização de diferentes mecanismos de ação herbicida, que controlam eficientemente as principais espécies de plantas daninhas infestantes da lavoura de arroz irrigado.

No entanto, o arroz irrigado é tradicionalmente cultivado em solos caracterizados pela má drenagem de água, os quais podem permanecer saturados com água por períodos relativamente longos (solos hidromórficos). Essas características viabilizam o cultivo de arroz irrigado, mas dificultam a implantação de culturas não adaptadas a essas condições, como a soja, a qual, tradicionalmente, é cultivada em solos bem drenados no Brasil.

A tecnologia disponível atualmente permite a obtenção de altas produtividades de soja em áreas de terras baixas. Apesar disso, a produtividade média dos últimos cinco anos nestas áreas ficou em torno de 2.200 kg ha⁻¹ (IRGA, 2018b), inferior à média estadual para o mesmo período, que foi de, aproximadamente, 2.900 kg ha⁻¹ (CONAB, 2018b). Entre os motivos desta diferença de produtividade podemos ter a deficiência de nitrogênio (N),

relacionada aos prejuízos causados à fixação biológica de nitrogênio (FBN) pelo estresse de excesso hídrico no solo.

Portanto, para uma exploração racional e sustentável da cultura da soja nestes solos tradicionalmente cultivados com arroz irrigado, além da seleção de cultivares mais tolerantes ao excesso hídrico, é de fundamental importância a obtenção de informações oriundas de estudos referentes a práticas agrícolas para a recuperação de efeitos adversos ocasionados pela deficiência de oxigênio no solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar, durante dois anos agrícolas, as consequências do excesso hídrico na cultura da soja e os efeitos da reinoculação com *Bradyrhizobium* pela pulverização em cobertura e da aplicação em cobertura de fertilizante mineral nitrogenado sobre a recuperação da simbiose, o desenvolvimento e a produtividade de duas cultivares de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9.

As hipóteses deste trabalho são:

- O excesso hídrico, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, afeta negativamente a nodulação, o desenvolvimento da planta e a produtividade de grãos de soja.

- A reaplicação de inoculante via pulverização em cobertura, seja de forma isolada ou combinado com a aplicação em cobertura de 20 kg N ha⁻¹, é uma estratégia eficiente para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo.

- A aplicação em cobertura de fertilizante mineral nitrogenado é uma estratégia eficiente para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9.

- Há diferenças entre as cultivares de soja TEC IRGA 6070 RR e NA 5909 RG na resposta ao excesso hídrico e aos manejos utilizados para recuperar os efeitos desse estresse, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos gerais da cultura da soja no Brasil e no estado do Rio Grande do Sul (RS)

A soja é originária da região leste da Ásia, mais precisamente do nordeste da China, sendo atualmente uma das culturas mais importantes da agricultura mundial. As primeiras sementes chegaram ao Brasil via Estados Unidos no ano de 1882. Entre os anos de 1900 e 1901, o Instituto Agronômico de Campinas (SP) promoveu a primeira distribuição de sementes de soja para produtores paulistas e, nesse mesmo período, tem-se registro dos primeiros cultivos de soja no Rio Grande do Sul (RS). A partir da década de 70, a soja se consolidou como a principal cultura do agronegócio brasileiro (EMBRAPA, 2004). A importância da cultura deve-se a sua diversidade de utilização, tanto para a alimentação (humana e animal) quanto como matéria-prima que abastece vários complexos agroindustriais (Guimarães, 2006).

Nos últimos anos, houve grande expansão da produção e das exportações de soja, a qual é atribuída, principalmente, ao aumento da demanda de mercado da China e dos demais países em desenvolvimento, o que levou à forte valorização dos preços internacionais (Cunha e Espíndola, 2015).

No Brasil, na safra 2017/18, foram cultivados cerca de 35 milhões de hectares de soja, com produção de 118,9 milhões de toneladas de grãos (CONAB, 2018a). Para a safra 2026/27, a projeção é um acréscimo de mais de oito milhões de hectares na área cultivada de soja em relação à safra atual, podendo chegar a cerca de 43 milhões de hectares. Em relação à produção, projeta-se, para o mesmo período, aumento de 23,2% em relação à de 2017/2018, com previsão de alcançar 146,5 milhões de toneladas (BRASIL, 2017).

O aumento da área cultivada com soja no Brasil deve ocorrer através de uma combinação entre a expansão de fronteira agrícola em regiões onde ainda há áreas disponíveis para cultivo, a substituição de lavouras onde não há áreas disponíveis para serem incorporadas e, principalmente, a ocupação de áreas já cultivadas com pastagens (CONAB, 2014).

No Rio Grande do Sul, a área cultivada com soja na safra 2017/2018 cresceu 2,2% em relação à safra anterior, atingindo 5,692 milhões de hectares, com produtividade média de 3.013 kg ha⁻¹ (CONAB, 2018a).

2.2 O cultivo da soja em áreas de terras baixas

A rotação de culturas permite a reciclagem de nutrientes e o controle de arroz daninho e de outras plantas daninhas resistentes a herbicidas, as quais apresentam difícil controle no monocultivo (Mundstock *et al.*, 2011). Nesse contexto, a cultura da soja é considerada uma das melhores opções para rotação em áreas de arroz irrigado, pois alguns genótipos dispõem de mecanismos que conferem tolerância a períodos de excesso hídrico no solo (Lange *et al.*, 2013; Bacanamwo e Purcell, 1999b; Pires *et al.*, 2002). No

entanto, estes mecanismos ainda não foram completamente elucidados na cultura da soja e têm sido alvo de inúmeras pesquisas (Komatsu *et al.*, 2010; Khatoon *et al.*, 2012; Nanjo *et al.*, 2014).

Os solos onde tradicionalmente se cultiva o arroz apresentam, como característica em comum, a formação em condições variadas de deficiência de drenagem (hidromorfismo). Essa circunstância é promovida, principalmente, por algumas características destes solos, tais como presença de camada subsuperficial com baixa permeabilidade e relevo plano a suave ondulado. Além disso, também é comum a densidade elevada, baixa porosidade total e alta relação micro/macroporos, características que podem ser agravadas pelo preparo intensivo do solo, principalmente quando realizado sob umidade excessiva (EMBRAPA, 2005).

Estes solos geralmente estão localizados próximos às planícies de rios ou lagos e são comumente chamados de solos de terras baixas. No entanto, devido à sua formação em condições de hidromorfismo, são denominados tecnicamente de solos hidromórficos (Sá, 2005).

Devido a esta dificuldade de drenagem, os solos hidromórficos são frequentemente sujeitos a períodos de excesso hídrico. Quando isto ocorre, o espaço poroso do solo é preenchido com água e, desta maneira, as trocas gasosas que existem entre o sistema radicular e o espaço poroso do solo são interrompidas. Isso acontece porque a difusão do oxigênio na água é 10.000 vezes mais lenta do que no ar, reduzindo as trocas gasosas em solo saturado (Patrick e Mahapatra, 1968; Sanchez, 1976; Armstrong *et al.*, 1994; Luo e Zhou, 2006).

Nos solos hidromórficos do estado do RS, a área cultivada com soja no ano agrícola 2017/18 foi de, aproximadamente, 300 mil hectares (IRGA, 2018b), com produtividade média em torno de 2.430 kg ha⁻¹, abaixo da média estadual para o período (3.013 kg ha⁻¹). Apesar dos distintos cenários climáticos ao longo da safra (CONAB, 2018b), parte dessa diferença pode ser atribuída aos prejuízos provocados pelo excesso hídrico, ocasionado pela dificuldade de drenagem nestes solos hidromórficos, principalmente quando ocorrem precipitações de maior intensidade.

No entanto, em experimentos e em algumas lavouras de soja conduzidas em solos hidromórficos, a produtividade de grãos tem atingido valores próximos aos 6.000 kg ha⁻¹, assim, acredita-se que, com os avanços das pesquisas e a difusão das tecnologias existentes, é possível proporcionar maior estabilidade produtiva às lavouras de soja cultivadas nestes solos ao longo das safras. Isso pode resultar em aumento da área de cultivo desta oleaginosa nestas áreas, possibilitando que um maior número de produtores de arroz irrigado tenham acesso aos benefícios gerados com a rotação de culturas. Esta expansão não deve ocorrer em substituição às lavouras de arroz irrigado, mas sim ocupar as áreas que não estão sendo cultivadas, devido, principalmente, à limitação de disponibilidade de água para o cultivo do arroz irrigado.

2.3 Deficiência de oxigênio (O₂) no solo

Os principais fatores responsáveis pela redução na produtividade de plantas submetidas ao excesso hídrico no solo são as baixas concentrações de

O₂ (Bacanamwo e Purcell, 1999a, Dennis *et al.*, 2000) e o excesso de CO₂ na rizosfera (Boru *et al.*, 2003).

A forma mais frequente de estresse por excesso hídrico está relacionada a períodos de alagamento do solo de curta duração, quando as raízes ficam submersas e os níveis de oxigênio estão abaixo do ótimo, ocorrendo a hipóxia (Sairam *et al.*, 2008). Além disso, esporadicamente os solos são submetidos a longos períodos de encharcamento, em que as plantas ficam completamente submersas. Neste caso, pode ocorrer ausência completa de oxigênio, chamada de anóxia (Dias Filho, 2012).

O tempo necessário para que a concentração de O₂ no solo atinja os limites de deficiência (hipóxia) ou ausência total (anóxia) é variável e depende, principalmente, da atividade microbiana no solo, da idade das plantas, da temperatura e do genótipo (Grable, 1966; Russell, 1959; Turner *et al.*, 1983). Entre esses fatores, o mais relevante é a temperatura, pois seu aumento favorece a atividade microbiana do solo e acelera as transformações químicas, consumindo oxigênio mais rapidamente (Luxmoore *et al.*, 1973). Com temperaturas superiores a 20°C, eleva-se o consumo de O₂ pelos microrganismos, pela fauna e pela respiração das raízes das plantas, podendo haver o seu esgotamento total após 24 horas do início do excesso hídrico no solo (Armstrong *et al.*, 1994; Marschner, 1995; Drew *et al.*, 2000; Liesack, Schnell e Revsbech, 2000).

A deficiência de O₂ no solo, causada pelo excesso hídrico, inibe a respiração aeróbica na zona radicular e reduz os níveis de energia na planta, em função da redução da síntese mitocondrial de ATP. Desta forma, as plantas têm menor capacidade de absorver e transportar água e nutrientes (Liao e Lin,

2001). Um dos efeitos mais comuns do excesso hídrico é a redução na transpiração foliar devido ao fechamento dos estômatos (Aroca, Porcel e Ruiz-Lozano, 2011). Em condições de anóxia, o metabolismo celular passa a envolver predominantemente a glicólise para a geração de energia (ATP) e utiliza a fermentação para a regeneração de NAD^+ . Esta rota é menos eficiente, pois gera de duas a quatro moléculas de ATP por molécula de hexose, diante das 30 a 36 moléculas geradas na fosforilação oxidativa. Esta via também gera subprodutos que podem ser tóxicos à planta, como o etanol e o lactato (Bailey-Serres e Voeselek, 2008). O acúmulo destes metabólitos tóxicos, juntamente com a diminuição do metabolismo energético e a falta de O_2 para a respiração, pode causar injúria e morte de raízes e plantas (Drew, 1997).

De uma forma geral, o excesso hídrico no solo reduz o teor de O_2 celular. Como consequência, ocorre limitação dos processos de assimilação de carbono e produção de ATP, afetando o crescimento e o desenvolvimento da planta (Dat *et al.*, 2004).

2.4 Fixação biológica de nitrogênio (FBN) em solos hidromórficos

O nitrogênio (N) é o elemento mais abundante na atmosfera terrestre, correspondendo a cerca de 80% dos gases (Taiz e Zieger, 2004). Em plantas, o N é constituinte de vários compostos, principalmente aminoácidos, ácidos nucleicos e clorofila, participando de importantes reações bioquímicas. Em função disso, é um dos nutrientes absorvidos em maior quantidade pelas plantas cultivadas (Novais *et al.*, 2007).

A soja é uma planta da família das Fabáceas, nas quais as raízes, além de exercerem as funções de ancoragem e de absorção de água e nutrientes,

também podem formar estruturas chamadas de nódulos, onde ocorre uma relação simbiótica com bactérias das espécies *Bradyrhizobium japonicum* e *B. elkanii*. Esses microorganismos conseguem fixar o nitrogênio molecular (N_2) que está presente no ar dos espaços porosos do solo (Vargas e Hungria, 1997; Câmara, 2014). Isso é possível porque estas bactérias possuem a enzima dinitrogenase, a qual consegue romper a tripla ligação que existe entre os dois átomos do N_2 e reduzi-lo para amônia (NH_3^+), que é a mesma forma de N obtida no processo industrial de produção de fertilizantes nitrogenados (Hungria, Campo e Mendes, 2001; Bizarro, 2004).

Para a obtenção de altas produtividades, todas as culturas devem absorver quantidades relativamente altas de nitrogênio, principalmente as leguminosas, devido ao alto conteúdo proteico das suas sementes (Sinclair e de Wit, 1976, Giller e Cadisch, 1995). A soja tem uma exigência especialmente alta de N, pois o teor de proteína nas suas sementes é em torno de 40% com base no peso da semente seca (Bellaloui *et al.*, 2015). Em média, a soja extrai 79 kg N ha^{-1} para cada tonelada produzida de grãos (Salvagiotti *et al.*, 2008; Tamagno *et al.*, 2017).

Na soja, o processo simbiótico responde por 69% a 94% do acúmulo total de N pela cultura (Hungria *et al.*, 2005), sendo capaz de suprir quase toda a demanda da planta por este nutriente (Hungria *et al.*, 2005, Hungria *et al.*, 2006a; Hungria e Mendes, 2014). Para que isso ocorra de forma eficiente, é necessário que as bactérias estejam presentes no solo, próximas às sementes de soja, o que se consegue através da inoculação de sementes antes da semeadura (Bizarro, 2004).

A nodulação é um processo complexo, que depende da interação entre as raízes das plantas e as bactérias simbiotes, através da troca de sinais (fatores de nodulação) entre as plantas e as bactérias (Hirsch *et al.*, 2003; Taiz e Zieger, 2004). Estes sinais são altamente específicos entre o hospedeiro e o simbiote (Bais *et al.*, 2004). O processo inicia-se pela exsudação de uma série de moléculas pelas raízes da plântula, as quais tem a função de atrair quimicamente os rizóbios, estimular a sua multiplicação na rizosfera e regular a expressão de diversos genes, tanto da planta quanto das bactérias. Na sequência, as bactérias penetram na raiz e provocam o crescimento de células específicas do hospedeiro, ocorrendo a formação dos nódulos onde elas ficam alojadas (Hungria, Campo e Mendes, 2001).

Além da troca de sinais bioquímicos entre rizóbio e planta hospedeira, o estabelecimento da simbiose pode ser afetado por fatores abióticos (Lieven-Antoniou e Whittan, 1997). Dentre estes fatores, estão a temperatura e a umidade relativa do ar e a fertilidade natural, a acidez, a umidade e a compactação do solo, os quais podem influenciar diretamente a população de rizóbios e afetar sua eficiência (Moreira e Siqueira, 2005).

O excesso hídrico no solo geralmente afeta o crescimento da planta de espécies leguminosas, uma vez que a FBN é altamente sensível a condições de deficiência de O₂ (Amarante e Sodek, 2006). A FBN é prejudicada quase imediatamente após o alagamento, devido à deficiência de O₂, o qual é essencial para a manutenção da respiração aeróbica nos nódulos e para o suprimento da grande demanda de ATP para a manutenção da atividade da enzima nitrogenase (Loureiro *et al.*, 1998, Layzell e Hunt, 1990). Esta sensibilidade é menor em espécies com maiores teores da proteína condutora

de O₂ (leghemoglobina), pois esta proteína consegue aumentar o fornecimento de O₂ para os nódulos durante o período de excesso hídrico. A maioria das leguminosas, entretanto, não apresenta estas adaptações (Loureiro *et al.*, 1998).

Do ponto de vista agrônômico, o sucesso do cultivo da soja em áreas de terras baixas em rotação com arroz irrigado depende da eficiência do processo de FBN. Com o excesso hídrico no solo, esta fixação é, na maioria das vezes, limitada pelo deficiente suprimento de O₂ ao sistema radicular. Isso pode diminuir a formação de nódulos nas raízes e inibir a fixação simbiótica de N, em função da exigência de O₂ no processo de fixação biológica (James e Crawford, 1998; Amarante e Sodek, 2006). Desta forma, mesmo plantas noduladas, quando em condições de excesso hídrico, apresentam taxas muito baixas de fixação de N₂ (Pugh *et al.*, 1995; Amarante e Sodek, 2006). Além de prejuízos na nodulação e na absorção de N, a deficiência de O₂ também limita o crescimento radicular e a absorção dos demais nutrientes (Sallam e Scott, 1987), podendo afetar a massa de nódulos (Hong, Minchin e Summerfield, 1977) e a sobrevivência das bactérias fixadoras de N (Roughley *et al.*, 1995).

As estirpes de *Bradyrhizobium* recomendadas para a cultura da soja (SEMIA 587, 5019, 5079, 5080) são sensíveis ao excesso hídrico no solo, pois reduzem o processo de FBN nestas condições. No entanto, após a drenagem do solo, estas estirpes podem recuperar a nodulação e o processo de fixação de N₂ (Scholles e Vargas, 2004).

2.5 Reinoculação na cultura da soja

A inoculação de sementes de soja para a semeadura em solos hidromórficos é uma prática consolidada, sendo comum o uso de doses acima da normalmente utilizada nos solos bem drenados, com o objetivo de melhorar a formação de nódulos e a fixação de N_2 . Entretanto, casos de falha na nodulação e na FBN são frequentemente observados em lavouras conduzidas nestes solos. Estas falhas podem ser ocasionadas por vários fatores, destacando-se a ocorrência de estresses ambientais (Hungria e Franco, 1993; Hungria e Vargas, 2000; Hungria e Kaschuk, 2014), o uso de inoculante de baixa qualidade e fatores que afetam a sobrevivência das bactérias, tais como a validade do inoculante, o armazenamento inadequado, a mistura do inoculante com produtos químicos que podem ser altamente tóxicos para os rizóbios, a semeadura em solo com baixa umidade, entre outros (Reunião..., 2016).

A ocorrência de, pelo menos, um destes fatores pode resultar em nodulação insuficiente, diminuindo a contribuição da FBN para o suprimento da exigência total de N pela cultura (Hungria, Nogueira e Araujo, 2015). Nestes casos, é necessário o uso de estratégias para amenizar o problema. A adubação nitrogenada pode ser considerada a principal opção, porém pode elevar drasticamente os custos de produção (Hungria *et al.*, 2005). Outra prática paliativa que pode promover, pelo menos, recuperação parcial da nodulação e da FBN, desde que o solo esteja com umidade adequada, é a aplicação de inoculante diluído em água sobre a superfície do solo, quando a cultura está no período vegetativo de desenvolvimento (Rogers, Warren Jr e

Chambles, 1982; Boonkerd *et al.*, 1985; Zilli *et al.*, 2008; Hungria, Nogueira e Araujo, 2015; Moretti *et al.*, 2018).

Nesse sentido, um estudo realizado por Boonkerd *et al.* (1985) mostrou que a aplicação do inoculante na linha de semeadura de soja, em pós emergência da cultura, proporcionou nodulação, massa seca das plantas e produtividade de grãos similares aos obtidos com a inoculação das sementes por ocasião da semeadura. Porém, estes resultados foram obtidos quando a reinoculação em cobertura foi realizada até os 15 dias após a semeadura e quando o solo apresentava condições adequadas de umidade.

No Brasil, alguns trabalhos mostram que a inoculação de bactérias pela pulverização em pós-emergência da cultura da soja pode ser eficiente. Os resultados de um trabalho realizado no Cerrado de Roraima mostraram que é possível obter, com esta prática, o aumento da nodulação, da massa seca das plantas e da produtividade, em comparação ao controle sem inoculante (Zilli *et al.*, 2008). Neste trabalho, o inoculante foi aplicado até 18 dias após a semeadura, em solo com alto teor de areia (87%), inexpressiva palhada sobre o solo e alto teor de umidade. Os autores consideram que essas condições podem ter facilitado a infiltração da água e a consequente percolação das bactérias nos primeiros centímetros do perfil do solo. Essa condição pode ser considerada necessária para a obtenção de resultados positivos com a inoculação por pulverização em cobertura. Munhoz (2016) reporta trabalho que foi realizado em área onde nunca havia sido realizado o cultivo de nenhuma espécie agrícola. Neste estudo, pulverizou-se, na linha de semeadura e no estágio V1, a mistura de dois inoculantes, com volume de calda de 200 L ha⁻¹. Os resultados indicaram que o uso da inoculação após a emergência das

plantas proporcionou maior nodulação e produtividade que a inoculação padrão realizada nas sementes. Souza (2016) também mostrou que as plantas de soja respondem a inoculações suplementares em cobertura, se houver alta umidade no solo, provida por precipitação pluvial ou irrigação, que favoreça o contato da bactéria com o sistema radicular.

No entanto, há que se considerar que os novos segmentos radiculares são apenas temporariamente suscetíveis à infecção rizobiana devido a existência de mecanismos de auto-regulação (Bhuvanewari, Bhagwat e Bauer, 1981). Desta forma, o contato retardado entre as bactérias e as raízes obtido com a inoculação em pós emergência pode resultar em baixa nodulação e reduzida FBN (Hungria, Nogueira e Araujo, 2015). Portanto, é de fundamental importância obter informações sobre a viabilidade da inoculação tardia, após estresse ocasionado por excesso hídrico no solo.

2.6 Adubação nitrogenada em soja após hipóxia

Em leguminosas como a soja, o efeito do excesso hídrico no solo não fica limitado à redução do crescimento radicular e da parte aérea da planta, mas também reduz a FBN (Sá, 2005), o que prejudica o transporte de nutrientes para as folhas, resultando em clorose foliar (Nathanson *et al.*, 1984).

Em geral, não se justifica a adubação nitrogenada mineral na cultura da soja, devido à eficiência da fixação simbiótica do N₂. Entretanto, muitos produtores têm optado, por razões de economia, pela utilização de fertilizantes com baixas concentrações de N em sua composição. Nestes casos, a recomendação é a utilização de, no máximo, 20 kg de N por hectare na

adubação de base, para que não ocorra interferência no processo de FBN (Câmara, 2014).

No entanto, a falta de O₂ no solo resulta em perdas de produtividade devido a problemas relacionados ao crescimento das plantas de soja, que podem ser amenizadas pela suplementação com N mineral. Porém, o N é um elemento que pode ser facilmente perdido por lixiviação, volatilização e desnitrificação no sistema solo-planta. Isso torna o manejo da adubação nitrogenada bastante difícil, principalmente em solos inundados ou saturados com água (Pires *et al.*, 2002).

Mesmo as plantas de soja adubadas com fertilizante nitrogenado mineral são afetadas pelo excesso hídrico no solo, que reduz a massa seca e o N acumulado na parte aérea (Scholles e Vargas, 2004). Apesar disso, a aplicação de N mineral pode aumentar significativamente a atividade da nitrato redutase e a produtividade da soja submetida à deficiência de O₂ (Bacanamwo e Purcell, 1999a; Matsunaga *et al.*, 1994).

Buscando a atenuação dos danos causados pela hipóxia temporária no solo, Sá (2005) avaliou a resposta de cultivares de soja à aplicação de doses de N. Os resultados mostraram que a utilização de N em cobertura minimizou os danos ocasionados pelo excesso hídrico à produtividade de grãos em 15%, respondendo até a dose de 50 kg N ha⁻¹ para períodos de estresse de até 48 h.

Para o cultivo racional e sustentável da soja em ambientes onde frequentemente ocorrem condições de excesso de água no solo, a realização de estudos para adaptação da cultura são de extrema importância. Estas análises devem envolver a adaptação genética através de cultivares mais tolerantes à hipóxia, associada a práticas de manejo do solo e da cultura, tais

como drenagem, irrigação, adubação e outras práticas que possam amenizar as perdas causadas pela deficiência de O_2 em solos hidromórficos (Sá, 2005).

Esses dados demonstram a importância da realização de estudos adicionais visando a resposta da cultura em relação à aplicação de diferentes doses de N e à reinoculação de rizóbios em pós-emergência após estresse ocasionado pelo excesso hídrico no solo, como forma de buscar maior estabilidade produtiva da soja cultivada em áreas de terras baixas, em rotação com arroz irrigado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do ambiente

O experimento com a cultura da soja foi conduzido a campo durante dois anos agrícolas (2015/16 e 2016/17), na Estação Experimental do Arroz, do Instituto Rio Grandense do Arroz (EEA/IRGA), localizada no município de Cachoeirinha, estado do Rio Grande do Sul (RS).

A área experimental está situada na região da Planície Costeira Externa do RS (IRGA, 2018a), a 29° 55' 30" de latitude sul e 50° 58' 21" de longitude oeste, e com altitude de sete metros acima do nível do mar. O clima é subtropical úmido de verão quente, do tipo Cfa, conforme a classificação de Köppen (Bergamaschi *et al.*, 2003), sendo considerado como de transição entre os tipos Cfa₁ (isoterma anual inferior a 18°C) e Cfa₂ (isoterma anual superior a 18°C). A temperatura mínima média do ar é de 9,8°C, no mês mais frio (julho), e a máxima média é de 31,6°C, no mês mais quente (janeiro) (Bergamaschi *et al.*, 2003). A média anual da temperatura do ar é de aproximadamente 19°C (Kuinctner e Buriol, 2001). A precipitação pluvial média anual é de 1.425 mm. A disponibilidade de radiação solar máxima é de 21,0 MJ m⁻² dia⁻¹ (502 cal cm⁻² dia⁻¹), no mês de dezembro (INMET, 2012).

O solo da área experimental é classificado como Gleissolo Háplico Distrófico típico (Streck *et al.*, 2008), caracterizado como hidromórfico, sujeito à

saturação por água ou alagamentos em períodos de elevada precipitação pluvial.

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, sendo os tratamentos dispostos em um esquema fatorial 2x8, com quatro repetições. Os tratamentos constaram de duas cultivares de soja, de sete manejos para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo e mais uma testemunha com soja não submetida ao estresse por excesso hídrico.

As duas cultivares de soja utilizadas no experimento foram a TEC IRGA 6070 RR e a NA 5909 RG. A cultivar TEC IRGA 6070 RR apresenta boa tolerância ao excesso hídrico no solo (Lange *et al.*, 2013; Uhry Junior *et al.*, 2017; Rocha *et al.*, 2017), enquanto que a cultivar NA 5909 é considerada sensível ao excesso hídrico no solo (Oliveira *et al.*, 2012; Giordano, 2014). Esta última é uma das cultivares com maior área semeada no RS, por ter estabilidade produtiva. Algumas características das cultivares utilizadas no presente experimento são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1. Características das cultivares de soja utilizadas nos experimentos. Cachoeirinha, RS.

Característica	TEC IRGA 6070 RR*	NA 5909 RG**
Grupo de maturação	6.3	6.2
Ciclo	Semiprecoce	Semiprecoce
Tipo de crescimento	Indeterminado	Indeterminado
Porte	Médio a alto	Médio
Peso de 100 sementes (g)	15,0	16,6

* Dados obtidos de Lange *et al.* (2013). ** Dados obtidos de Nidera Sementes (2018).

Os tratamentos relacionados ao manejo constaram de uma testemunha não submetida ao excesso hídrico e diferentes manejos visando recuperar o desenvolvimento das plantas após o estresse por excesso hídrico:

T1 (testemunha não submetida ao estresse por excesso hídrico, sem aplicação de nitrogênio (N) em cobertura e sem reinoculação);

T2 (somente drenagem, sem aplicação de N em cobertura e sem reinoculação);

T3 (sem aplicação de N em cobertura e com reinoculação);

T4 (com aplicação de 20 kg N ha⁻¹ em cobertura e sem reinoculação);

T5 (com aplicação de 20 kg N ha⁻¹ em cobertura e com reinoculação);

T6 (com aplicação de 80 kg N ha⁻¹ em cobertura e sem reinoculação);

T7 (com aplicação de 160 kg N ha⁻¹ em cobertura e sem reinoculação);

T8 (com aplicação de 320 kg N ha⁻¹ em cobertura e sem reinoculação).

Em cada ano, a área onde foi instalado o experimento foi nivelada em cota zero. Após a semeadura, a área foi entaipada para a aplicação do excesso hídrico. Quando as plantas estavam no estágio vegetativo V8 (sete folhas trifolioladas completamente desenvolvidas) (Fehr e Caviness, 1977), todas as parcelas, com exceção da testemunha não submetida ao estresse por excesso hídrico, foram submetidas ao excesso hídrico, com a aplicação de lâmina de água de três a cinco centímetros acima do nível do solo (Figura 1). Este estágio de desenvolvimento foi escolhido por estar entre os quais a soja apresenta maior tolerância ao excesso hídrico no solo na fase vegetativa (Linkemer, Board e Nusgrave, 1998, Schöffel *et al.*, 2001).

A duração do período de inundação foi determinada em função da intensidade do estresse durante o excesso hídrico, sendo aplicado até quando

as plantas começassem a mostrar sintomas de clorose e murcha das folhas. Nos dois anos, o período de inundação foi de quatro dias.

Após o estresse, as saídas de água das respectivas parcelas foram abertas para drenagem, o que ocorreu quando as plantas de soja estavam no estágio V9. Os manejos visando recuperar o desenvolvimento das plantas após o estresse por excesso hídrico foram aplicados três dias após o início da retirada da água, em 2015/16, e cinco dias após em 2016/17, quando a umidade do solo estava próxima da capacidade de campo.

A reinoculação (Tratamentos T3 e T5) foi realizada pela pulverização em cobertura do inoculante, na dose de 300 ml ha⁻¹ de produto líquido comercial (5 x 10⁹ UFC mL⁻¹), em volume de calda de 200 L ha⁻¹. Nos tratamentos com aplicação de nitrogênio em cobertura (Tratamentos T4 a T8), utilizou-se como fonte de N a ureia com inibidor da urease.



FIGURA 1. Soja estabelecida em microcamalhões submetida ao excesso hídrico durante quatro dias (ao fundo) e, na frente, a testemunha sem imposição do estresse. Cachoeirinha-RS, 2016.

3.3 Procedimento experimental

A soja foi semeada em 25 de novembro de 2015 e em 23 de novembro de 2016, no sistema de cultivo mínimo após pousio. Visando facilitar a drenagem após a imposição do excesso hídrico, a semeadura da soja foi realizada em microcamalhões, utilizando-se semeadora adaptada para esta finalidade, com duas linhas por microcamalhão. A densidade de semeadura foi de 32 sementes m^{-2} . As unidades experimentais apresentaram área total de 24 m^2 , compostas de oito linhas de seis metros de comprimento, com espaçamento entrelinhas de 0,50 m.

A análise de solo, na camada de 0-20 cm, apresentou 32% de argila; pH $H_2O = 5,7$; $P = 10,6 \text{ mg dm}^{-3}$; $K = 57 \text{ mg dm}^{-3}$; M.O. = 1,0%; $Al = 0,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $Ca = 3,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $Mg = 0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

A adubação da área experimental foi realizada, nos dois anos, com a aplicação, em linha, de 126 kg ha⁻¹ de P₂O₅, (superfosfato triplo), e, em cobertura logo após a semeadura, de 120 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio).

Nos dois anos agrícolas, as sementes de soja foram tratadas previamente com fungicida e inseticida à base de piraclostrobina (25 g/l), tiofanato-metílico (225 g/l) e fipronil (250 g/l), na dose de 2,0 ml de produto comercial kg⁻¹ de semente. Imediatamente antes da semeadura, as sementes foram inoculadas com o equivalente a três doses por hectare de inoculante líquido comercial (5 x 10⁹ UFC mL⁻¹) contendo duas estirpes de rizóbios indicadas para a cultura da soja (*Bradyrhizobium elkanii* e *B. japonicum*). Os tratos culturais foram realizados segundo as recomendações técnicas da cultura da soja (Reunião..., 2016).

No ano agrícola 2015/16, foram realizadas duas irrigações de aproximadamente 15 mm, através de equipamento de irrigação por aspersão. A primeira foi realizada quando as plantas estavam no estágio R1 (Início do florescimento) e a segunda quando as plantas estavam entre os estádios R2 e R3 (Florescimento pleno e início da formação de legumes). No ano agrícola 2016/17, não foi realizada irrigação suplementar. Os dados meteorológicos dos dois anos agrícolas de condução do experimento encontram-se no Apêndice 8.

3.4 Parâmetros avaliados

3.4.1 Número e massa seca de nódulos por planta e massa seca por nódulo

Para a realização destas avaliações, foram amostradas quatro plantas em cada unidade experimental. As plantas foram coletadas de forma a manter o volume de solo estabelecido para cada planta, que foi de 0,008 m³. Para isso, a planta escolhida aleatoriamente foi centralizada e em volta dela foi coletada área de solo de 20 x 20 cm, a uma profundidade de 20 cm, com o auxílio de uma pá-de-corte. Após, utilizando peneira de três milímetros, o solo foi lavado para limpeza e separação dos nódulos das raízes das plantas (Figura 2).

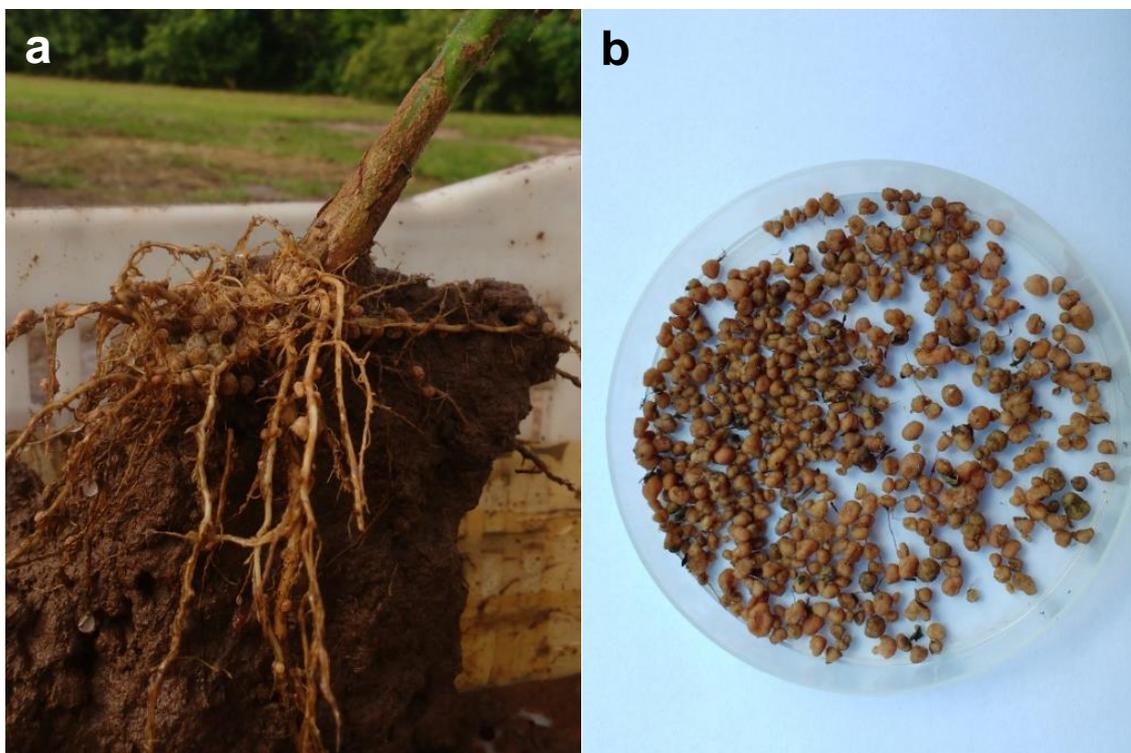


FIGURA 2. Lavagem em água corrente (a) e separação dos nódulos (b) de plantas de soja. Cachoeirinha-RS, 2016.

Após a separação, foi realizada contagem do número de nódulos por planta e, posteriormente, este material foi colocado em estufa com temperatura de 60°C por 72 horas para a determinação da massa seca de nódulos por planta, sendo o valor expresso em miligramas por planta. A massa seca por nódulo foi obtida dividindo-se a massa total de nódulos pelo número de nódulos por planta, sendo o valor expresso em miligramas.

Foram realizadas duas avaliações da nodulação, sendo a primeira realizada aos quatro dias após a drenagem do excesso hídrico em 2015/16 e aos seis dias após a drenagem no ano seguinte. A segunda avaliação foi realizada quando as plantas estavam no início do enchimento de grãos (estádio R5) (Fehr e Caviness, 1977), nos dois anos. Esta segunda avaliação foi realizada neste estágio porque de acordo com Câmara (2014), além do primeiro pico de atividade fotossintética que ocorre no florescimento das plantas de soja (estádios R1 e R2), ocorre um segundo pico entre os estádios R5.1 e R5.3, quando há novamente aumento do número e da massa seca de nódulos por planta para suprir a alta demanda por energia e nutrientes durante a formação das sementes.

3.4.2 Produtividade de massa seca na parte aérea da planta no estágio R5 (Início do enchimento de grãos)

Foram realizadas coletas de plantas em duas linhas de 0,5 m de comprimento, totalizando 0,5 m². Este material foi colocado em estufa com temperatura de 60°C por 72 horas. Após, foi feita a pesagem da massa seca da biomassa da parte aérea e o valor extrapolado para kg ha⁻¹.

3.4.3 Quantidade de nutrientes acumulada na parte aérea das plantas no estágio R5 (Início do enchimento de grãos)

As amostras coletadas para determinação de massa seca foram moídas e homogeneizadas. A análise dos nutrientes das plantas foi realizada pelo Laboratório de Análises de Solos da EEA/IRGA (Cachoeirinha, RS), sendo determinados os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). A quantidade de nutrientes acumulada foi calculada pela multiplicação do teor de cada nutriente na massa seca pela produtividade de massa seca.

3.4.4 Leitura da reflectância do dossel - NDVI

A reflectância do dossel foi avaliada pelo radiômetro Greenseeker. Este equipamento fornece o valor do “Índice de vegetação por diferença normalizada” (NDVI). O aparelho foi posicionado paralelamente às linhas da cultura, em uma altura entre 0,8 e 1,0 m acima do topo do dossel. As leituras foram realizadas por ocasião do deslocamento linear do equipamento sobre a unidade experimental, com largura útil captada pelo sensor de 0,7 a 0,8 m. Após o acionamento do sensor, ocorre a leitura de um ponto sobre o dossel a cada 0,1 segundo, totalizando cerca de 200 pontos medidos em cada unidade experimental.

No primeiro ano, foram realizadas 10 avaliações durante o período de condução do experimento, expressas em dias após a aplicação dos tratamentos para recuperar os efeitos do estresse por excesso hídrico: -2 (um dia após a drenagem da área, quando as plantas estavam no estágio V9), 0 (dia da aplicação dos tratamentos, estágio V10), 4 (estádio V11), 7 (estádio

R1), 12 (estádio R2), 20 (estádio R3), 22 (estádio R3), 28 (estádio R4), 33 (estádios R4-R5) e 42 (estádio R5) dias após aplicação dos tratamentos (Aplicação de N e/ou reinoculação). No segundo ano, foram realizadas nove avaliações, também expressas em dias após a aplicação dos tratamentos para recuperar os efeitos do estresse por excesso hídrico: 12 (estádio R2), 19 (estádio R3), 28 (estádio R4), 33 (estádio R5), 43 (estádio R5.3), 50 (estádio R5.4), 54 (estádio R5.5), 68 (estádio R6) e 75 dias (estádio R7).

3.4.5 Correlação entre NDVI e produtividade de massa seca

Os valores de produtividade de massa seca foram correlacionados com a leitura do NDVI realizada em data mais próxima possível da coleta das plantas para a avaliação de massa seca, nos dois anos agrícolas. No primeiro ano, a coleta das plantas para a avaliação de massa seca foi realizada aos 43 dias após a aplicação dos tratamentos (estádio R5) e correlacionada com a avaliação de NDVI realizada aos 45 dias após a aplicação dos tratamentos. No segundo ano, a coleta das plantas foi realizada aos 41 dias após a aplicação dos tratamentos (estádio R5) e correlacionada com a avaliação de NDVI realizada aos 38 dias após a aplicação dos tratamentos. Foi determinado o coeficiente de correlação linear de Pearson.

3.4.6 Teor relativo de clorofila na folha

As medições foram realizadas utilizando o clorofilômetro Minolta (Modelo SPAD-520®). O clorofilômetro utiliza fontes luminosas e detectores para medir a luz transmitida pela lâmina foliar, em dois comprimentos de onda (região do vermelho – 650 nm – e do infravermelho – 940 nm – do espectro). A leitura é

dada em unidades SPAD (Soil and Plant Analysis Development), que indicam a intensidade da coloração verde da folha e, indiretamente, a quantidade de clorofila (Piekielek e Fox, 1992).

No primeiro ano, foram realizadas quatro avaliações durante o período de condução do experimento, nos estádios V9 (um dia após a drenagem da área), R4, R4-R5 e R5, correspondendo, respectivamente a -2, 28, 33 e 42 dias após a aplicação dos tratamentos para recuperar os efeitos do estresse por excesso hídrico. No segundo ano, foram realizadas cinco avaliações após a aplicação dos tratamentos, nos estádios R2 (16 dias após a aplicação dos tratamentos), R3, R4, R5 e R5.4, correspondendo, respectivamente, a 16, 23, 28, 36 e 47 dias após a aplicação dos tratamentos para mitigar os efeitos do estresse por excesso hídrico. As avaliações foram realizadas na porção mediana do trifólio central da penúltima folha completamente expandida, sendo obtido um valor médio por parcela. Cada valor considerado corresponde à média do valor da leitura do clorofilômetro (Leitura SPAD) de cinco plantas/parcela.

3.4.7 Características agrônômicas, componentes da produtividade e produtividade de grãos

A colheita foi realizada no estágio R8 (Fehr e Caviness, 1977), quando os grãos estavam com umidade em torno de 15%. A área útil colhida foi de 8,0 m² em cada parcela, o que corresponde a quatro linhas centrais com 4,0 m de comprimento. Após a colheita, foi quantificado o peso de grãos por unidade experimental e o valor foi extrapolado para produtividade de grãos (em kg ha⁻¹), na umidade de 130 g kg⁻¹.

A avaliação da população final de plantas foi realizada no estádio R8 através da contagem de plantas em quatro linhas de 4,0 m de comprimento, totalizando 8,0 m², sendo o valor expresso em número de plantas m⁻².

Para avaliação do número de nós férteis por planta, número de legumes por planta e número de grãos por legume, foram amostradas 10 plantas das fileiras úteis e as determinações foram feitas através de contagem manual. Para determinação do peso de 100 grãos, foram pesadas oito amostras de 100 grãos por parcela, com umidade corrigida para 130 g kg⁻¹.

3.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo Teste F, com auxílio do pacote estatístico SISVAR 5.6 (Ferreira, 2011). A comparação dos efeitos principais de cultivares foi realizada pelo teste T de Student e a comparação dos diferentes tratamentos visando favorecer o desenvolvimento das plantas após o estresse por excesso hídrico foi realizada através da análise de contrastes ortogonais, ao nível de 5% de probabilidade. Assim, foram realizadas as seguintes comparações:

T1 vs. T2: testemunha não submetida ao estresse por excesso hídrico vs somente drenagem, sem aplicação de N em cobertura e sem reinoculação.

Entre os manejos após o estresse por excesso hídrico:

T2 vs. T3: somente drenagem vs. sem aplicação de N em cobertura e com reinoculação;

T2 vs. T4: somente drenagem vs. com aplicação de 20 kg N ha⁻¹ em cobertura e sem reinoculação;

T4 vs. T5: com aplicação de 20 kg N ha⁻¹ em cobertura e sem reinoculação vs. com aplicação de 20 kg N ha⁻¹ em cobertura e com reinoculação;

T2 vs. T4, T6, T7, T8: somente drenagem vs. com aplicação de 20 kg N ha⁻¹ em cobertura e sem reinoculação, com aplicação de 80 kg N ha⁻¹ em cobertura e sem reinoculação, com aplicação de 160 kg N ha⁻¹ em cobertura e sem reinoculação, com aplicação de 320 kg N ha⁻¹ em cobertura e sem reinoculação.

T4 vs. T6, T7, T8: com aplicação de 20 kg N ha⁻¹ em cobertura e sem reinoculação vs. com aplicação de 80 kg N ha⁻¹ em cobertura e sem reinoculação, com aplicação de 160 kg N ha⁻¹ em cobertura e sem reinoculação, com aplicação de 320 kg N ha⁻¹ em cobertura e sem reinoculação.

T6 vs. T7, T8: com aplicação de 80 kg N ha⁻¹ em cobertura e sem reinoculação vs. com aplicação de 160 kg N ha⁻¹ em cobertura e sem reinoculação, com aplicação de 320 kg N ha⁻¹ em cobertura e sem reinoculação.

T7 vs. T8: com aplicação de 160 kg N ha⁻¹ em cobertura e sem reinoculação vs. com aplicação de 320 kg N ha⁻¹ em cobertura e sem reinoculação.

A avaliação da relação e do Coeficiente de Correlação Linear de Pearson (r) entre o NDVI e a produtividade de massa seca das plantas no estágio R5 foi realizada através do programa SigmaPlot 11.0.

Todas as avaliações foram realizadas após o estresse ocasionado à soja pelo excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios V8 e V9 (Fehr e

Caviness, 1977). Para cada variável avaliada, foi realizada análise de variância e, como não houve interação significativa de cultivares utilizadas e os diferentes manejos realizados para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo (Apêndices 1 a 5), as médias foram decompostas nos efeitos principais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, será avaliada a magnitude do efeito dos quatro dias de estresse por excesso hídrico imposto à soja, em cada um dos dois anos de condução do experimento, pela comparação do tratamento em que só foi feita a drenagem (T2) e a testemunha sem imposição desse estresse (T1).

4.1 Magnitude do estresse por excesso hídrico

Uma das hipóteses deste trabalho é de que o excesso hídrico, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, afeta negativamente a nodulação, o desenvolvimento da planta e a produtividade de grãos de soja.

4.1.1 Nodulação

No primeiro ano (2015/16), na primeira avaliação da nodulação, realizada aos quatro dias após a drenagem do excesso hídrico, os resultados mostram que a imposição do excesso hídrico reduziu o número e a massa seca de nódulos por planta e a massa seca por nódulo em relação ao tratamento testemunha (não submetido ao excesso hídrico), em, respectivamente, 70, 83 e 44% (Tabela 2).

TABELA 2. Número e massa de nódulos por planta e massa de um nódulo de soja nos tratamentos com e sem excesso hídrico, na média de duas cultivares, aos quatro (2015/16) e seis dias (2016/17) após a drenagem da lâmina de água para imposição do estresse por excesso hídrico no solo, e no estágio R5, na média de duas cultivares, submetidas a diferentes tratamentos¹ para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.

Estresse por excesso hídrico	2015/16			2016/17		
	Número/ planta	Massa/ planta (mg)	Massa/ nódulo (mg)	Número/ planta	Massa/ planta (mg)	Massa/ nódulo (mg)
	Primeira avaliação					
	04 dias após a drenagem			06 dias após a drenagem		
SEM:						
Testemunha (T1)	87 a***	420 a	4,70 a	162 a	480 a	3,04 a
COM:						
Somente drenagem (T2)	26 b	70 b	2,64 b	11 b	10 b	1,08 b
	Segunda avaliação (estádio R5)					
SEM:						
Testemunha (T1)	257	1310	5,16	301	1120	3,74
COM:						
Somente drenagem (T2)	183	770	4,19	182	510	2,87
Sem N + Rein. ² (T3)	177	754	4,39	190	534	2,89
20 kg N ha ⁻¹ (T4)	186	852	3,99	199	521	2,61
20 kg N ha ⁻¹ + Rein. (T5)	159	707	3,86	192	485	2,52
80 kg N ha ⁻¹ (T6)	- ³	-	-	160	290	1,80
160 kg N ha ⁻¹ (T7)	-	-	-	108	123	1,32
320 kg N ha ⁻¹ (T8)	24	59	2,44	65	115	1,50
CONTRASTES						
T1 x T2	0,059	0,000**	0,039*	0,000**	0,000**	0,027*
T2 x T3	0,870	0,900	0,652	0,652	0,726	0,951
T2 x T4	0,941	0,509	0,653	0,346	0,869	0,509
T4 x T5	0,471	0,250	0,771	0,698	0,603	0,816
T2 x T4, T6, T7, T8	-	-	-	0,001**	0,000**	0,001**
T4 x T6, T7, T8	-	-	-	0,000**	0,000**	0,001**
T6 x T7, T8	-	-	-	0,000**	0,006**	0,251
T7 x T8	-	-	-	0,019	0,906	0,637
T2 x T8	0,000**	0,000**	0,001**	-	-	-

¹ Aplicação realizada em cobertura, três e cinco dias após a drenagem, respectivamente, para as safras 2015/16 e 2016/17; ² Reinoculação por pulverização em cobertura; ³ Avaliação não realizada; *** Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student, a 5% de probabilidade; ^{NS} = Não significativo; *Significativo a 5% de probabilidade; ** Significativo a 1% de probabilidade.

No segundo ano (2016/17), na primeira avaliação, realizada aos seis dias após a drenagem do excesso hídrico, o número e a massa seca de nódulos por planta e a massa seca por nódulo também foram significativamente menores no tratamento com estresse por excesso hídrico

(T2), com reduções maiores, respectivamente, de 93, 98 e 64%, em relação à testemunha sem estresse (T1) (Tabela 2).

Essa redução verificada no número e na massa seca de nódulos por planta e na massa seca por nódulo nessa primeira avaliação indica que a magnitude do estresse foi intensa, prejudicando a fixação biológica do N₂ (FBN), principalmente no segundo ano.

Prejuízos à FBN em função do excesso hídrico no solo também foram observados anteriormente em outros trabalhos. Zenzen *et al.* (2007) obtiveram redução do número, da massa seca e do volume de nódulos nas plantas submetidas ao excesso hídrico. Conforme também mostrado no presente trabalho, um dos principais danos do excesso hídrico à planta de soja é a redução no número de nódulos por planta (Roughley *et al.*, 1995; James e Crawford, 1998; Vignolio *et al.*, 1999; Scholles e Vargas, 2004; Prudent *et al.*, 2015).

Os resultados obtidos no presente experimento divergem dos obtidos por De-Polli *et al.* (1973) e Pires *et al.* (2002), que afirmam que há probabilidade de haver nodulação eficiente e fixação de N₂ em solos com excesso de umidade. No entanto, cabe ressaltar que estes autores conduziram seus experimentos em vasos plásticos, o que pode ter facilitado à difusão de O₂ até às raízes.

O excesso hídrico no solo geralmente prejudica a FBN, devido à deficiência de O₂. Esse elemento é essencial para manutenção da respiração aeróbica, que é fundamental para suprimento da grande demanda de ATP que, por sua vez, é indispensável à atividade da enzima nitrogenase (Barni e Costa, 1975; De Wit, 1978; Loureiro *et al.*, 1998, Layzell e Hunt, 1990). O tempo

necessário para que o excesso hídrico reduza a concentração de O₂ no solo até os limites de deficiência é variável (Turner *et al.*, 1983). Entre os fatores que influenciam neste tempo, o mais relevante é a temperatura, cujo aumento favorece a atividade microbiana do solo e acelera as transformações químicas, consumindo oxigênio mais rapidamente (Luxmoore *et al.*, 1973). Com temperaturas superiores a 20°C, eleva-se o consumo de O₂ pelos microrganismos, pela fauna e pela respiração das raízes das plantas, podendo haver o seu esgotamento total após 24 horas do início do excesso hídrico no solo (Armstrong *et al.*, 1994; Marschner, 1995; Drew *et al.*, 2000; Liesack, Schnell e Revsbech, 2000).

Na segunda avaliação de nodulação, realizada no estágio R5 nos dois anos, houve aumento nas três variáveis relativas à nodulação, em relação aos valores obtidos na primeira avaliação (Tabela 2). Esta observação sugere que, mesmo que ocorra inibição da nodulação com o excesso hídrico, as bactérias do gênero *Bradyrhizobium* conseguem sobreviver a esta condição e colonizar novamente as raízes das plantas de soja após a remoção do estresse. Esta constatação coincide com os resultados obtidos por Scholles e Vargas (2004), os quais verificaram que, após a remoção do excesso hídrico no solo, houve recuperação da nodulação e do processo de fixação biológica do N₂ em soja inoculada com as estirpes recomendadas de *Bradyrhizobium*.

No entanto, mesmo com este aumento do número e da massa seca de nódulos por planta e da massa seca por nódulo obtida na segunda avaliação nos dois anos do presente experimento, observa-se que o estresse por excesso hídrico reduziu significativamente estes três parâmetros em relação à testemunha, sem imposição desse estresse (Tabela 2). Estes resultados estão

de acordo com o obtido por Scholles e Vargas (2004), que observaram menores valores para número e massa seca de nódulos por planta quando estas foram submetidas ao excesso hídrico, em relação às plantas mantidas em capacidade de campo, mesmo aos 31 dias (estádio R3) após o término do período de estresse por excesso hídrico.

4.1.2 Características associadas ao desenvolvimento da planta

Nos dois anos, houve redução significativa da produtividade de massa seca da parte aérea das plantas quando submetidas ao estresse por excesso hídrico, em relação à testemunha sem imposição desse estresse. Essa redução foi maior no segundo ano (40%) em relação ao primeiro ano (23%) (Tabela 3), o que sugere que a magnitude do estresse foi elevada, principalmente no segundo ano.

TABELA 3. Produtividade de massa seca (MS) da parte aérea e quantidade acumulada de nutrientes no estágio R5, na média de duas cultivares de soja, submetidas a diferentes tratamentos¹ para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.

	MS	N	P	K	Ca	Mg
	kg ha ⁻¹					
2015/16						
Estresse por excesso hídrico						
SEM:						
Testemunha (T1)	7682	189,0	13,2	78,1	42,8	25,0
COM:						
Somente drenagem (T2)	5879	121,3	10,6	59,7	30,8	18,1
Sem N + Rein. ² (T3)	5712	108,5	10,4	62,5	27,8	18,2
20 kg N ha ⁻¹ (T4)	5761	132,9	10,4	64,5	32,6	18,5
20 kg N ha ⁻¹ + Rein. (T5)	5804	122,4	9,7	68,7	30,8	17,7
80 kg N ha ⁻¹ (T6)	6114	125,7	10,1	64,7	32,8	19,1
160 kg N ha ⁻¹ (T7)	6171	129,0	10,5	67,2	34,1	18,8
320 kg N ha ⁻¹ (T8)	6018	129,6	8,6	55,2	29,4	17,5
CONTRASTES						
T1 x T2	0,000**	0,000**	0,032*	0,048*	0,000**	0,000**
T2 x T3	0,704	0,386	0,836	0,758	0,272	0,912
T2 x T4	0,788	0,436	0,817	0,599	0,560	0,740
T4 x T5	0,922	0,480	0,554	0,638	0,501	0,578
T2 x T4, T6, T7, T8	0,693	0,498	0,397	0,654	0,573	0,705
T4 x T6, T7, T8	0,345	0,690	0,474	0,779	0,822	0,957
T6 x T7, T8	0,959	0,779	0,596	0,654	0,631	0,451
T7 x T8	0,728	0,967	0,098	0,190	0,076	0,365
2016/17						
Estresse por excesso hídrico						
SEM:						
Testemunha (T1)	5336	142,1	18,1	96,6	33,2	15,2
COM:						
Somente drenagem (T2)	3163	75,7	9,9	43,4	21,2	10,8
Sem N + Rein. ² (T3)	3063	72,8	10,3	47,8	21,6	11,1
20 kg N ha ⁻¹ (T4)	3009	71,6	9,9	42,8	18,8	9,4
20 kg N ha ⁻¹ + Rein. (T5)	3268	77,1	12,0	48,7	19,5	10,2
80 kg N ha ⁻¹ (T6)	3669	86,1	11,5	55,1	25,1	12,4
160 kg N ha ⁻¹ (T7)	3354	80,9	9,8	50,9	23,6	11,5
320 kg N ha ⁻¹ (T8)	3460	80,9	11,3	43,8	20,3	11,6
CONTRASTES						
T1 x T2	0,000**	0,000**	0,001**	0,000**	0,000**	0,008**
T2 x T3	0,761	0,750	0,872	0,589	0,952	0,819
T2 x T4	0,639	0,646	0,985	0,941	0,480	0,388
T4 x T5	0,433	0,542	0,374	0,468	0,823	0,612
T2 x T4, T6, T7, T8	0,422	0,564	0,716	0,458	0,724	0,716
T4 x T6, T7, T8	0,076	0,139	0,617	0,283	0,112	0,065
T6 x T7, T8	0,360	0,506	0,635	0,272	0,255	0,540
T7 x T8	0,746	0,998	0,523	0,381	0,315	0,944

¹ Tratamentos aplicados aos três e cinco dias após a drenagem, respectivamente, para os anos agrícolas 2015/16 e 2016/17; ² Reinoculação por pulverização em cobertura; *Significativo a 5% de probabilidade; **Significativo a 1% de probabilidade.

A produtividade de massa seca da parte aérea da planta é um parâmetro que pode ser usado para avaliar o grau de estresse das plantas em função do excesso hídrico no solo, devido à redução linear que apresenta em relação à duração do período de estresse, tanto no período vegetativo quanto no reprodutivo (Scott, 1989). Essa redução verificada no desenvolvimento da planta em função do estresse por excesso hídrico pode ser atribuída a uma série de prejuízos ocasionados às plantas estressadas, como redução das absorções de água e nutrientes (Carlesso, 1995), da zona de exploração radicular (Kludze, DeLaune e Patrick, 1994), da área foliar e da translocação de água e fotoassimilados (Taiz e Zeiger, 1991; Salisbury e Ross, 1992). De acordo com Bacanamwo e Purcel (1999a), quando as plantas são submetidas a períodos de excesso hídrico no solo, ocorre redução no acúmulo de biomassa e, quanto maior o período de duração do estresse, maior será esta redução.

O excesso hídrico diminuiu a quantidade de nutrientes acumulada na parte aérea da planta no estágio R5 (Tabela 3). Para as quantidades de N, P, K, Ca e Mg, a redução foi de, respectivamente, 36, 20, 24, 28 e 28%, no primeiro ano, e de 47, 45, 55, 36 e 29%, no segundo. De forma similar aos dados de produtividade de massa seca, estes dados também sugerem maior magnitude do estresse no segundo ano.

Reduções no acúmulo da massa seca e no teor de nitrogênio (N) em leguminosas submetidas ao excesso hídrico também foram relatadas anteriormente em outros trabalhos (Bacanamwo e Purcell, 1999a; Scholles e Vargas, 2004; Cho e Yamakawa, 2006; Alves, Sá e Muniz, 2011; Giordano, 2014).

Os resultados do presente experimento mostram que o N acumulado na parte aérea é um parâmetro mais sensível ao excesso hídrico do que a produtividade de massa seca da parte aérea. Estes dados confirmam os obtidos por Bacanamwo e Purcell (1999a), em que as plantas submetidas ao excesso hídrico reduziram em 15% a massa seca e em 55% a quantidade acumulada de nitrogênio na parte aérea, em comparação às plantas que não foram submetidas a esse estresse. Da mesma forma, Giordano (2014) encontrou redução de 12% na massa seca e 48% na quantidade acumulada de nitrogênio na parte aérea nas plantas que foram submetidas ao excesso hídrico.

Nas duas primeiras avaliações, realizadas dois dias antes (estádio V9) e 28 dias após a aplicação dos tratamentos (estádio R4) no primeiro ano e aos 16 (estádio R2) e 23 dias (estádio R3) após a aplicação dos tratamentos no segundo ano, o teor relativo de clorofila na folha foi menor no tratamento com estresse hídrico em relação à testemunha, sem imposição desse estresse (Tabela 4). No entanto, nas demais avaliações realizadas posteriormente, não foram observadas diferenças entre esses dois tratamentos, sugerindo que o estresse por excesso hídrico reduziu a absorção de nitrogênio, a qual foi retomada após o término do período de estresse.

TABELA 4. Teor relativo de clorofila na folha (Índice SPAD), na média de duas cultivares de soja submetida a diferentes tratamentos¹ para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, em diferentes datas de avaliação², em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.

Estresse por excesso hídrico	2015/16				2016/17					
	Dias em relação à aplic. dos trat.					Dias em relação à aplic. dos trat.				
	-2 (V9)	28 (R4)	33 (R4-R5)	42 (R5)	16 (R2)	23 (R3)	28 (R4)	36 (R5)	47 (R5.4)	
SEM										
Testemunha (T1)	38,4	35,6	42,1	43,0	38,4	40,3	41,9	41,9	45,9	
COM										
Somente drenagem (T2)	33,1	32,6	39,8	41,6	33,1	37,2	40,7	41,3	45,4	
Sem N + Rein. ³ (T3)	31,7	33,8	39,9	42,5	31,7	36,1	39,2	41,5	44,8	
20 kg N ha ⁻¹ (T4)	33,0	32,6	40,8	42,3	33,0	37,8	39,8	40,5	45,2	
20 kg N ha ⁻¹ + Rein. (T5)	31,8	33,4	40,8	42,3	31,8	38,2	40,9	40,4	45,9	
80 kg N ha ⁻¹ (T6)	33,2	35,1	42,0	42,9	33,2	39,5	40,9	41,6	45,2	
160 kg N ha ⁻¹ (T7)	31,8	37,0	41,4	43,5	31,8	40,6	41,1	42,9	44,7	
320 kg N ha ⁻¹ (T8)	33,0	36,2	42,8	44,2	33,0	40,3	41,7	41,5	45,0	
CONTRASTES										
T1 x T2	0,000**	0,002**	0,036*	0,089	0,000**	0,000**	0,256	0,485	0,452	
T2 x T3	0,208	0,218	0,888	0,311	0,208	0,184	0,115	0,782	0,399	
T2 x T4	0,933	0,991	0,345	0,407	0,933	0,442	0,323	0,400	0,783	
T4 x T5	0,275	0,408	0,972	0,975	0,275	0,590	0,256	0,916	0,305	
T2 x T4, T6, T7, T8	0,683	0,001**	0,024*	0,015*	0,683	0,001**	0,874	0,661	0,504	
T4 x T6, T7, T8	0,696	0,000**	0,151	0,062	0,696	0,001**	0,073	0,056	0,680	
T6 x T7, T8	0,436	0,072	0,949	0,172	0,436	0,201	0,503	0,447	0,603	
T7 x T8	0,279	0,378	0,183	0,381	0,279	0,677	0,564	0,151	0,620	

¹ Tratamentos aplicados aos três e cinco dias após a drenagem, respectivamente, para os anos agrícolas 2015/16 e 2016/17; ² Dias em relação à aplicação dos tratamentos; ³ Reinoculação por pulverização em cobertura; * Significativo a 5% de probabilidade; ** Significativo a 1% de probabilidade.

Esta diferença no teor relativo de clorofila nas folhas obtida nas duas primeiras avaliações, realizadas após a aplicação do excesso hídrico, corrobora com os sintomas de clorose foliar observados durante os dois anos, nas parcelas submetidas a esse estresse (Figura 3).



FIGURA 3. Sintomas de clorose foliar em plantas de soja, observados aos três dias após o término de imposição do excesso hídrico (estádio V10) nas parcelas submetidas a esse estresse (ao fundo) e, na frente, a testemunha sem imposição do estresse. Cachoeirinha-RS, 2017.

Além de inibir a FBN, a deficiência de oxigênio no sistema radicular também diminui a absorção de nitrogênio e de outros minerais (Loureiro *et al.*, 1998, Layzell e Hunt, 1990; Sallam e Scott, 1987). Com isso, o transporte desses minerais para a parte aérea pode ser abaixo do adequado, resultando em clorose e em redução do crescimento (Nathanson *et al.*, 1984). Uma das consequências do excesso hídrico no solo é a diminuição do teor de clorofila nas folhas (Ladygin, 2004). A avaliação do teor relativo de clorofila na folha pelo clorofilômetro mostrou-se ser uma ferramenta eficiente para avaliar o estresse provocado pelo excesso hídrico no solo (Giordano, 2014). Os resultados do presente experimento reforçam os obtidos por Thomas (2004) e Amarante *et al.* (2007), que relataram redução do teor relativo de clorofila das folhas de plantas submetidas ao excesso hídrico.

Conforme relatado anteriormente, nas avaliações de nodulação em R5, realizadas no primeiro e segundo ano deste experimento, respectivamente aos 43 e 41 dias após a drenagem do excesso hídrico, observa-se uma tendência de recuperação do número e da massa seca de nódulos por planta e da massa seca por nódulo no tratamento submetido ao estresse por excesso hídrico (T2) (Tabela 2). Corroborando com essas informações, visualmente, os sintomas da deficiência de N foram se reduzindo com o tempo (Figura 4). Nos dois anos, nas avaliações do teor relativo de clorofila nas folhas realizadas a partir da segunda quinzena de fevereiro (quando as plantas estavam entre os estádios R3 e R5), já não houve diferença significativa entre o tratamento somente drenado (T2) e a testemunha não submetida ao estresse por excesso hídrico (T1) (Tabela 4). O excesso hídrico no solo a partir do estágio V6, com posterior drenagem, possibilita a recuperação de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium* (Schöffel *et al.*, 2001; Scholles e Vargas, 2004).

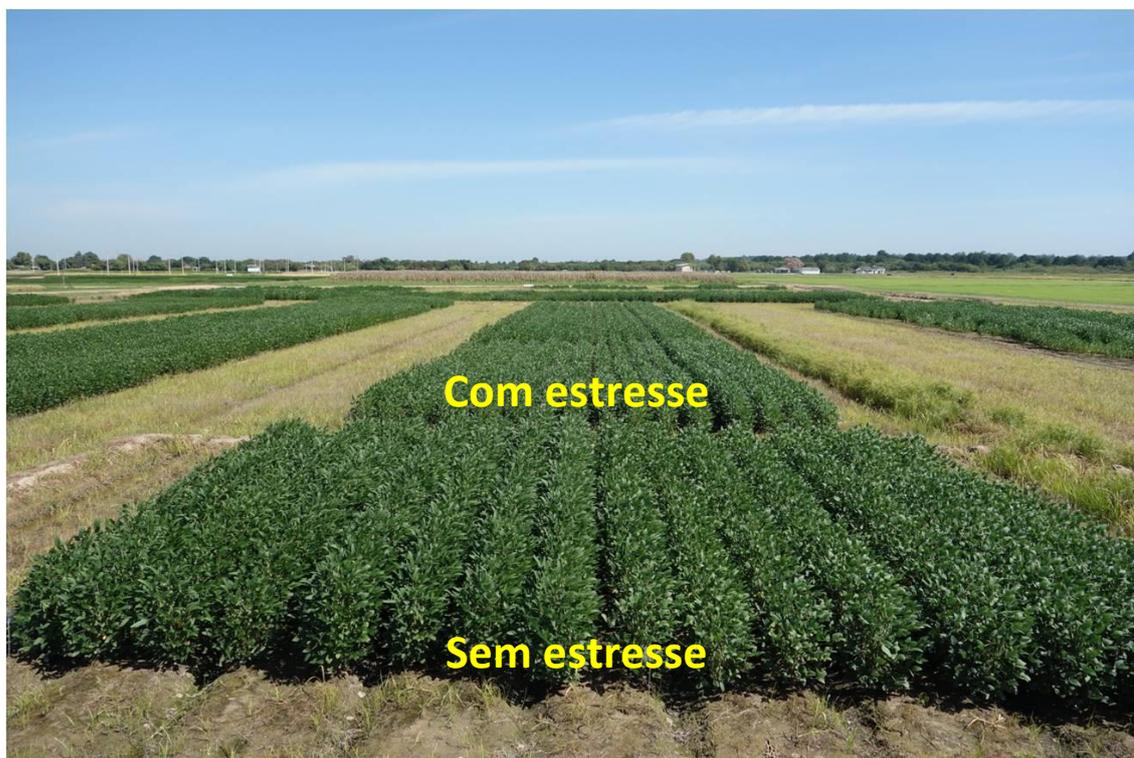


FIGURA 4. Plantas de soja no estágio R5, evidenciando a recuperação dos sintomas visuais nas parcelas submetidas ao estresse por excesso hídrico (ao fundo) em comparação com plantas não submetidas a este estresse (na frente), embora o desenvolvimento continue menor nas plantas submetidas ao estresse. Cachoeirinha-RS, 2017.

Ao se analisar os resultados referentes aos valores do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), observa-se, em todas as avaliações realizadas, com exceção das duas últimas no segundo ano, realizadas a partir do estágio da maturação (R7), menores valores no tratamento em que as plantas de soja foram submetidas ao excesso hídrico, em relação à testemunha (Tabela 5), corroborando com a diferença obtida na avaliação de produtividade de massa seca da parte aérea (Tabela 3).

TABELA 5. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na média de duas cultivares de soja submetidas a diferentes tratamentos¹ para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, em diferentes datas de avaliação², em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.

Estresse por excesso hídrico	2015/16									
	Dias em relação à aplicação dos tratamentos									
	-2 (V9)	0 (V10)	4 (V11)	7 (R1)	12 (R2)	20 (R3)	22 (R3)	28 (R4)	33 (R4-R5)	42 (R5)
SEM:										
Testemunha (T1)	0,69	0,68	0,56	0,63	0,77	0,83	0,81	0,81	0,82	0,76
COM:										
Somente drenagem (T2)	0,61	0,56	0,38	0,42	0,64	0,72	0,72	0,73	0,74	0,63
Sem N + Rein. ³ (T3)	0,61	0,56	0,39	0,45	0,64	0,74	0,74	0,72	0,73	0,61
20 kg N ha ⁻¹ (T4)	0,62	0,58	0,41	0,48	0,66	0,75	0,73	0,73	0,76	0,65
20 kg N ha ⁻¹ + Rein. (T5)	0,61	0,57	0,44	0,48	0,65	0,75	0,74	0,73	0,73	0,63
80 kg N ha ⁻¹ (T6)	0,61	0,57	0,37	0,47	0,66	0,76	0,73	0,74	0,77	0,63
160 kg N ha ⁻¹ (T7)	0,62	0,57	0,44	0,49	0,67	0,76	0,72	0,75	0,76	0,65
320 kg N ha ⁻¹ (T8)	0,63	0,58	0,42	0,49	0,66	0,75	0,71	0,74	0,72	0,60
CONTRASTES										
T1 x T2	0,003**	0,001**	0,000**	0,000**	0,000**	0,000**	0,002**	0,006**	0,005**	0,000**
T2 x T3	0,990	0,846	0,784	0,538	0,771	0,471	0,598	0,596	0,804	0,619
T2 x T4	0,832	0,534	0,444	0,235	0,513	0,326	0,697	0,909	0,459	0,383
T4 x T5	0,910	0,915	0,444	1,000	0,610	0,915	0,887	0,912	0,324	0,451
T2 x T4, T6, T7, T8	0,684	0,483	0,306	0,092	0,390	0,138	0,890	0,703	0,487	0,775
T4 x T6, T7, T8	0,858	0,911	0,941	0,797	0,966	0,742	0,647	0,759	0,754	0,292
T6 x T7, T8	0,702	0,700	0,112	0,597	0,923	0,827	0,648	0,911	0,333	0,705
T7 x T8	0,608	0,756	0,501	0,959	0,950	0,742	0,750	0,759	0,141	0,096
2016/17										
Estresse por excesso hídrico	Dias em relação à aplicação dos tratamentos									
	12 (R2)	19 (R3)	28 (R4)	33 (R5)	43 (R5.3)	50 (R5.4)	54 (R5.5)	68 (R6)	75 (R7)	
SEM:										
Testemunha (T1)	0,55	0,77	0,83	0,85	0,85	0,85	0,84	0,68	0,28	
COM:										
Somente drenagem (T2)	0,38	0,64	0,78	0,83	0,83	0,84	0,83	0,66	0,28	
Sem N + Rein. ³ (T3)	0,38	0,63	0,77	0,83	0,83	0,83	0,83	0,66	0,29	
20 kg N ha ⁻¹ (T4)	0,41	0,66	0,79	0,83	0,83	0,84	0,82	0,66	0,28	
20 kg N ha ⁻¹ + Rein. (T5)	0,38	0,64	0,78	0,83	0,83	0,84	0,83	0,66	0,30	
80 kg N ha ⁻¹ (T6)	0,40	0,67	0,79	0,84	0,83	0,84	0,83	0,70	0,32	
160 kg N ha ⁻¹ (T7)	0,38	0,66	0,78	0,84	0,83	0,84	0,83	0,69	0,35	
320 kg N ha ⁻¹ (T8)	0,38	0,62	0,76	0,84	0,83	0,84	0,83	0,69	0,33	
CONTRASTES										
T1 x T2	0,000**	0,000**	0,002**	0,000**	0,000**	0,000**	0,001**	0,427	1,000	
T2 x T3	0,819	0,806	0,326	0,692	1,000	0,542	0,891	0,942	0,659	
T2 x T4	0,250	0,292	0,486	0,270	0,074	0,727	0,681	0,839	0,901	
T4 x T5	0,182	0,271	0,314	0,118	0,525	0,834	0,275	0,839	0,475	
T2 x T4, T6, T7, T8	0,661	0,438	0,988	0,053	0,147	0,134	0,449	0,202	0,035*	
T4 x T6, T7, T8	0,189	0,468	0,249	0,458	0,284	0,169	0,103	0,051	0,012*	
T6 x T7, T8	0,361	0,136	0,145	0,438	0,040	0,546	0,692	0,847	0,273	
T7 x T8	1,000	0,102	0,214	0,812	0,586	0,486	0,412	0,873	0,529	

¹ Tratamentos aplicados aos três e cinco dias após a drenagem, respectivamente, para os anos agrícolas 2015/16 e 2016/17; ² Dias em relação à aplicação dos tratamentos; ³ Reinoculação por pulverização em cobertura; * Significativo a 5% de probabilidade; ** Significativo a 1% de probabilidade.

Os índices de vegetação são modelos matemáticos desenvolvidos para avaliar a cobertura vegetal e relacionam a assinatura espectral e os parâmetros mensuráveis no campo, tanto quantitativa quanto qualitativamente (Barbosa, 2006) e têm sido amplamente utilizados como indicadores da presença e das condições de vegetação (Almeida *et al.*, 2005). O sensor baseia-se nas bandas de absorção da radiação visível pelas plantas, deste modo, a correlação entre a reflectância na região do infravermelho próximo e a quantidade de biomassa presente no dossel, é determinante na estimativa da produção de biomassa de uma comunidade vegetal (Solari *et al.*, 2008; Shanahan *et al.*, 2008).

Estes índices de vegetação podem ser usados para avaliação de várias características da cobertura vegetal, como a análise de distribuição espacial de plantas, detecção de efeitos de estiagem, índice de área foliar, percentual de cobertura vegetal e relação com a biomassa e, conseqüentemente, com a produtividade dos cultivos (Sebem, 2005).

Com o propósito de confirmar estas informações, foi realizada a correlação entre os valores de NDVI e a produtividade de massa seca da parte aérea da soja no estágio R5. Os resultados indicam um coeficiente de correlação positivo de 0,67, no primeiro ano, e de 0,70, no segundo ano (Figura 5), sendo as duas correlações significativas e consideradas fortes de acordo com a classificação de Franzblau (1958). Vários estudos mostraram alta correlação do NDVI com parâmetros associados ao desenvolvimento e à produtividade de grãos das culturas (Simões, Rocha e Laparelli, 2003), como a cobertura verde do solo (Ormsby, Choudhury e Owe, 1987; Vian, 2015), a biomassa (Tucker, 1979), a condição das culturas (Wiegand, Everitt e Richardson, 1992) e o índice de área foliar (Wiegand *et al.*, 1991).

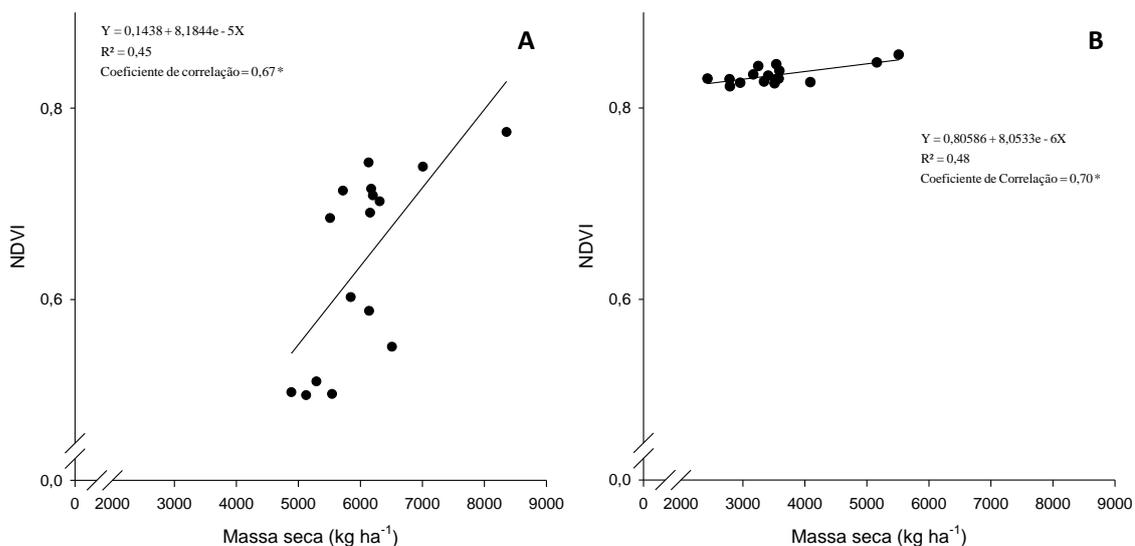


FIGURA 5. Relação entre produtividade de massa seca da parte aérea e leitura do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em soja no estágio R5. Média de duas cultivares (TEC IRGA 6070 RR e NA 5909 RG) submetidas a diferentes tratamentos para recuperação das plantas de soja após estresse por excesso hídrico no solo, nas safras 2015/16 (A) e 2016/17 (B). *Significativo a 5% de probabilidade.

4.1.3 Características agrônômicas, componentes da produtividade e produtividade de grãos

Nos dois anos, o estresse por excesso hídrico (T2) reduziu a estatura e a altura de inserção do primeiro legume em relação à testemunha sem excesso hídrico (T1) (Tabela 6). Corroborando com as reduções observadas em função do excesso hídrico na avaliação de produtividade de massa seca da parte aérea e com os dados das leituras de NDVI, a estatura de planta reduziu-se em aproximadamente 20%, nas duas safras com o excesso hídrico. Estes dados estão abaixo dos obtidos por Giordano (2014), onde as plantas submetidas a quatro dias de excesso hídrico reduziram aproximadamente 30% a estatura quando comparadas à testemunha. Em relação ao número de nós férteis por planta, no presente experimento não se observou diferença entre o tratamento

com estresse por excesso hídrico e a testemunha sem estresse, em nenhum dos dois anos.

Nos dois anos, o estresse por excesso hídrico reduziu a população final de plantas em 27%, em relação ao tratamento sem esse estresse (Tabela 6). Observa-se alguma compensação quanto à mortalidade de plantas, no ano 2016/17, em relação ao número de legumes por planta, número de grãos por legume e peso de 100 grãos, que foi maior no T2 em relação ao T1. Nesse sentido, Basso *et al.* (2016) consideram que o efeito da população de plantas no peso de 100 grãos é bastante variável, sendo que para Heiffig *et al.* (2006), Mauad *et al.* (2010) e Peixoto *et al.* (2000), a população de plantas não afeta o peso de 100 grãos. No entanto, Tourinho *et al.* (2002) encontraram alteração nesse componente com as variações na população de plantas.

TABELA 6. Características agrônômicas, componentes da produtividade e produtividade de grãos, na média de duas cultivares de soja submetidas a diferentes tratamentos¹ para a recuperação do estresse por excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.

Estresse por excesso hídrico	Estatura (cm)	Inserção 1º leg (cm)	Nº de nós/ planta	Nº nós férteis/ planta	Pop. final (plantas m ⁻²)	Legumes/ planta	Grãos/ legume	Peso 100 grãos (g)	Produtiv. (kg ha ⁻¹)
SEM:									
Testemunha (T1)	76,6	16,2	- ²	17,3	21,1	92,9	2,2	15,7	4.158
COM:									
Somente drenagem (T2)	61,7	14,1	-	16,6	15,4	79,2	2,1	15,9	3.071
Sem N + Rein. ³ (T3)	65,4	15,3	-	16,6	17,9	83,8	2,1	16,0	3.064
20 kg N ha ⁻¹ (T4)	66,4	15,0	-	16,4	17,0	80,1	2,0	15,8	3.336
20 kg N ha ⁻¹ + Rein. (T5)	68,0	16,4	-	15,8	19,5	77,0	2,2	16,3	3.234
80 kg N ha ⁻¹ (T6)	66,7	14,9	-	17,3	17,5	83,6	2,0	15,6	3.076
160 kg N ha ⁻¹ (T7)	66,7	14,8	-	17,0	17,1	79,7	2,1	15,4	2.991
320 kg N ha ⁻¹ (T8)	63,6	14,9	-	17,0	18,8	77,4	2,2	15,9	3.049
CONTRASTES									
T1 x T2	0,000**	0,028*	-	0,239	0,002**	0,031*	0,672	0,767	0,000**
T2 x T3	0,203	0,173	-	0,884	0,151	0,463	0,859	0,703	0,978
T2 x T4	0,105	0,294	-	0,819	0,350	0,882	0,193	0,871	0,309
T4 x T5	0,567	0,146	-	0,330	0,156	0,618	0,078	0,324	0,694
T2 x T4, T6, T7, T8	0,071	0,255	-	0,423	0,106	0,842	0,423	0,654	0,838
T4 x T6, T7, T8	0,754	0,806	-	0,163	0,561	0,988	0,270	0,753	0,165
T6 x T7, T8	0,522	0,908	-	0,600	0,763	0,352	0,272	0,900	0,802
T7 x T8	0,277	0,883	-	0,935	0,313	0,715	0,463	0,321	0,823
Estresse por excesso hídrico									
2016/17									
SEM:									
Testemunha (T1)	70,4	11,2	20,3	16,9	28,9	79,4	2,2	16,9	3.679
COM:									
Somente drenagem (T2)	55,1	8,3	19,2	16,4	21,1	74,4	2,5	15,7	2.527
Sem N + Rein. ³ (T3)	55,4	8,4	19,0	16,4	19,5	79,4	2,5	15,5	2.600
20 kg N ha ⁻¹ (T4)	55,4	7,8	18,9	16,9	22,6	74,2	2,3	15,7	2.476
20 kg N ha ⁻¹ + Rein. (T5)	55,9	9,0	19,5	16,9	20,6	77,9	2,5	16,1	2.565
80 kg N ha ⁻¹ (T6)	59,4	9,8	19,6	17,3	19,9	80,9	2,5	15,7	2.676
160 kg N ha ⁻¹ (T7)	59,4	9,1	19,2	16,9	18,7	81,4	2,4	15,6	2.493
320 kg N ha ⁻¹ (T8)	56,0	8,4	19,7	17,3	17,8	84,1	2,3	15,2	2.668
CONTRASTES									
T1 x T2	0,000**	0,002**	0,031*	0,386	0,022*	0,460	0,041*	0,001**	0,000**
T2 x T3	0,854	0,966	0,735	0,989	0,613	0,455	0,859	0,513	0,632
T2 x T4	0,878	0,557	0,613	0,393	0,664	0,973	0,235	0,840	0,740
T4 x T5	0,751	0,200	0,241	0,973	0,541	0,582	0,181	0,128	0,561
T2 x T4, T6, T7, T8	0,086	0,523	0,690	0,116	0,589	0,279	0,406	0,490	0,670
T4 x T6, T7, T8	0,050*	0,079	0,184	0,513	0,163	0,148	0,383	0,573	0,277
T6 x T7, T8	0,258	0,158	0,713	0,616	0,548	0,746	0,236	0,299	0,468
T7 x T8	0,061	0,487	0,351	0,466	0,767	0,681	0,276	0,184	0,256

¹ Tratamentos aplicados aos três e cinco dias após a drenagem, respectivamente, para os anos agrícolas 2015/16 e 2016/17; ² Avaliação não realizada; ³ Reinoculação por pulverização em cobertura; Significativo a 5% de probabilidade; ** Significativo a 1% de probabilidade.

Deve-se considerar que nos dois anos, o estresse por excesso hídrico foi aplicado no final do período vegetativo, entre os estádios V8 e V9. O estágio de desenvolvimento da planta no momento da imposição do estresse pode afetar a recuperação das plantas (Van't Woudt e Hagan, 1974; Kramer, 1975; Momen *et al.*, 1979; Schöffel *et al.*, 2001), pois, se existe mortalidade de plantas e, conseqüentemente, redução da população de plantas, as plantas que sobreviverem deverão emitir mais ramos e produzir maior número de legumes para compensar a redução de estande que ocorre com o excesso hídrico. Nesse sentido, no presente trabalho, o estresse por excesso hídrico aplicado no final do período vegetativo reduziu o tempo para a recuperação das plantas de soja.

O número de legumes é o mais importante dos componentes da produção por planta, por ser diretamente influenciado pela população e espaçamento entrelinhas na área de produção (Heiffig, 2002). Entretanto, se o excesso hídrico ocorre próximo ao florescimento, como no presente experimento, as plantas terão baixa capacidade de compensar, pois mesmo as cultivares de tipo de crescimento indeterminado, que têm a capacidade de emitir nós após o início do florescimento, como as testadas neste experimento, emitirão poucos nós após este estágio. O normal é a emissão de 6 a 8 nós no caule principal, considerando que sejam cultivares de tipo de crescimento indeterminado, grupo de maturidade relativa entre 4,5 e 6,5 e com semeadura realizada entre 20 de outubro e 11 de dezembro (Zanon *et al.*, 2016; Zanon *et al.*, 2018). No entanto, no presente experimento, devido ao florescimento ter iniciado logo após o período de excesso hídrico em algumas plantas, a capacidade de compensação após a drenagem foi reduzida, pois, além do

menor tempo para a emissão de novos nós, as plantas estavam com menor quantidade de massa seca e menor aparato fotossintético para a fixação de carbono e produção de energia necessária para suportar o crescimento de ramos e emissão de novos nós.

Nesse sentido, os efeitos do excesso hídrico variam conforme o estágio de ocorrência do estresse. De acordo com Scott *et al.* (1989), a saturação hídrica no solo no estágio V4 da soja reduz a produtividade em 18%. No entanto, se ela ocorrer no estágio R2, a redução pode ser de 26%. O excesso hídrico no estágio V6 da cultura da soja evidencia sintomas de danos que são recuperados com o decorrer do tempo. Em consequência, a produtividade é menos afetada do que quando este estresse ocorre após a floração, sugerindo que, na metade do subperíodo vegetativo, a soja apresenta maior tolerância à saturação hídrica do solo (Stanley, Kaspar e Taylor, 1980; Griffin e Saxton, 1988).

Conforme as Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina (Reunião..., 2016), as duas cultivares utilizadas no experimento são precoces/semiprecoces. Assim, por terem ciclo mais curto, podem apresentar menor capacidade de recuperação dos efeitos do estresse por excesso hídrico, pois as plantas não terão tempo suficiente para emitir novos ramos e/ou nós e formar maior número de legumes por planta como forma de buscar essa recuperação parcial do potencial produtivo. Isto ocorre porque as cultivares de grupos de maturidade relativa mais baixos possuem menor ciclo total de desenvolvimento, principalmente pela menor duração do subperíodo da emergência ao estágio R1 – início do florescimento (Zanon *et al.*, 2015). No entanto, se o estresse por excesso hídrico ocorrer no início do

crescimento vegetativo (V3-V4), é de se esperar que as plantas tenham um tempo maior para expressar a sua capacidade de recuperação através da emissão de novos ramos e nós e da formação de maior número de legumes por planta, compensando, de maneira mais efetiva, a redução na população que ocorre em função da mortalidade de plantas decorrente do excesso hídrico no solo.

Embora o potencial produtivo da soja seja determinado geneticamente, ele depende de fatores limitantes ao desenvolvimento das plantas que atuam durante o ciclo da cultura. O efeito destes fatores pode ser minimizado através da adoção de práticas de manejo visando favorecer a comunidade de plantas, de forma que elas tenham o melhor aproveitamento possível dos recursos ambientais (Heiffig *et al.*, 2006). Por isso, a adequada densidade de plantas é um fator determinante para um perfeito arranjo espacial das plantas de soja, o que irá influenciar o crescimento, a inserção de legumes e o número de ramificações e de legumes (Gaudêncio *et al.*, 1990).

Dos componentes da produtividade de grãos, o número de legumes por planta é um dos que mais contribui para maior tolerância a variações na população de plantas, fazendo com que a soja expresse certa capacidade compensatória até determinado ponto provocado pela alteração da distribuição de plantas (Peixoto *et al.*, 2000; Tourino *et al.*, 2002; Vazquez, 2008; Pinto, 2010; Basso *et al.*, 2016).

Em relação à produtividade de grãos de soja, o estresse por excesso hídrico ocasionou redução de 26%, de 4.158 kg ha⁻¹ para 3.071 kg ha⁻¹ e 31%, de 3.679 kg ha⁻¹ para 2.527 kg ha⁻¹, respectivamente, no primeiro e segundo anos (Tabela 6). Dados similares aos obtidos no presente experimento foram

obtidos por Giordano (2014), que encontrou redução na produtividade de grãos de 35 e 50%, respectivamente, para os tratamentos com quatro e seis dias de excesso hídrico no solo em comparação com a testemunha sem estresse.

Os dados obtidos no presente experimento em relação à produtividade de grãos reforçam as observações realizadas anteriormente em relação a maior magnitude do estresse no ano agrícola 2016/17. Essa diferença em relação à magnitude do estresse pode ser atribuída ao fato de que, no segundo ano, embora a drenagem da lâmina de água tenha sido realizada no dia 14/01/2017, após quatro dias de estresse, ocorreu uma série de precipitações nos dias 14/01/2017, 16/01/2017 e 17/01/2017, respectivamente de 11, 25 e 17 mm (Apêndice 7), que dificultou a drenagem e prolongou o efeito do estresse. Com efeito, no segundo ano, os tratamentos para a recuperação do estresse foram aplicados aos cinco dias após a drenagem, quando a umidade do solo permitiu a entrada na lavoura, diferentemente do observado no primeiro ano (aos três dias).

Uma das possíveis causas para essas diferenças de produtividade pode ser atribuída à mortalidade de plantas ocasionada pelo excesso hídrico (Tabela 6). Porém, a soja é uma cultura que apresenta grande plasticidade fenotípica, que é a capacidade de se adaptar às condições ambientais e de manejo, através de modificações na morfologia e nos componentes da produtividade de grãos (Pires *et al.*, 2000). No entanto, quando há grandes falhas na linha de semeadura, superiores ao espaçamento da entrelinha, pode haver comprometimento da produtividade de grãos, pelo fato de haver restrição do seu poder compensatório sob estas condições (Basso *et al.*, 2016).

No presente experimento, a redução na população de plantas ocasionada pelo excesso hídrico (Tabela 6) deixou esta abaixo da indicada para cultura da soja, que se situa entre 24 a 36 plantas m^{-2} (Reunião..., 2016), mas ainda numa faixa possível de haver efeito compensatório. No entanto, em função do estágio mais tardio da aplicação do estresse, entre os estádios V8 e V9, e finalizado quatro dias após, próximo ao estágio R1 (início do florescimento), se hipotetiza que o efeito compensatório da cultura seja comprometido. Desta forma, de maneira geral, os dados do presente experimento sugerem que a mortalidade de plantas nos tratamentos alagados, aliada ao estágio mais tardio de imposição do estresse, sejam as principais causas para a diferença observada na produtividade de grãos entre a testemunha não submetida ao estresse por excesso hídrico (T1) e o tratamento onde foi realizada somente drenagem, sem aplicação de N em cobertura e sem reinoculação (T2).

Estes resultados confirmam a hipótese de que o excesso hídrico, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, prejudica a nodulação, o desenvolvimento da planta e a produtividade de grãos de soja.

Constatado esse efeito do estresse por excesso hídrico sobre a soja, será discutida a seguir a eficiência da prática de reinoculação de *Bradyrhizobium*, comparando-se o tratamento somente drenado (T2) ao tratamento sem aplicação de N em cobertura e com reinoculação (T3), assim como comparando-se o tratamento com aplicação de 20 kg N ha^{-1} (T4) ao tratamento com aplicação de 20 kg N ha^{-1} associado com a reinoculação (T5).

4.2 Eficiência da reinoculação com *Bradyrhizobium*, de forma isolada ou associada à aplicação de 20 kg N ha⁻¹ em cobertura

Estes contrastes foram realizados para se analisar a hipótese de que a reaplicação de inoculante via pulverização em cobertura, seja de forma isolada ou combinado com a aplicação em cobertura de 20 kg N ha⁻¹, é uma estratégia eficiente para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo.

Nos dois anos de condução do experimento, para nenhum dos parâmetros avaliados (nodulação, características associadas ao desenvolvimento da planta, características agronômicas, componentes da produtividade e produtividade de grãos) houve diferenças entre o tratamento em que foi realizada somente drenagem, sem aplicação de N em cobertura e sem reinoculação (T2) e o tratamento em que foi realizada somente a reinoculação por pulverização em cobertura (T3) (Tabelas 2 a 6). Da mesma forma, na comparação entre o tratamento com aplicação de 20 kg N ha⁻¹ em cobertura (T4) e o tratamento em que se aplicou 20 kg N ha⁻¹ associado à reinoculação por pulverização em cobertura (T5), também não houve diferença estatisticamente significativa para nenhum dos parâmetros avaliados.

Resultado diferente do obtido neste experimento foi encontrado por Munhoz (2016), que observou maior número e maior massa seca de nódulos por planta no tratamento com inoculação em pulverização em pós-emergência comparado à inoculação padrão nas sementes. Em outro estudo, com resultado contrastante a este experimento, Souza (2016) relatou efeito positivo da inoculação suplementar, desde que se tenha alta umidade no solo e

precipitação pluvial ou irrigação suplementar que favoreça o contato da bactéria com o sistema radicular da soja.

A falta de resposta positiva à reinoculação obtida no presente trabalho pode ser atribuída a duas causas: primeira, ao sucesso da inoculação padrão nas sementes na ocasião da semeadura, que foi realizada de acordo com as recomendações. Segundo Hungria, Campo e Mendes (2001), na época do florescimento, uma planta de soja bem nodulada possui entre 15 e 30 nódulos ou entre 100 a 200 mg de nódulos secos por planta. Os dados da primeira avaliação de nódulos do presente experimento, realizada quando algumas plantas já estavam no início do florescimento mostram, na testemunha sem excesso hídrico, número e massa seca de nódulos por planta superiores a estes valores (Tabela 2), comprovando que a inoculação das sementes foi realizada corretamente e as bactérias se estabeleceram no solo para associarem-se às raízes das plantas de soja. A segunda causa é atribuída à capacidade de sobrevivência das bactérias em solo alagado, que foram capazes de formar novos nódulos a partir da realização da drenagem, como se pode observar na segunda avaliação de nódulos no tratamento com excesso hídrico (T2) (Tabela 2). A remoção do excesso de umidade promove a recuperação da nodulação e do processo de fixação biológica de nitrogênio em soja inoculada com as estirpes recomendadas de *Bradyrhizobium* (Scholles e Vargas, 2004).

Em situações diferentes da ocorrida no presente trabalho, nas quais a inoculação nas sementes, por qualquer motivo, apresentar falha, a inoculação por pulverização em cobertura pode ser considerada uma prática viável, desde que ocorram condições para percolação das bactérias no solo (Zilli *et al.*,

2008). No caso do presente trabalho, mesmo que a prática da reinoculação por pulverização em cobertura tenha proporcionado condições para a percolação das bactérias no solo, a quantidade de *Bradyrhizobium* estabelecida no solo com a inoculação via sementes foi suficiente para não haver diferença entre reinocular por pulverização em cobertura ou não.

Estes resultados rejeitam a hipótese de que a reaplicação de inoculante por pulverização em cobertura, seja de forma isolada ou combinado com a aplicação em cobertura de 20 kg N ha⁻¹, é uma estratégia eficiente para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9.

A seguir, será avaliada a eficiência da prática de aplicação em cobertura de fertilizante mineral nitrogenado após período de excesso hídrico no solo, comparando-se o tratamento somente drenado (T2) aos tratamentos onde foram aplicadas as doses 20, 80, 160 e 320 kg N ha⁻¹ (T4, T6, T7 e T8) e através de comparações entre as referidas doses.

4.3 Eficiência da aplicação em cobertura de fertilizante mineral nitrogenado

Estes contrastes foram realizados para se analisar a hipótese de que a aplicação em cobertura de fertilizante mineral nitrogenado é uma estratégia eficiente para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9.

Ao se analisar a comparação do tratamento somente drenado (T2), com o tratamento onde foram aplicados 20 kg N ha⁻¹ em cobertura (T4), pode-se observar que, nos dois anos de realização do estudo, nenhum dos parâmetros

avaliados (nodulação, características associadas ao desenvolvimento da planta, características agronômicas, componentes da produtividade e produtividade de grãos) apresentou diferença significativa (Tabelas 2 a 6). Estes resultados corroboram com os encontrados por Campos, Hungria e Tedesco (2001) e por Uhry (2007), em que doses de 20 e 30 kg N ha⁻¹, respectivamente, aplicadas a lanço na semeadura, não influenciaram a produtividade da cultura da soja. Em outro experimento, Hungria *et al.* (2006b) concluíram que a aplicação de 30 kg N ha⁻¹ a lanço na semeadura causou redução no número e na massa seca de nódulos por planta, sem, entretanto, resultar em aumento da produtividade de grãos.

A utilização de fertilizante nitrogenado na semeadura para estimular o crescimento inicial da planta durante o estabelecimento e em outras fases de desenvolvimento da soja não é necessária, devido à eficiência da FBN. Além de aumentar o custo de produção, a aplicação de N ao solo pode inibir a FBN, não havendo evidências de que aumenta a produtividade de grãos. No entanto, quando as formulações de adubo que contém N forem mais econômicas que as que não possuem, estas poderão ser utilizadas, desde que a dose de N aplicada não ultrapasse 20 kg N ha⁻¹ (Reunião..., 2016).

Além dessa dose de 20 kg de N ha⁻¹, foi testada a eficiência da aplicação de maiores doses de N em cobertura (80, 160 e 320 kg ha⁻¹), correspondendo, respectivamente aos tratamentos T6, T7 e T8, como estratégia para recuperar o estresse por excesso hídrico em soja. Nestas comparações, algumas características apresentaram diferenças e serão discutidas na sequência deste trabalho.

4.3.1 Nodulação

No primeiro ano, não foram realizadas avaliações relativas à nodulação no estágio R5 nos tratamentos com aplicação de 80 (T6) e 160 (T7) kg N ha⁻¹ (Tabela 2). Assim, foi comparado o tratamento somente drenado (T2) com o tratamento com aplicação de 320 kg N ha⁻¹ (T8). A aplicação de 320 kg N ha⁻¹ diminuiu o número e a massa seca de nódulos por planta e a massa seca por nódulo em, respectivamente, 87, 92 e 42% em relação ao tratamento somente drenado, sem aplicação de N em cobertura (T2).

Esses dados confirmam que a aplicação de altas doses de N em cobertura inibe a nodulação em soja e estão de acordo com os encontrados por Mendes *et al.* (2008), que observaram que a aplicação de 200 kg ha⁻¹ de N, em soja com inoculação nas sementes, reduziu a nodulação em todas as seis safras avaliadas, em comparação com o tratamento somente inoculado, tanto no cultivo convencional quanto no plantio direto.

No segundo ano, as avaliações de nodulação no estágio R5 foram realizadas em todos os tratamentos. Analisando-se o contraste do tratamento somente drenado (T2) com os tratamentos que receberam as doses de 20, 80, 160 e 320 kg ha⁻¹ (T4, T6, T7 e T8), observa-se que há diferença significativa para número e massa seca de nódulos por planta e massa seca por nódulo (Tabela 2). Como a análise comparando o T2 com o T4 não apresentou diferença significativa, este resultado indica que altas doses de N, a partir de 80 kg N ha⁻¹ (T6), inibem a nodulação na cultura da soja e que esta inibição no número de nódulos foi maior quanto maior foi a dose de N utilizada. A massa seca de nódulos por planta reduziu-se até à aplicação de 160 kg N ha⁻¹,

enquanto a massa seca por nódulo reduziu-se até à aplicação de 80 kg N ha⁻¹, não diferindo das maiores doses testadas.

Essa redução da massa seca de nódulos por planta em função da aplicação de altas doses de N na soja após estresse por excesso hídrico diverge do resultado relatado por Denardin *et al.* (2016), que observaram, em solo semelhante ao do presente experimento, similar massa seca de nódulos por planta nos tratamentos que, após estresse por excesso hídrico, receberam a aplicação de 120 kg N ha⁻¹ em comparação com a testemunha, sem aplicação de N em cobertura. Este resultado é atribuído pelos autores ao fato da nodulação não ter sido afetada pelas doses de N aplicadas após o estresse por excesso hídrico na fase vegetativa.

No entanto, os resultados obtidos no presente experimento estão de acordo com os obtidos por Harper (1974), Harper e Gibson (1984), Lamb *et al.* (1990), Nogueira, Sena Júnior e Ragagnin (2010). Estes autores relatam que aplicações de altas doses de N (entre 50 e 200 kg ha⁻¹) inibem a formação de nódulos e suprimem a FBN ao longo do ciclo da cultura, resultando em produtividade de grãos menor ou similar à da soja não fertilizada. Este efeito adverso na fixação biológica em leguminosas com a aplicação em cobertura de adubos nitrogenados ocorre devido à diminuição na disponibilidade de oxigênio na respiração nodular. Assim, a enzima nitrogenase é inibida, devido ao decréscimo da permeabilidade da membrana do nódulo ao oxigênio, pela redução da afinidade da leghemoglobina pelo oxigênio (Deninson e Harter, 1995) e pela limitação de carboidratos ao metabolismo do nódulo (Stefens e Neyra, 1983). O nitrato e o nitrito acumulados a nível nodular inibem a fixação

de nitrogênio, devido à menor disponibilidade de energia ao *Bradyrhizobium* (Stefens e Neyra, 1983).

4.3.2 Características associadas ao desenvolvimento da planta

Para as avaliações de produtividade de massa seca da parte aérea e quantidade acumulada de nutrientes na planta, não houve diferença, nas duas safras, entre o tratamento somente drenado (T2) e os tratamentos que receberam as doses de 20, 80, 160 e 320 kg ha⁻¹ (T4, T6, T7 e T8) em cobertura (Tabela 3). No entanto, analisando-se os dados do segundo ano, pode-se observar que, embora estatisticamente a diferença não tenha sido significativa, houve um pequeno aumento (aproximadamente 10%) da massa seca da parte aérea quando se utilizou doses iguais ou superiores aos 80 kg N ha⁻¹, sugerindo que as plantas até usaram parte do N aplicado para algum crescimento vegetativo. Esta observação corrobora com a diferença de estatura observada no segundo ano em doses iguais ou superiores a 80 kg N ha⁻¹ (Tabela 6), no entanto, não houve tempo para as plantas compensarem os danos relacionados ao estresse ocasionado pelo excesso hídrico, já que também não se observa diferenças na produtividade de grãos (Tabela 6).

O efeito da aplicação de N em cobertura sobre a produtividade de massa seca nas plantas de soja parece ser bastante variável. De acordo com Koutroubas *et al.* (1998), os tratamentos somente inoculados produziram maior massa seca nos estádios R5 e R8 comparados aos que receberam a inoculação mais a aplicação em cobertura de 120 e 240 kg ha⁻¹ de N. Em outro estudo realizado por Thies *et al.* (1995), a adição de altas doses de N (700 a 1200 kg ha⁻¹) aumentou a produtividade de massa seca da soja, sendo 5 a

14% maior em relação ao tratamento em que a soja foi somente inoculada. No entanto, há que se considerar que estas altas doses de N inviabilizariam o cultivo em função dos custos de produção e impacto ambiental.

No primeiro ano, o teor relativo de clorofila nas folhas mostrou diferença significativa, sendo o tratamento somente drenado (T2) inferior aos tratamentos que receberam as doses de 20, 80, 160 e 320 kg ha⁻¹ (T4, T6, T7 e T8), em todas as avaliações realizadas a partir de 14/01/2016 (data da aplicação dos tratamentos) (Tabela 4). Como este contraste apresentou diferença e a comparação do T2 com o T4 não apresentou diferença significativa, pode-se inferir que as plantas conseguiram absorver parte do nitrogênio aplicado e que altas doses de N, a partir de 80 kg N ha⁻¹ (T6), aumentaram o teor relativo de clorofila nas folhas da soja, em comparação ao T2. No segundo ano, houve diferença significativa para teor relativo de clorofila nas folhas na comparação do T2 com os tratamentos que receberam N mineral apenas na segunda avaliação, realizada aos 23 dias após a aplicação dos tratamentos (Tabela 4). Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Nogueira, Sena Júnior e Ragagnin (2010), que relataram aumento dos níveis de clorofila nas plantas de soja em função da adubação nitrogenada.

Os resultados obtidos na avaliação do teor relativo de clorofila mostram que houve, ao menos parcialmente, absorção no N mineral aplicado em cobertura (Tabela 4). No entanto, a análise dos demais parâmetros avaliados indica que, da mesma forma já discutida na comparação da testemunha não alagada (T1) com o tratamento somente alagado (T2), não houve tempo para a recuperação dos componentes da produtividade de soja. Nesse sentido, as avaliações do índice de reflectância por diferença normalizada (NDVI)

realizadas durante todo o ciclo da cultura também não apresentaram diferença entre o tratamento somente alagado (T2) e os tratamentos que receberam N mineral em cobertura, nas duas safras avaliadas (Tabela 5). A exceção ocorreu nas duas últimas avaliações no segundo ano, em que se observa maiores valores nos tratamentos que receberam doses de N iguais ou acima dos 80 kg ha⁻¹ (T6). Esta informação sugere que pode haver aumento da retenção foliar com a aplicação de altas doses de N na cultura da soja, o que foi verificado visualmente a campo, durante a condução do experimento.

4.3.3 Características agronômicas, componentes da produtividade e produtividade de grãos

Nos dois anos, as características agronômicas avaliadas, os componentes da produtividade e a produtividade de grãos de soja foram similares no tratamento somente drenado (T2) comparado aos com aplicação das doses de 20, 80, 160 e 320 kg ha⁻¹ (T4, T6, T7 e T8) em cobertura (Tabela 6). Estes dados reforçam a similaridade observada entre estes mesmos tratamentos na avaliação da produtividade de massa seca (Tabela 3), a qual, de acordo com Brandelero, Peixoto e Ralisch (2009), apresenta correlação significativa com a produtividade de grãos. No entanto, apesar de haver correlação entre produtividade de massa seca da parte aérea e produtividade de grãos, nem sempre as plantas com maior massa seca serão as mais produtivas, pois o índice de colheita leva em consideração a massa de grãos em relação à massa seca da planta (Perini *et al.*, 2012).

Os resultados do presente experimento divergem dos encontrados por Denardin *et al.* (2016), onde a adubação nitrogenada após estresse

proporcionou ganhos em produtividade. No entanto, no trabalho desenvolvido por estes autores, o N foi aplicado após excesso hídrico imposto por um período de três dias no início da fase vegetativa (estádios V3-V4), o que sugere menor magnitude do estresse e maior tempo para a recuperação dos danos.

Os resultados do presente trabalho rejeitam a hipótese de que a aplicação em cobertura de fertilizante mineral nitrogenado é estratégia eficiente para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9. No entanto, temos que considerar que os resultados obtidos são de tratamentos aplicados após o excesso hídrico no final do período vegetativo e que estes podem ser diferentes, de acordo com a fase de desenvolvimento que ocorrer o estresse.

A seguir, será avaliada a resposta das duas cultivares de soja utilizadas, TEC IRGA 6070 RR e NA 5909 RG, aos diferentes manejos visando a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo.

4.4 Resposta diferencial de cultivares de soja ao estresse por excesso hídrico e às estratégias de manejo para recuperar esses efeitos

Uma das hipóteses testadas é de que há diferenças entre as cultivares de soja TEC IRGA 6070 RR e NA 5909 RG na resposta ao excesso hídrico e aos manejos utilizados para recuperar os efeitos desse estresse, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9.

Para nenhuma das características avaliadas, houve interação de cultivares e estratégias de manejo para recuperar os efeitos do estresse por excesso hídrico (Apêndices 1 a 5), evidenciando que essas duas cultivares

responderam de forma similar. Desta forma, avaliou-se o desempenho das duas cultivares na média dos demais tratamentos, ou seja, o efeito principal de cultivar.

4.4.1 Nodulação

Na primeira avaliação de nodulação, realizada aos quatro e seis dias após o término do período do excesso hídrico, respectivamente no primeiro e segundo anos, em relação ao número de nódulos por planta, no primeiro ano, não houve diferença significativa entre as cultivares TEC IRGA 6070 RR e NA 5909 RG, enquanto que, no segundo ano, o número de nódulos por planta foi 41% maior na cultivar TEC IRGA 6070 RR (Tabela 7). Já, a massa seca de nódulos por planta foi 58 e 27% maior na TEC IRGA 6070 RR, respectivamente no primeiro e segundo anos. Não houve diferença entre as cultivares em relação à massa seca por nódulo.

Na segunda avaliação (estádio R5), nos dois anos, as cultivares não diferiram quanto ao número de nódulos por planta e massa seca por nódulo. Porém, a massa seca de nódulos por planta foi maior na TEC IRGA 6070 RR, respectivamente, 28 e 21% no primeiro e segundo anos (Tabela 7). Diferenças entre cultivares de soja quanto ao número e à massa seca de nódulos por planta também foram reportadas, em diferentes tipos de solos bem drenados (Bohrer e Hungria, 1998; Brandelero, Peixoto e Ralisch, 2009; Libório *et al.*, 2015; Pereira *et al.*, 2016).

TABELA 7. Número e massa de nódulos por planta e massa de um nódulo de soja nas cultivares TEC IRGA 6070 RR e NA 5909 RG, na média dos tratamentos com e sem excesso hídrico no solo, aos quatro (2016/17) e aos seis dias (2016/17) após a drenagem da lâmina de água utilizada para a imposição do estresse, e no estágio R5, na média dos tratamentos realizados para recuperação do estresse, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.

Cultivares	2015/16			2016/17		
	Número/planta	Massa/planta (mg)	Massa/nódulo (mg)	Número/planta	Massa/planta (mg)	Massa/nódulo (mg)
	Primeira avaliação					
	04 dias após a drenagem			06 dias após a drenagem		
TEC IRGA 6070 RR	70 ^{NS}	300 a*	3,45 ^{NS}	101 a*	280 a*	1,85 ^{NS}
NA 5909 RG	44	190 b	3,89	71 b	220 b	2,27
CV (%)	30,5	28,0	14,1	26,6	19,4	21,5
Cultivares	Segunda avaliação (R5)					
TEC IRGA 6070 RR	181 ^{NS}	830 a*	4,06 ^{NS}	181 ^{NS}	510 a*	2,55 ^{NS}
NA 5909 RG	148	650 b	3,95	168	420 b	2,27

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student, a 5% de probabilidade; ^{NS} = Não Significativo.

Esta variação no número e na massa seca de nódulos por planta entre as cultivares atribui-se ao fato da relação simbiótica ser específica, havendo uma troca de sinais moleculares entre plantas e bactérias que regulam a expressão de genes para a infecção e o desenvolvimento de nódulos (Müller, 1981; Hungria, Vargas e Araújo, 1997; Lincoln e Zeiger, 2004). Desta forma, encontram-se diferenças marcantes entre cultivares quanto ao potencial de nodulação e fixação de N (Bohrer e Hungria, 1998).

Em soja, a nodulação (número e massa seca de nódulos por planta) apresenta correlação significativa com a produtividade de grãos, uma vez que está diretamente ligada à fixação simbiótica de N para a produção de grãos. Isso se deve à grande demanda nutricional, especialmente de N, para produção de proteína, que representa aproximadamente 46% do peso do grão (Brandelero, Peixoto e Ralisch, 2009).

Em relação à nodulação em soja, é importante salientar que, na avaliação realizada no estágio R5, os tratamentos que não receberam aplicação de N em cobertura, os que receberam até 20 kg N ha⁻¹ e, principalmente, a testemunha não alagada, apresentaram número e massa seca de nódulos por planta de soja superiores aos encontrados em estudos realizados em solos bem drenados, por Bohrer e Hungria (1998); Brandelero, Peixoto e Ralisch (2009); Libório *et al.* (2015) e Pereira *et al.* (2016). Entretanto, estes valores estão próximos aos encontrados por Denardin *et al.* (2016), o qual foi conduzido no mesmo tipo de solo deste experimento. Nesse contexto, uma das possíveis explicações para o maior número e massa seca de nódulos encontrados no presente experimento é que pode haver uma resposta compensatória a uma menor eficiência dos nódulos, consequência de algumas características dos solos hídromórficos, tais como densidade elevada, baixa porosidade total, alta relação micro/macroporos, presença de camada subsuperficial com baixa permeabilidade que dificultam a infiltração da água (EMBRAPA, 2005), Com a maior dificuldade de drenagem, a FBN pode ser limitada pelo deficiente suprimento de O₂. Desta forma, mesmo plantas noduladas, quando ocorre condições de deficiência de O₂, apresentam taxas muito baixas de fixação de N₂ (Pugh *et al.*, 1995; Amarante e Sodek, 2006).

4.4.2 Características associadas ao desenvolvimento da planta

Para produtividade de massa seca da parte aérea e quantidades acumuladas de N, P e K na parte aérea da planta de soja não houve diferença significativa entre as cultivares, nos dois anos (Tabela 8). Já para quantidade acumulada de Ca, só houve diferença significativa entre cultivares no segundo

ano, sendo o teor 26% maior na cv. TEC IRGA 6070 RR em relação à cv. NA 5909 RG. Já a quantidade acumulada de Mg na parte aérea foi maior na TEC IRGA 6070 RR, 8 e 17%, respectivamente no primeiro e segundo anos (Tabela 8).

TABELA 8. Produtividade de massa seca (MS) da parte aérea da soja e quantidade acumulada de nutrientes no estágio R5 de duas cultivares de soja, na média de diferentes tratamentos para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.

Cultivares	MS	N	P	K	Ca	Mg
	kg ha ⁻¹					
	2015/16					
TECIRGA 6070 RR	6352,8 ^{NS}	137,1 ^{NS}	10,6 ^{NS}	64,4 ^{NS}	33,3 ^{NS}	19,9 a*
NA 5909 RG	5933,0	127,5	10,3	65,8	32,6	18,4 b
	2016/17					
TECIRGA 6070 RR	3641,54 ^{NS}	87,77 ^{NS}	12,16 ^{NS}	53,84 ^{NS}	25,66 a*	12,41 a*
NA 5909 RG	3438,84	84,03	11,01	53,42	20,42 b	10,63 b

* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student, a 5% de probabilidade; ^{NS} = Não Significativo.

No primeiro ano, o teor relativo de clorofila na folha foi 9 e 11% maior na cv. NA 5909 RG em relação à cv. TEC IRGA 6070 RR, respectivamente na primeira e segunda avaliações, realizadas dois dias antes (V9) e 28 dias após (R4) a aplicação dos tratamentos (Tabela 9). No entanto, nas duas últimas avaliações, realizadas aos 33 (R4-R5) e 42 dias (R5) após a aplicação dos tratamentos, elas não diferiram quanto a este parâmetro. No segundo ano, em todas as avaliações realizadas, a NA 5909 RG apresentou maior teor relativo de clorofila na folha em relação à TEC IRGA 6070 RR. Estas diferenças observadas no teor relativo de clorofila evidenciam que há diferença genética para esta característica entre as cultivares TEC IRGA 6070 RR e NA 5909 RG.

TABELA 9. Teor relativo de clorofila na folha (Índice SPAD) de duas cultivares de soja, na média de diferentes tratamentos para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, em diferentes datas de avaliação¹, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.

Cultivares	2015/16				2016/17					
	Dias em relação a aplic. dos trat.					Dias em relação a aplic. dos trat.				
	-2 (V9)	28 (R4)	33 (R4-R5)	42 (R5)	16 (R2)	23 (R3)	28 (R4)	36 (R5)	47 (R5.4)	
TECIRGA 6070 RR	31,9 b*	32,7 b	41,2 ^{NS}	42,7 ^{NS}	31,9 b*	37,4 b	39,2 b	40,6 b	44,7 b	
NA 5909 RG	34,6 a	36,4 a	41,3	42,9	34,6 a	40,1 a	42,3 a	42,3 a	45,9 a	

¹ Dias em relação à aplicação dos tratamentos: * Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student, a 5% de probabilidade; ^{NS} = Não Significativo.

Com relação à avaliação de NDVI, observou-se que, no primeiro ano, a cv. TEC IRGA 6070 RR apresentou maiores valores de NDVI em todas as avaliações realizadas durante o ciclo da cultura em relação à cv. NA 5909 RG (Tabela 10). Já no segundo ano, não houve diferença entre as cultivares nas duas primeiras avaliações, realizadas aos 12 e 19 dias após a aplicação dos tratamentos. Na avaliação realizada aos 28 dias após a aplicação dos tratamentos, a NA 5909 RG apresentou valor superior e, no restante das avaliações, os valores foram superiores na cv. TEC IRGA 6070 RR. De maneira geral, a cv. TEC IRGA 6070 RR apresentou maiores valores de NDVI nos dois anos, o que se explica devido ao fato de que a população final de plantas no primeiro ano foi maior nesta cultivar, assim como a estatura de planta nos dois anos (Tabela 11).

TABELA 10. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) de duas cultivares de soja, na média de diferentes tratamentos para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, em diferentes datas de avaliação¹, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.

		2015/16									
		Dias em relação à aplicação dos tratamentos									
Cultivares		-2 (V9)	0 (V10)	4 (V11)	7 (R1)	12 (R2)	20 (R3)	22 (R3)	28 (R4)	33 (R4-R5)	42 (R5)
TEC IRGA 6070 RR		0,68 a*	0,65 a	0,50 a	0,58 a	0,74 a	0,81 a	0,78 a	0,79 a	0,81 a	0,72 a
NA 5909 RG		0,57 b	0,52 b	0,35 b	0,40 b	0,59 b	0,71 b	0,69 b	0,70 b	0,70 b	0,57 b

		2016/17								
		Dias em relação à aplicação dos tratamentos								
Cultivares		12 (R2)	19 (R3)	28 (R4)	33 (R5)	43 (R5.3)	50 (R5.4)	54 (R5.5)	68 (R6)	75 (R7)
TEC IRGA 6070 RR		0,40 ^{NS}	0,66 ^{NS}	0,77 b*	0,84 a	0,84 a	0,85 a	0,84 a	0,71 a	0,32 a
NA 5909 RG		0,41	0,66	0,80 a	0,83 b	0,83 b	0,84 b	0,82 b	0,65 b	0,29 b

¹ Dias em relação à aplicação dos tratamentos; * Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student, a 5% de probabilidade; NS = Não Significativo.

4.4.3 Características agrônômicas, componentes da produtividade e produtividade de grãos

Nos dois anos, a cv. TEC IRGA 6070 RR apresentou maior estatura de planta e maior número de nós férteis por planta (Tabela 11). Apenas no segundo ano, esta cultivar também apresentou maior número de nós por planta. A altura de inserção do primeiro legume só diferiu entre cultivares no segundo ano, sendo maior na cv. NA 5909 RG (Tabela 11).

TABELA 11. Produtividade de grãos, seus componentes e outras características agrônômicas de duas cultivares de soja, na média de diferentes tratamentos para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.

Cultivar	Estatura (cm)	Inserção 1º leg (cm)	Número de nós/planta	Nº nós férteis/planta	Pop. final (plantas m ⁻²)	Legum./ planta	Grãos/ legume	Peso 100 grãos (g)	Produt. (kg ha ⁻¹)
TEC IRGA 6070 RR	75,4 a*	15,6 ^{NS}	- ¹	17,87 a	23,3 a	76,6 b	2,1 b	14,7 b	3.426 a
NA 5909 RG	58,3 b	14,8	-	15,63 b	12,8 b	86,8 a	2,2 a	17,0 a	3.069 b
2016/17									
TEC IRGA 6070 RR	61,0 a*	8,0 b	21,7 a	19,2 a	20,0 ^{NS}	89,7 a	2,4 ^{NS}	14,8 b	2.559 b
NA 5909 RG	55,8 b	10,0 a	17,2 b	14,5 b	22,3	68,2 b	2,4	16,8 a	2.862 a

¹ Avaliação não realizada; * Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student, a 5% de probabilidade; ^{NS} = Não significativo

A população final de plantas foi 45% menor na cv. NA 5909 RG em relação à cv. TEC IRGA 6070 RR no primeiro ano (Tabela 11). Já no segundo ano, as cultivares não diferiram quanto à população final de plantas. No primeiro ano, em compensação à menor população de plantas, a cv. NA 5909 RG apresentou maior número de legumes por planta, número de grãos por legume e peso de 100 grãos do que a cv. TEC IRGA 6070 RR. No segundo ano, a cv. TEC IRGA 6070 RR apresentou maior número de legumes por planta, enquanto que a cv. NA 5909 RG apresentou maior peso de 100 grãos (Tabela 11).

Ao se analisar os dados de produtividade, pode-se observar que estas compensações observadas nos componentes da produtividade no primeiro ano não foram suficientes para reverter a grande diferença na população de plantas, visto que a cv. TEC IRGA 6070 RR obteve produtividade de grãos 12% superior à da cv. NA 5909 RG (Tabela 11). Estas informações apontam a mortalidade de plantas como a principal causa da diferença de produtividade

observada no primeiro ano entre as cultivares. No entanto, é de se esperar que em casos onde a diferença na população de plantas for menor, a diferença favorável à cv. TEC IRGA 6070 RR na produtividade de grãos em relação a cv. NA 5909 RG também deverá ser, como observado no segundo ano, quando não houve diferença significativa entre as cultivares na população de plantas. Nesse ano, o resultado foi inverso ao verificado no primeiro ano, ou seja, a cultivar NA 5909 RG produziu 12% mais que a cv. TEC IRGA 6070 RR.

Quando se analisa os dados de produtividade das duas cultivares em cada ano, pode-se observar que ambas produziram menos no segundo ano, reforçando as observações de que houve maior magnitude do estresse por excesso hídrico nesse ano. Entretanto, no primeiro ano se observaram as maiores diferenças em relação à população de plantas entre as cultivares.

Nesse sentido, buscou-se encontrar uma possível resposta para essa diferença na população final de plantas ao se analisar os dados das cultivares no tratamento testemunha não submetida ao excesso hídrico. Assim, no primeiro ano, a população final de plantas nesse tratamento foi de 25 plantas m^{-2} na cv. TEC IRGA 6070 RR e 17 plantas m^{-2} na cv. NA 5909 RG, ou seja, a população final de plantas na cv. NA 5909 RG foi aproximadamente 30% menor. Já no segundo ano, as populações finais de plantas foram de 26 e 31 plantas m^{-2} , respectivamente, para a cv. TEC IRGA 6070 RR e a cv. NA 5909 RG, sendo portanto 15% menor na primeira cultivar. No primeiro ano, houve sequência de dias chuvosos no mês de dezembro, que mantiveram o solo encharcado por um longo período de tempo logo após a emergência das plantas (Apêndice 6), diferentemente do observado no segundo ano, em que as precipitações foram mais bem distribuídas no período (Apêndice 7).

Portanto, uma das possíveis causas para essa diferença observada na população final de plantas entre cultivares no primeiro ano pode ser atribuída a uma possível menor tolerância ao excesso hídrico da cultivar NA 5909 RG na fase inicial do desenvolvimento vegetativo do que quando este estresse ocorre mais no final da fase vegetativa, entre os estádios V8 e V9.

É possível que o alto volume de chuvas em solo hidromórfico, com baixa drenagem natural, possa ter reduzido os níveis de oxigênio no solo e ocasionado maior mortalidade de plantas da cultivar NA 5909 RG, que é considerada mais sensível ao excesso hídrico no solo. O excesso hídrico durante a germinação-emergência é prejudicial ao estabelecimento da cultura e à obtenção de boa uniformidade na densidade de plantas (Farias, Nepomuceno e Neumaier, 2007). Durante a germinação, a rápida absorção de água pode levar ao rompimento físico e à deterioração das sementes (Sayama *et al.*, 2009) e, após a emissão da raiz primária, os danos variam com a intensidade e o prolongamento do estresse (Komatsu *et al.*, 2009). Oliveira e Stédile (2009) constataram que o período de excesso hídrico reduziu a emergência de plântulas de soja e que há variabilidade genética em relação à tolerância. Também se sabe que esta tolerância é determinada geneticamente e é passível de melhoria pela seleção (Thomas *et al.*, 2000; Reyna *et al.*, 2003, Cornelius *et al.*, 2005).

Nesse sentido, pelas avaliações realizadas a campo por meio de excesso hídrico controlado, foi desenvolvida a cultivar TEC IRGA 6070 RR, a qual apresenta melhor tolerância ao excesso hídrico em comparação com outras cultivares de soja (Lange *et al.*, 2013). Os mecanismos envolvidos na resposta das plantas ao estresse por excesso hídrico ainda não estão

completamente elucidados e têm sido foco de inúmeros estudos com a cultura da soja (Komatsu *et al.*, 2010; Khatoon *et al.*, 2012; Nanjo *et al.*, 2014). No entanto, a resposta variada de cultivares em relação à tolerância ao excesso hídrico indica diferenças na eficiência destes processos.

Apesar das cultivares utilizadas no presente experimento serem consideradas contrastantes em relação à tolerância ao excesso hídrico no solo, os resultados obtidos indicam que a cultivar NA 5909 RG não deve ser considerada sensível, por ter mostrado excelente capacidade de recuperação, especialmente no segundo ano, quando a população final de plantas após ocorrência de estresse por excesso hídrico não foi reduzida em relação à cv. TEC IRGA 6070 RR (Tabela 11). Essa, talvez, seja uma das razões pelas quais a NA 5909 RG é uma das cultivares mais semeada em áreas de terras baixas no estado do RS.

A não ocorrência de interação dos fatores avaliados (Apêndices 1 a 5) rejeita a hipótese de que há diferenças entre as cultivares de soja na resposta ao excesso hídrico e aos manejos utilizados para recuperar os efeitos deste estresse, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9.

5 CONCLUSÕES

O excesso hídrico, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, afeta negativamente a nodulação, o desenvolvimento da planta e a produtividade de grãos de soja.

Quando a prática da inoculação padrão realizada nas sementes de soja é executada de forma correta, permitindo que as bactérias do *Bradyrhizobium* se estabeleçam no solo, a reaplicação de inoculante por pulverização em cobertura, seja de forma isolada ou combinada com a aplicação em cobertura de 20 kg N ha⁻¹, não é uma estratégia eficiente para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo.

A aplicação em cobertura de fertilizante mineral nitrogenado não é uma estratégia eficiente para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo. A aplicação de doses de até 20 kg N ha⁻¹ não afeta a nodulação nas raízes. Entretanto, altas doses de N (80, 160 e 320 kg N ha⁻¹) inibem a nodulação, sem, porém, promover ganhos de produtividade em relação a não aplicação.

As duas cultivares de soja utilizadas, TEC IRGA 6070 RR e NA 5909 RG, respondem de forma similar ao excesso hídrico e aos manejos utilizados para recuperar os efeitos desse estresse, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9. No entanto, a cultivar TEC IRGA 6070 RR evidencia maior

capacidade de adaptação ao estresse por excesso hídrico, como foi verificado no primeiro ano.

Os resultados obtidos no presente experimento reforçam a importância da drenagem eficiente do solo, aliada ao uso de cultivares mais adaptadas a estes ambientes, e da eficiente inoculação de sementes como forma de reduzir os efeitos do estresse por excesso hídrico sobre a soja cultivada em terras baixas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, T. S. et al. Índices de vegetação para a cultura da soja em diferentes condições hídricas e de sistema de manejo do solo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: [SBSR], 2005. p. 17–24.

ALVES, J. B.; SÁ, E. L. S.; MUNIZ, A. W. Seleção de rizóbios para o *Trifolium repens* em condições de solo alagado. **Biotemas**, Florianópolis, v. 25, n. 1, p. 39-45, 2011. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/biotemas/article/view/2175-7925.2012v25n1p39>>. Acesso em: 19 jul. 2018.

AMARANTE, L. et al. Teores de clorofilas em soja associada simbioticamente com diferentes estirpes de *Bradyrhizobium* sob alagamento. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 906-908, 2007.

AMARANTE, L.; SODEK, L. Waterlogging effect on xylem sap glutamine of nodulated soybean. **Biologia Plantarum**, Praga, v. 50, n. 3, p. 405-410, 2006.

ARMSTRONG, W.; BRÄNDLE, R.; JACKSON, M. B. Mechanisms of flood tolerance in plants. **Acta Botanica Neerlandica**, Oxford, v. 43, n. 4, p. 307-358, 1994.

AROCA, R.; PORCEL, R.; RUIZ-LOZANO, J. M. Regulation of root water uptake under abiotic stress conditions. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 63, n.1, p. 43-57, 2011.

BACANAMWO, M.; PURCELL, L. Soybean dry matter and N accumulation responses to flooding stress, N sources and hypoxia. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 50, n. 334, p. 689-696, 1999a.

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

BAILEY-SERRES, J.; VOESENEK, L. A. C. J. Flooding stress: acclimations and genetic diversity. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 59, n. 1, p. 313-339, 2008.

BAIS, H. P. et al. How plants communicate using the underground information superhighway. **Trends in Plant Science**, Kidlington, v. 9, n. 1, p. 26-32, 2004.

BARBOSA, K. M. N. **Monitoramento espacial de biomassa e carbono orgânico da vegetação herbácea de várzea na Amazônia Central**. 2006. 131 f. Tese (Doutorado) – Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

BARNI, N. A.; COSTA, J. A. Efeito de períodos de inundação do solo sobre o rendimento de grãos de soja (*Glycine max* (L) Merrill). **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.11, n.2, p.207-222, 1975.

BASSO, C. J. et al. Resposta da soja frente a falhas na distribuição de semente. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 9, n. 4, p. 451-460, 2016.

BELLALOU, N. et al. Effects of row-type, row-spacing, seeding rate, soil-type, and cultivar differences on soybean seed nutrition under us Mississippi Delta conditions. **Plos One**, São Francisco, v. 10, n. 6, p.1-23, 2015.

BHUVANESWARI, T. V.; BHAGWAT, A. A.; BAUER, W. D. Transient susceptibility of root cells in four common legumes to nodulation by rhizobia. **Plant Physiology**, Rockville, v. 68, n. 5, p. 1144-1149, 1981.

BIZARRO, M. J. **Inoculação de soja em solo submetido a diferentes sistemas de manejo**. 2004. 70 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

BOHRER, T. R. J.; HUNGRIA, M. Avaliação de cultivares de soja quanto à fixação biológica do nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 6, p. 937-953, 1998.

BOONKERD, N. et al. Effects of post-emergence inoculation on field grown soybeans. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Dordrecht, v. 1, n. 1, p. 155-161, 1985.

BORU, G. et al. Responses of soybean to oxygen deficiency and elevated root-zone carbon dioxide concentration. **Annals of Botany**, Oxford, v. 91, n. 4, p. 447-453, 2003.

BRANDELERO, E. M.; PEIXOTO, C. P.; RALISCH, R. Nodulação de cultivares de soja e seus efeitos no rendimento de grãos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 3, p. 581-588, 2009.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Secretaria de Política Agrícola. **Projeções do Agronegócio**. Brasil 2016/17 a 2026/27 – projeções de longo prazo. Brasília, 2017. 125 p. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-](http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de)

politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2017-a-2027-versao-preliminar-25-07-17.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2018.

CÂMARA, G. M. S. Fixação biológica de nitrogênio em soja. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 147, p. 1-9, set. 2014. Disponível em:<[http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/B7FB85D4FAD745CF83257D660046A90D/\\$FILE/Page1-9-147.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/B7FB85D4FAD745CF83257D660046A90D/$FILE/Page1-9-147.pdf)>. Acesso em: 22 jul. 2018.

CAMPOS, B. C.; HUNGRIA, M.; TEDESCO, V. Eficiência da fixação biológica de N₂ por estirpes de *Bradyrhizobium* na soja em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 583-592, 2001.

CARLESSO, R. **Drenagem e aeração do solo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1995. 61 p.

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

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos, primeiro levantamento, outubro/2014. Brasília, [2014]. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_10_23_10_20_02_boletim_graos_outubro_2014.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2016.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Informações Agropecuárias**: safras, safra de grãos. Brasília, [2018a]. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 22 jul. 2018.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Informações Agropecuárias**: safras. [2018b]. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?limitstart=0>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

CORNELIUS, B. et al. Identification of QTLs underlying water-logging tolerance in soybean. **Molecular Breeding**, Dordrecht, v. 16, n. 2, p. 103-112, 2005.

CORTES, A. F. et al. Variáveis produtivas em cultivares de soja semeadas em área de várzea de Itaqui-RS. In: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO (SIEPE), 7., 2015, Itaqui. **Anais do...** Itaqui: UNIPAMPA, 2015. v. 7, n. 2. (Salão de Pesquisa- Pôster).

CUNHA, R. C.; ESPÍNDOLA, C. J. A dinâmica geoeconômica recente da cadeia produtiva da soja no Brasil e no mundo. **GeoTextos**, Salvador, v. 11, n. 1, p. 217-238, 2015.

DAT, J. F. et al. Sensing and signalling during plant flooding. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 42, n. 4, p. 273-282, 2004.

DENARDIN, L. G. O. et al. Adubação nitrogenada em soja após estresse por hipóxia em terras baixas. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 11., 2016, Frederico Westphalen. [**Resumos expandidos ...**] Viçosa: SBCS, 2016.

DENINSON, R. F.; HARTER, B. L. Nitrate effects on nodule oxygen permeability and leghemoglobin. Nodule oximetry and computer modeling. **Plant Physiology**, Rockville, v. 107, n. 4, p. 1355-1364, 1995.

DENNIS, E. S. et al. Molecular strategies for improving waterlogging tolerance in plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 51, n. 342 p. 88-97, 2000.

DE-POLLI, E.; FRANCO, A. A.; DÖBEREINER, J. Sobrevivência de *Rhizobium* em solos de baixada sujeitos a inundação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 8, n. 7, p. 133-138, 1973.

DE WIT, M.C. Metabolic adaptation to anoxia. In: HOOK, D. D.; CRAWFORD, E. M. M. **Plant life in anaerobic environments**. Michigan: Ann Arbor Science, 1978. p. 333- 350.

DIAS FILHO, M. B. **Características morfofisiológicas associadas à tolerância de gramíneas ao alagamento e ao encharcamento**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2012. (Documentos, 383).

DREW, M. C. Oxygen deficiency and root metabolism injury and acclimation under hipoxia and anoxia. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 48, n. 1, p. 223-250, 1997.

DREW, M. C.; HE, C.; MORGAN, P. W. Programmed cell death and aerenchyma formation in roots. **Trends in Plant Science**, Kidlington, v. 5, n. 3, p. 123-127, 2000.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Clima Temperado. Solos cultivados com arroz irrigado na Região Subtropical do RS e SC. In: **Cultivo do arroz irrigado no Brasil**. Pelotas, 2005. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrigadoBrasil/cap03.htm>>. Acesso em: 29 jun. 2016.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Soja. **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil - 2004**. Londrina, [2003]. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/451526/tecnologias-de-producao-de-soja---regiao-central-do-brasil-2004>>. Acesso em: 28 set. 2016.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 10 p. (Circular Técnica, 48).

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11 p. (Special Report, 80).

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FRANZBLAU, A. **A primer of statistics for non-statisticians**. Oxford: Harcourt, 1958.

GAUDÊNCIO, C. A. A. et al. **População de plantas de soja no sistema de semeadura direta para o Centro- Sul do Estado do Paraná**. Londrina: Embrapa, CNPSo, 1990. 4p. (Comunicado Técnico, 47).

GILLER, K. E.; CADISCH, G. Future benefits from biological nitrogen fixation: an ecological approach to agriculture. **Plant and Soil**, The Hague, v. 174, n. 1, p. 255 – 277, 1995.

GIORDANO, C. P. S. **Resposta da soja a períodos de inundação em um gleissolo**. 2014. 86 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

GRABLE, A. R. Soil aeration and plant growth. **Advances in Agronomy**, Newark, v. 18, n. 1, p. 57-106, 1966.

GRIFFIN, J. L.; SAXTON, A. M. Response of solid-seeded soybean to flood irrigation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, n. 6, p. 885-888, 1988.

GUIMARÃES, F. S. **Cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] para cultivo de verão na região de Lavras - MG**. 2006. 44 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

HARPER, J.; GIBSON, A. Differential nodulation tolerance to nitrate among legume species. **Crop Science**, Madison, v. 24, n. 4, p. 797–801, 1984.

HARPER, J. Soil and symbiotic nitrogen requirements for optimum soybean production. **Crop Science**, Madison, v. 14, n. 2, p. 255–260, 1974.

HEIFFIG, L. S. et al. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 2, 2006.

HEIFFIG, L. S. **Plasticidade da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em diferentes arranjos espaciais**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

HIRSCH, A. M. et al. Molecular signals and receptors: controlling rhizosphere interactions between plants and other organisms. **Ecology**, Washington, v. 84, n. 4, p. 858-868, 2003.

HONG, T. D.; MINCHIN, F. R.; SUMMERFIELD, R. J. Recovery of nodulated cowpea plants (*Vigna unguiculata* L.) from waterlogging during vegetative growth. **Plant and Soil**, The Hague, v. 48, n. 3, p. 661-672, 1977.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 48 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 35; Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 13).

HUNGRIA, M. et al. Contribution of biological nitrogen fixation to the N nutrition of grain crops in the tropics: the success of soybean (*Glycine max* L. Merr.) in South America. In: SINGH, R. P.; SHANKAR N.; JAIWAL, P. K. (Ed.) **Nitrogen nutrition and sustainable plant productivity**. Houston: Studium Press, 2006a. p. 43-93.

HUNGRIA, M. et al. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and N fertilizer to grain yield. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 86, n. 4, p. 927-939, 2006b.

HUNGRIA, M. et al. The importance of nitrogen fixation to soybean cropping in South America. In: WERNER, D.; NEWTON, E. E. **Nitrogen fixation in agriculture, forestry, ecology and environment**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2005. p. 25-42.

HUNGRIA, M.; FRANCO, A. A. Effects of high temperatures on nodulation and nitrogen fixation by *Phaseolus vulgaris* L. **Plant and Soil**, The Hague, v. 149, n. 1, p. 95-102, 1993.

HUNGRIA, M.; KASCHUK, G. Regulation of N₂ fixation and NO₃⁻/NH₄⁺ assimilation in nodulated and N-fertilized *Phaseolus vulgaris* L. exposed to high-temperature stress. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 98, n. 1, p. 32-39, 2014.

HUNGRIA, M.; MENDES, I. C. Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis? In: BRUIJN, F. J. (Ed.). **Biological nitrogen fixation**. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2014.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Alternative methods of soybean inoculation to overcome adverse conditions at sowing. **African Journal of Agricultural Research**, Johannesburg, v. 10, n. 23, p. 2329-2338, 2015.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T.; ARAUJO, R. S. Fixação biológica do nitrogênio em feijoeiro. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Eds.). **Biologia dos solos de cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. p. 187-294.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T. Environmental factors impacting N₂ fixation in legumes grown in the tropics, with an emphasis on Brazil. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 65, n. 2/3, p. 151-164, 2000.

IRGA – INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. **Legislações**: regimento interno: Decreto nº 52.146, de 10 de dezembro de 2014. Porto Alegre, 2018a. Disponível em: <<http://irga.rs.gov.br/legislações>>. Acesso em: 18 set. 2018.

IRGA – INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. **Safras**: soja em rotação com arroz. Porto Alegre, 2018b. Disponível em: <<http://irga.rs.gov.br/safras-2>>. Acesso em: 22 out. 2018.

JAMES, E. K.; CRAWFORD, R. M. M. Effect of oxygen availability on nitrogen fixation by two Lotus species under flooded conditions. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 49, n. 320, p. 599-609, 1998.

KHATOON, A. et al. Analysis of response mechanism in soybean under low oxygen and flooding stresses using gel-base proteomics technique. **Molecular Biology Reports**, Dordrecht, v. 39, n. 12, p. 10581–10594, 2012.

KLUDZE, H. K.; DeLAUNE, R. D.; PATRICK, W. H. A colorimetric method for assaying dissolved oxygen loss from container-grown rice roots. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, n. 3, p. 483-487, 1994.

KOMATSU, S. et al. A comprehensive analysis of the soybean genes and proteins expressed under flooding stress using transcriptome and proteome techniques. **Journal of Proteome research**, Washington, DC, v. 8, n. 1, p. 4766-4778, 2009.

KOMATSU, S. et al. Comparative proteomics analysis of differentially expressed proteins in soybean cell wall during flooding stress. **Amino Acids**, Wien, v. 39, n. 5, p. 1435–1449, 2010.

KOUTROUBAS, S. D. et al. The importance of early dry matter and nitrogen accumulation in soybean yield. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 9, n. 1, p. 1-10, 1998.

KRAMER, P. J. **Plant and soil water relationships**: a modern synthesis. 3. ed. New York: McGraw-Hill Book, 1975. 482 p.

LADYGIN, V. G. The effect of root hypoxia and iron deficiency on the photosynthesis, biochemical composition, and structure of pea chloroplasts. **Russian Journal of Plant Physiology**, Moscow, v. 51, n. 1, p. 28-40, 2004.

LAMB, J. et al. Impact of inoculation and use of fertilizer nitrogen on soybean production where growing seasons are short. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 3, n. 2, p. 241–245, 1990.

LANGE, C. E. et al. Nova cultivar de soja TEC IRGA 6070 RR desenvolvida para o cultivo em solos arroseiros gaúchos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ARROZ IRRIGADO, 8., 2013, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2013. p. 196-199.

LAYZELL, D. B.; HUNT, S. Oxygen and the regulation of nitrogen fixation in legume nodules. **Physiologia Plantarum**, Oxford, v. 80, n. 2, p. 322-327, 1990.

LIAO, C. T.; LIN, C. H. Physiological adaptation of crop plants to flooding stress. Proceedings of the National Science Council, Republic of China. Part B. **Life Sciences**, New York, v. 25, n. 3, p. 148-157, 2001.

LIBÓRIO, P. H. S. et al. Comportamento de cultivares de soja quanto a nodulação e fixação biológica de nitrogênio. **Ciência & Tecnologia**, Jaboticabal, v. 7, 2015. Número especial.

LIESACK, W.; SCHNELL, S.; REVSBECH, N. P. Microbiology of flooded rice paddies. **FEMS Microbiology Reviews**, Oxford, v. 24, n. 5, p. 625-645, 2000.

LIEVEN-ANTONIOU, C. A.; WHITTAM, T. S. Specificity in the symbiotic association of *Lotus corniculatus* and *Rhizobium loti* from natural populations. **Molecular Ecology**, Oxford, v. 6, n. 7, p. 629-639, 1997.

LINCOLN, T.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 95-112.

LINKEMER, G.; BOARD, J. E.; MUSGRAVE, M. E. Waterlogging effects on growth and yield components in late-planted soybean. **Crop Science**, Madison, v. 38, n. 6, p. 1576-1584, 1998.

LOUREIRO, M. F.; JAMES, E. K.; FRANCO, A. A. Nitrogen fixation by legumes in flooded regions. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, p. 195-233, 1998.

LUO, Y.; ZHOU, X. **Soil respiration and the environment**. San Diego: Academic Press, 2006. 328 p.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MATSUNAGA, R. et al. Response of short-duration pigeonpea to nitrogen application after short-term waterlogging on a Vertisol. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 38, n. 3, p. 167-174, 1994.

MAUAD, M. et al. Influência da densidade de semeadura sobre características agronômicas na cultura da soja. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 3, n. 9, p. 175-181, 2010.

MENDES, I. C. et al. Adubação nitrogenada suplementar tardia na soja cultivada em latossolos do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 1053-1060, 2008.

MOMEN, N. M. et al. Moisture-stress effects on the yield components of two soybeans cultivars. **Agronomy Journal**, Madison, v. 71, n. 1, p. 86-90, 1979.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Fixação biológica de nitrogênio atmosférico. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2005. Cap. 9, p. 449-542.

MORETTI, L. G. et al. Can additional inoculations increase soybean nodulation and grain yield? **Agronomy Journal**, Madison, v. 110, n. 2, p. 715-721, 2018.

MÜLLER, L. Fixação simbiótica do nitrogênio. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. **A soja no Brasil**. Campinas: ITAL, 1981. p. 401-414.

MUNDSTOCK, C. M. et al. **Manual de boas práticas agrícolas: guia para a sustentabilidade da lavoura de arroz irrigado do Rio Grande do Sul**. Cachoeirinha: IRGA, 2011. 80 p.

MUNHOZ, A. T. **Técnicas de inoculação com bactérias de fixação de nitrogênio na cultura da soja**. 2016. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba, SC, 2016.

NANJO, Y. et al. Analyses of flooding tolerance of soybean varieties at emergence and varietal differences in their proteomes. **Phytochemistry**, London, v. 106, n. 1, p. 25-36, 2014.

NATHANSON, K. et al. Growth, nodulation and nitrogen accumulation by soybean in saturated soil culture. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 8, n. 1, p. 73-92, 1984.

NOGUEIRA, P. D. M.; SENA JÚNIOR, D. G.; RAGAGNIN, V. A. Clorofila foliar e nodulação em soja adubada com nitrogênio em cobertura. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 3, n. 2, p. 117-124, 2010.

NOVAIS, R. F. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. 1017 p.

OLIVEIRA, A. C. B. et al. Avaliação de genótipos de soja submetidos ao encharcamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 6., 2012. Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: EMBRAPA, 2012. p. 1-3.

OLIVEIRA, K. I.; STÉDILE, J. D. Seleção de genótipos de soja tolerantes ao excesso hídrico na fase de germinação e emergência. In: SALÃO DE

INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 21., 2009, Porto Alegre. **Livro de resumos**. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

ORMSBY, J. P.; CHOUDHURY, B. J.; OWE, M. Vegetation spatial variability and its effects on vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 8, n. 9, p. 1301-1306, 1987.

PATRICK, W. M. H.; MAHAPATRA, I. C. Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. **Advances in Agronomy**, New York, v. 20, n. 1, p. 323-359, 1968.

PEIXOTO, C. P. et al. Épocas de semeadura e densidade de plantas de soja. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 89 - 96, 2000.

PEREIRA, C. S. et al. Doses de inoculante *Bradyrhizobium japonicum* em três cultivares de soja no norte de Mato Grosso. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 9, n. 1, p.76 - 88, 2016.

PERINI, L. J. et al. Componentes da produção em cultivares de soja com crescimento determinado e indeterminado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 2531-2543, 2012. Suplemento 1.

PINTO, J. F. **Comportamento da plasticidade de plantas de soja frente a falhas e duplas dentro de uma população**. 2010. 43 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.

PIRES, J. L. F. et al. Efeito de populações e espaçamentos sobre o potencial de rendimento da soja durante a ontogenia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 8, p. 1541-1547, 2000.

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

PRUDENT, M. et al. Soybean is less impacted by water stress using *Bradyrhizobium japonicum* and thuricin-17 from *Bacillus thuringiensis*. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 35, n. 2, p. 749-757, 2015.

PUGH, R. et al. The effect of waterlogging on nitrogen fixation and nodule morphology in soil-grown white clover (*Trifolium repens* L.). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 46, n. 284, p. 285-290, 1995.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 41., 2016, Passo Fundo. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2016/2017 e 2017/2018**. Passo Fundo: UPF, 2016. 127 p.

REYNA, N. et al. Evaluation of a QTL for waterlogging tolerance in southern soybean germplasm. **Crop Science**, Madison, v. 43, n. 6, p. 2077-2082, 2003.

ROCHA, T. S. M. et al. Performance of soybean in hydromorphic and non hydromorphic soil under irrigated or rainfed conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 52, n. 5, p. 293-302, 2017.

ROGERS, D. D.; WARREN JR, R. D.; CHAMBLES, D. S. Remedial post emergence legume inoculation with *rhizobium*. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 4, p. 613-619, 1982.

ROUGHLEY, R. J. et al. Autoecology of *Bradyrhizobium japonicum* in soybean-rice rotations. **Plant and Soil**, The Hague, v. 176, n. 1, p. 7-14, 1995.

RUSSEL, M. B. Water and its relation to soils and crops. **Advances in Agronomy**, Newark, v. 11, n. 1, p. 1-131, 1959.

SÁ, J. S. **Influência do manejo do nível freático e doses de nitrogênio em culturas sob hipoxia no solo**. 2005. 167 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

SAIRAM, R. K. et al. Physiology and biochemistry of waterlogging tolerance in plants. **Biology Plantarum**, Dordrecht, v. 52, n. 3, p. 401-412, 2008.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant physiology**. 4. ed. California: Wadsworth, 1992. 682 p.

SALLAM, A.; SCOTT, H. D. Effects of prolonged flooding on soybeans during early vegetative growth. **Soil Science**, Hagerstown, v. 144, n. 1, p. 61-66, 1987.

SALVAGIOTTI, F. et al. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: a review. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 108, n. 1, p. 1-13, 2008.

SANCHEZ, P. A. **Properties and management of soils in the tropics**. New York: John Willey, 1976. 618 p.

SAYAMA, T. et al. QTL analysis of seed-flooding tolerance in soybean (*Glycine max* [L.] Merr.). **Plant Science**, Shannon, v. 176, n. 4, p. 514-521, 2009.

SCHÖFFEL, E. R. et al. Excesso hídrico sobre os componentes do rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 7-12, 2001.

SCHOLLES, D.; VARGAS, L. K. Viabilidade da inoculação de soja com estirpes de *Bradyrhizobium* em solo inundado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 973-979, 2004.

SCOTT, H. D. et al. Flood duration effects on soybean growth and yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, n. 4, p. 631-636, 1989.

SEBEM, E. **Aportaciones de la teledetección em el desarrollo de um sistema metodológico para la evaluación de los efectos del cambio climático sobre la producción de lãs explotaciones agrarias**. 2005. 384 f. Tese (Doutorado em Fotogrametria, Teledetección e Ingeniería Gráfica) – Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2005.

SHANAHAN, J. et al. Responsive in-season nitrogen management for cereals. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 61, n. 1, p. 51-62, 2008.

SIMÕES, M. S.; ROCHA, J. V.; LAPARELLI, R. A. C. Análise do comportamento espectral de uma área comercial de cana-de-açúcar em duas safras por meio de radiometria de campo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2367-2374.

SINCLAIR, T. R.; DE WIT, C. T. Analysis of the carbon and nitrogen limitations to soybean yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 68, n. 2, p. 319-324, 1976.

SOLARI, F. et al. Active sensor reflectance measurements of corn nitrogen status and yield potential. **Agronomy Journal**, Madison, v. 76, n. 3, p. 571-579, 2008.

SOUZA, L. G. M. **Otimização da fixação biológica de nitrogênio na soja em função da reinoculação em cobertura sob plantio direto**. 2016. 72 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2016.

STANLEY, C. D.; KASPAR, T. C.; TAYLOR, H. M. Soybean top and root response to temporary water tables imposed at three different stages of growth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, n. 2, p. 341-346, 1980.

STEPHENS, B. D.; NEYRA, C. A. Nitrate and nitrite reduction in relation to nitrogenase activity in soybean nodules and *Rhizobium japonicum* bacteroids. **Plant Physiology**, Rockville, v. 71, n. 4, p. 731-735, 1983.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. EMATER/RS; UFRGS, 2008, p. 126.

TAÍZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artemed, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Redwood City: The Benjamin/Cummings, 1991.

TAMAGNO, S. et al. Nutrient partitioning and stoichiometry in soybean: a synthesis-analysis. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 200, n. 1, p. 10–27, 2017.

THIES, J. E. et al. Phenology, growth, and yield of field-grown soybean and bush bean as a function of varying modes of N nutrition soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 27, n. 4/5, p. 575-583, 1995.

THOMAS, A. L. et al. Rendimento de grãos de cultivares de soja em solo de várzea. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 107-112, 2000.

THOMAS, A. L. **Modificações morfológicas e assimilação de nitrogênio em plantas de soja (*Glycine max*) com sistemas radiculares sob deficiência de O₂**. 2004. 87 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

TOURINO, C. C. M.; REZENDE, M. P.; SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agronômicas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1071-1077, 2002.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979.

TURNER, F. T. Soybean seedling response to anaerobiosis. **Crop Science**, Madison, v. 23, n. 1, p. 40-44, 1983.

UHRY, D. **Adubação nitrogenada e densidade de semeadura em soja**. 2010. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

UHRY JUNIOR, D. F. et al. Tolerância ao excesso hídrico no solo de cultivares comerciais de soja na safra 2016-17. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 10., 2017, Gramado. **Anais ...** Porto Alegre: IRGA, 2017.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE- Foreign Agricultural Service. **Top countries by commodity: oilseed, soybean**. [2018]. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/topCountriesByCommodity>>. Acesso em: 09 abr.2018.

VAN'T WOUDT, B. D.; HAGAN, R. M. Respuestas de los cultivos a niveles excessivamente elevados de humedad del suelo. In: LUTHIN, J. N. **Drenaje de tierras agrícolas: teorías y aplicaciones**. 2. ed. México: Limusa, 1974. p. 571-645.

VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. Fixação biológica do N₂ na cultura da soja. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos de cerrados**. Planaltina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. p. 297-360.

VAZQUEZ, G. H.; CARVALHO, N. M.; BORBA, M. M. Z. Redução na população de plantas sobre a produtividade e a qualidade fisiológica da semente de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 30, n. 2, p. 1-11, 2008.

VIAN, A. L. **Sensores de vegetação para estimativa in situ do potencial produtivo na cultura do milho**. 2015. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

VIGNOLIO, O. R.; FERNÁNDEZ, O. N.; MACEIRA, N. O. Flooding tolerance in five populations of *Lotus glaber* Mill. (Syn. *Lotus tenuis* Waldst. Et. Kit.). **Australian Journal of Agricultural Research**, East Melbourne, v. 50, n. 4, p. 555-560, 1999.

WIEGAND, C. L.; EVERITT, J. H.; RICHARDSON, A. J. Comparison of multispectral video and SPOT-HRV observations for cotton affected by soil salinity. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 13, n. 8, p. 1511-1525, 1992.

WIEGAND, C. L. et al. Vegetation indices in crop assessments. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 35, n. 2/3, p. 105-119, 1991.

ZANON, A. J. et al. Desenvolvimento de cultivares de soja em função do grupo de maturação e tipo de crescimento em terras altas e terras baixas. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 4, p. 400-411, 2015.

ZANON, A. J. et al. **Ecofisiologia da soja**: visando altas produtividades. Santa Maria: [s.n.], 2018.

ZANON, A. J. et al. Growth habit effect on development of modern soybean cultivars after beginning of bloom in Rio Grande do Sul. **Bragantia**, Campinas, v. 75, n. 4, p. 446-458, 2016.

ZENZEN, I. L. et al. Nodulação em soja inoculada com diferentes estirpes de *Bradyrhizobium* sob alagamento. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 606-608, 2007.

ZILLI, J. et al. Inoculação de *Bradyrhizobium* em soja por pulverização em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 4, p. 541-544, 2008.

7 APÊNDICES

APÊNDICE 1. Análise de variância do número e massa de nódulos por planta e da massa de um nódulo de soja no estágio R5 em duas cultivares de soja submetidas a diferentes tratamentos para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.

Fonte de variação	Segunda avaliação (R5)					
	Safrá 2015/16			Safrá 2016/17		
	Número	Massa	Massa/nódulo	Número	Massa	Massa/nódulo
CULT	0,142	0,018*	0,659	0,182	0,015	0,157
TRAT	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CULT * TRAT	0,670	0,934	0,416	0,158	0,051	0,761
CV (%)	39,1	28,6	19,1	20,6	29,6	32,0

* Significativo a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

APÊNDICE 2. Análise de variância da produtividade de massa seca da parte aérea (MS) e da quantidade acumulada de nutrientes em R5 em duas cultivares de soja, submetidas a diferentes tratamentos para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.

Fonte de variação	2015/16					
	MS	N	P	K	Ca	Mg
CULT	0,061	0,194	0,570	0,759	0,586	0,042
TRAT	0,001*	0,000	0,026	0,366	0,000	0,000
CULT * TRAT	0,239	0,330	0,856	0,467	0,144	0,165
CV (%)	14,2	22,2	21,9	27,8	15,8	15,4
Fonte de variação	2016/17					
	MS	N	P	K	Ca	Mg
CULT	0,222	0,410	0,338	0,918	0,002	0,029
TRAT	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000	0,035
CULT * TRAT	0,056	0,061	0,658	0,358	0,138	0,329
CV (%)	18,5	21,0	40,9	29,9	27,5	27,4

* Significativo a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

APÊNDICE 3. Análise de variância do teor relativo de clorofila na folha (Índice SPAD), em diferentes datas de avaliação¹, em duas cultivares de soja, submetidas a diferentes tratamentos para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.

Fonte de variaçãc	2015/16				2016/17				
	Dias em relação a aplic. dos trat.				Dias em relação a aplic. dos trat.				
	-2 (V9)	28 (R4)	33 (R4-R5)	42 (R5)	16 (R2)	23 (R3)	28 (R4)	36 (R5)	47 (R5.4)
CULT	0,000*	0,000	0,857	0,666	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
TRAT	0,000	0,000	0,074	0,071	0,000	0,000	0,125	0,217	0,527
CULT * TRAT	0,457	0,438	0,135	0,774	0,457	0,102	0,300	0,985	0,954
CV (%)	6,8	5,3	5,1	3,8	6,8	4,2	4,9	4,5	3,0

¹ Dias em relação à aplicação dos tratamentos; * Significativo a 5% de probabilidade (p<0,05).

APÊNDICE 4. Análise de variância do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), em diferentes datas de avaliação¹, em duas cultivares de soja, submetidas a diferentes tratamentos para a recuperação das plantas de soja após período de excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.

Fonte de variação	Safrá 2015/16									
	Dias em relação à aplicação dos tratamentos									
	-2 (V9)	0 (V10)	4 (V11)	7 (R1)	12 (R2)	20 (R3)	22 (R3)	28 (R4)	33 (R4-R5)	42 (R5)
CULT	0,000*	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
TRAT	0,043	0,016	0,000	0,001	0,002	0,009	0,033	0,061	0,025	0,000
CULT * TRAT	0,092	0,135	0,110	0,095	0,072	0,200	0,210	0,249	0,242	0,067
CV (%)	7,9	11,3	18,6	17,3	8,9	6,7	7,1	7,4	7,6	9,7

Fonte de variação	Safrá 2016/17								
	Dias em relação à aplicação dos tratamentos								
	12 (R2)	19 (R3)	28 (R4)	33 (R5)	43 (R5.3)	50 (R5.4)	54 (R5.5)	68 (R6)	75 (R7)
CULT	0,962	0,570	0,000*	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,040
TRAT	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,011	0,389	0,031
CULT * TRAT	0,508	0,290	0,563	0,106	0,223	0,480	0,361	0,613	0,994
CV (%)	11,4	6,1	3,3	0,9	0,8	0,9	1,1	6,3	15,2

¹ Dias em relação à aplicação dos tratamentos; * Significativo a 5% de probabilidade (p<0,05).

APÊNDICE 5. Análise de variância das características agrônômicas, componentes da produtividade e produtividade de grãos, em duas cultivares de soja submetidas a diferentes tratamentos para a recuperação do estresse por excesso hídrico no solo, imposto entre os estádios vegetativos V8 e V9, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.

Fonte de variação	Estatura	Inserção 1º leg	Número de nós	Nº nós férteis	Plantas m ⁻²	legumes/planta	Grãos/legume	Peso de 100 grãos	Produtividade
Safra 2015/16									
CULT	0,000 [*]	0,123	- ¹	0,000	0,000	0,002	0,041	0,000	0,008
TRAT	0,000	0,241	-	0,240	0,062	0,228	0,509	0,781	0,001
CULT * TRAT	0,569	0,077	-	0,133	0,439	0,059	0,909	0,916	0,209
CV (%)	8,4	12,2	-	7,1	18,9	15,1	10,6	6,1	15,9
Safra 2016/17									
CULT	0,000	0,000	0,000	0,000	0,173	0,000	0,251	0,000	0,000
TRAT	0,000	0,009	0,164	0,596	0,046	0,807	0,167	0,000	0,000
CULT * TRAT	0,054	0,480	0,146	0,294	0,976	0,923	0,629	0,057	0,444
CV (%)	6,0	19,3	5,1	6,4	30,7	16,8	9,3	3,9	11,2

¹ Avaliação não realizada; * Significativo a 5% de probabilidade (p<0,05).

APÊNDICE 6. Dados meteorológicos obtidos na Estação Automática da Estação Experimental do Arroz, do Instituto Rio Grandense do Arroz (EEA/IRGA), para o período de 24/11/2015 a 31/01/2016. Cachoeirinha-RS.

Data	Tmax (°C)	Tmin (°C)	URA (%)	Rad. (MJ m ²)	Precip. (mm)	Temp. solo (°C)	Vel. Vento (m/s)
24/11/2015	23,89	17,44	78,34	11,15	0,00	22,42	2,92
25/11/2015	25,20	17,97	79,30	21,66	0,00	22,47	3,49
26/11/2015	26,68	19,33	85,90	18,19	0,80	23,27	2,64
27/11/2015	29,54	19,81	90,17	12,44	1,60	24,23	1,12
28/11/2015	29,61	20,68	82,38	17,04	0,00	24,47	1,80
29/11/2015	27,32	16,37	66,37	27,28	0,00	24,49	1,40
30/11/2015	26,04	12,28	62,55	27,91	0,00	23,30	1,24
01/12/2015	29,89	15,66	69,08	21,24	2,00	23,21	1,45
02/12/2015	22,95	19,65	96,27	6,26	4,20	23,27	1,61
03/12/2015	28,13	19,56	87,82	21,47	0,00	23,15	2,73
04/12/2015	29,01	20,83	87,63	11,86	0,00	23,92	0,90
05/12/2015	27,34	20,14	82,88	23,16	0,00	24,89	1,65
06/12/2015	27,70	17,16	75,77	26,32	0,00	24,49	1,29
07/12/2015	26,42	11,68	68,57	30,58	0,00	24,02	1,40
08/12/2015	31,80	14,68	75,41	30,60	0,00	24,50	1,76
09/12/2015	34,56	18,57	83,83	16,42	22,30	25,30	1,58
10/12/2015	28,31	20,58	75,85	26,04	0,10	25,38	1,53
11/12/2015	33,00	14,79	70,24	29,87	0,10	25,43	0,97
12/12/2015	36,68	20,11	77,22	26,58	11,50	26,38	0,94
13/12/2015	29,11	20,64	82,39	18,21	2,90	25,85	1,45
14/12/2015	30,29	19,91	88,80	12,22	2,10	25,72	0,97
15/12/2015	29,13	21,16	82,22	20,28	4,00	25,46	2,04

continuação APÊNDICE 6. Dados meteorológicos obtidos na Estação Automática da Estação Experimental do Arroz, do Instituto Rio Grandense do Arroz (EEA/IRGA), para o período de 24/11/2015 a 31/01/2016. Cachoeirinha-RS.

Data	Tmax (°C)	Tmin (°C)	URA (%)	Rad. (MJ m ⁻²)	Precip. (mm)	Temp. solo (°C)	Vel. Vento (m/s)
16/12/2015	28,54	16,34	77,66	30,55	0,00	25,23	1,59
17/12/2015	34,95	19,22	76,07	24,26	0,00	25,73	1,47
18/12/2015	30,98	21,75	89,11	7,57	13,40	25,79	1,35
19/12/2015	24,38	19,94	85,07	9,05	0,00	24,41	1,37
20/12/2015	25,91	17,41	74,53	19,16	0,00	23,16	2,32
21/12/2015	27,68	19,28	83,09	11,73	0,00	23,62	1,64
22/12/2015	29,38	21,39	87,73	8,36	3,50	24,18	1,11
23/12/2015	29,18	22,23	96,76	8,46	6,50	24,64	0,83
24/12/2015	23,78	21,34	98,14	3,94	19,30	24,22	0,93
25/12/2015	25,94	21,19	95,94	11,94	4,50	23,95	2,02
26/12/2015	27,51	21,27	92,25	13,07	0,30	24,50	1,37
27/12/2015	32,02	21,53	87,01	23,92	0,00	25,59	1,26
28/12/2015	29,58	22,30	86,86	20,77	0,00	26,09	1,76
29/12/2015	32,75	23,21	83,36	25,39	0,30	26,59	1,86
30/12/2015	32,88	23,82	86,84	16,09	1,40	27,12	0,98
31/12/2015	29,92	23,60	86,12	14,19	8,60	26,87	2,06
01/01/2016	27,68	21,57	81,98	22,26	0,00	25,74	2,42
02/01/2016	27,97	21,50	82,10	16,06	0,00	24,96	2,70
03/01/2016	29,94	21,16	76,20	30,83	0,00	25,43	2,52
04/01/2016	33,51	20,48	72,26	27,12	0,00	26,10	1,72
05/01/2016	33,72	22,31	75,39	17,94	0,40	26,92	1,20
06/01/2016	33,63	24,26	83,56	15,30	0,20	27,71	0,48
07/01/2016	26,61	22,14	90,03	7,67	0,40	26,76	1,83
08/01/2016	28,17	18,63	82,94	18,96	0,00	26,13	1,52
09/01/2016	28,46	21,06	91,10	12,21	0,00	26,10	1,73
10/01/2016	33,43	22,31	81,82	23,10	0,00	27,12	1,88
11/01/2016	32,47	20,84	81,95	24,72	0,00	27,66	1,45
12/01/2016	33,76	22,48	79,11	27,51	0,00	28,34	1,43
13/01/2016	33,44	21,16	79,34	26,31	0,40	28,16	1,75
14/01/2016	28,99	20,84	64,41	29,01	0,00	27,13	2,64
15/01/2016	32,90	19,49	73,56	27,87	0,00	27,19	1,67
16/01/2016	33,16	20,61	76,08	30,90	0,00	27,94	1,51
17/01/2016	35,04	17,05	69,16	30,99	0,00	27,66	1,23
18/01/2016	35,69	16,52	66,44	30,59	0,00	27,51	1,16
19/01/2016	32,66	17,69	74,92	26,70	0,00	27,29	1,38
20/01/2016	32,86	20,86	73,07	29,40	0,00	27,74	1,55
21/01/2016	31,27	20,18	75,63	27,47	0,00	27,54	2,27
22/01/2016	31,66	16,49	69,63	30,14	0,00	27,06	1,95
23/01/2016	35,22	16,04	67,74	26,05	0,00	26,78	1,19
24/01/2016	35,04	19,32	64,70	29,85	0,00	27,62	1,68
25/01/2016	39,22	20,30	72,21	25,31	21,00	27,14	1,50
26/01/2016	25,46	20,09	94,55	6,08	6,20	25,87	0,87
27/01/2016	29,64	16,96	79,20	22,70	0,00	25,54	1,44
28/01/2016	30,28	20,93	78,72	21,37	0,10	25,79	2,20
29/01/2016	36,38	21,85	78,67	25,95	0,30	27,45	1,53
30/01/2016	32,49	21,94	81,05	17,61	0,30	32,44	1,45
31/01/2016	25,74	21,53	96,03	7,48	101,40	25,81	1,14

APÊNDICE 7. Dados meteorológicos obtidos na Estação Automática da Estação Experimental do Arroz, do Instituto Rio Grandense do Arroz (EEA/IRGA), para o período de 22/11/2016 a 31/01/2017. Cachoeirinha-RS.

Data	Tmax (°C)	Tmin (°C)	URA (%)	Rad. (MJ m ²)	Precip. (mm)	Temp. solo (°C)	Vel. Vento (m/s)
22/11/2016	23,97	14,88	71,25	22,62	0,00	22,33	1,25
23/11/2016	26,58	12,19	65,94	30,39	0,00	22,91	1,15
24/11/2016	28,27	10,02	71,03	30,48	0,00	22,93	1,57
25/11/2016	30,94	15,95	75,34	27,22	0,00	25,18	1,66
26/11/2016	33,70	19,39	78,69	28,20	0,00	27,36	1,40
27/11/2016	31,90	21,75	87,11	14,50	14,50	26,00	1,29
28/11/2016	24,41	18,53	89,67	10,26	1,80	23,62	1,48
29/11/2016	25,34	14,77	75,91	26,77	0,00	23,14	1,40
30/11/2016	25,67	10,58	74,75	28,97	0,00	22,17	1,74
01/12/2016	27,70	14,03	71,92	27,35	0,00	23,32	1,78
02/12/2016	31,77	15,04	72,80	25,05	0,00	25,30	1,15
03/12/2016	25,52	19,48	95,35	5,01	38,40	22,71	0,96
04/12/2016	25,22	17,56	83,55	22,10	6,20	23,07	1,89
05/12/2016	28,09	13,15	78,07	30,25	0,00	23,91	1,04
06/12/2016	32,21	13,73	70,56	29,87	0,00	24,61	1,06
07/12/2016	30,68	18,03	71,31	27,42	0,00	25,95	1,49
08/12/2016	30,76	18,37	75,17	24,03	6,70	25,31	1,64
09/12/2016	24,54	16,83	71,15	23,04	0,00	23,50	2,15
10/12/2016	31,42	18,63	76,19	24,09	0,00	25,94	1,33
11/12/2016	34,36	19,58	66,48	30,01	0,00	26,88	1,87
12/12/2016	34,09	17,73	70,56	29,87	0,00	27,24	1,35
13/12/2016	33,99	19,48	72,60	26,18	0,00	27,09	1,67
14/12/2016	26,95	17,22	59,69	30,77	0,00	24,47	2,21
15/12/2016	25,42	12,82	62,63	31,59	0,00	23,94	2,09
16/12/2016	28,36	13,57	69,57	30,53	0,00	24,57	1,91
17/12/2016	32,66	17,55	68,28	29,22	0,00	26,99	1,59
18/12/2016	35,18	19,23	73,26	26,52	0,00	28,22	1,12
19/12/2016	31,12	20,80	78,71	15,15	7,50	26,09	1,29
20/12/2016	32,56	21,41	77,43	22,21	0,00	26,44	1,27
21/12/2016	34,79	20,14	79,33	26,36	0,00	27,56	1,59
22/12/2016	35,75	20,05	79,52	28,08	5,60	28,32	1,51
23/12/2016	34,72	20,96	78,22	24,63	0,00	27,50	1,31
24/12/2016	31,38	21,87	79,61	23,34	0,50	28,00	1,69
25/12/2016	34,65	20,46	77,48	29,57	0,00	28,89	2,02
26/12/2016	38,84	20,96	77,56	24,55	11,50	28,19	1,75
27/12/2016	29,82	21,70	92,55	13,37	19,70	26,66	1,17
28/12/2016	25,62	21,81	94,49	7,32	0,40	27,44	1,87
29/12/2016	28,04	21,64	95,68	8,59	6,90	28,14	1,18
30/12/2016	33,82	21,50	87,37	22,97	2,40	28,17	1,19
31/12/2016	32,66	22,81	87,96	13,61	4,00	27,25	0,94
01/01/2017	33,08	21,06	81,55	27,50	0,00	27,83	1,45
02/01/2017	31,35	23,04	85,42	14,56	0,00	27,95	1,48
03/01/2017	34,95	22,28	80,85	25,65	0,00	28,78	1,56
04/01/2017	33,72	21,42	89,26	17,39	65,30	25,82	1,98
05/01/2017	31,15	20,56	89,89	19,64	7,30	26,36	1,11
06/01/2017	27,54	21,68	82,52	18,40	0,10	26,02	2,04
07/01/2017	29,02	20,97	83,31	12,39	0,00	25,88	1,26
08/01/2017	33,53	22,24	81,65	21,88	0,00	27,99	0,72
09/01/2017	30,87	22,39	84,87	17,47	7,70	27,38	1,31
10/01/2017	31,20	21,69	88,25	21,67	31,20	26,59	1,78
11/01/2017	30,21	22,19	84,31	20,91	4,00	27,57	1,74
12/01/2017	30,36	18,73	78,87	30,47	0,00	27,26	1,72

continuação APÊNDICE 7. Dados meteorológicos obtidos na Estação Automática da Estação Experimental do Arroz, do Instituto Rio Grandense do Arroz (EEA/IRGA), para o período de 22/11/2016 a 31/01/2017. Cachoeirinha-RS.

Data	Tmax (°C)	Tmin (°C)	URA (%)	Rad. (MJ m ⁻²)	Precip. (mm)	Temp. solo (°C)	Vel. Vento (m/s)
13/01/2017	35,01	17,67	75,83	29,84	0,00	27,71	1,08
14/01/2017	31,80	21,23	87,74	19,79	10,80	27,54	1,14
15/01/2017	32,47	21,91	86,04	25,24	0,00	28,40	1,58
16/01/2017	31,78	20,41	83,43	16,52	24,90	27,41	1,36
17/01/2017	30,79	20,92	87,42	20,28	17,20	26,62	1,40
18/01/2017	30,46	22,33	80,60	28,13	0,00	28,06	1,63
19/01/2017	29,15	18,27	74,76	30,64	0,00	27,05	1,92
20/01/2017	29,91	17,07	76,99	30,01	0,00	26,78	1,81
21/01/2017	29,95	16,91	76,06	30,63	0,00	26,62	2,11
22/01/2017	31,96	19,27	78,54	28,89	0,00	27,48	1,80
23/01/2017	32,22	20,37	81,91	25,17	0,00	27,78	1,67
24/01/2017	34,04	22,00	78,16	25,43	0,00	28,92	1,16
25/01/2017	31,21	20,83	82,56	21,73	0,50	27,88	1,56
26/01/2017	27,46	19,76	81,41	18,50	1,80	26,15	1,46
27/01/2017	27,70	16,16	71,32	29,47	0,00	26,34	1,21
28/01/2017	29,83	15,64	78,63	28,36	0,00	26,73	1,55
29/01/2017	32,12	20,15	79,95	25,50	0,00	27,95	1,42
30/01/2017	34,82	21,36	75,90	22,14	0,00	28,71	1,14
31/01/2017	33,68	21,94	84,14	14,77	23,10	27,56	1,23

APÊNDICE 8. Dados meteorológicos obtidos na Estação Automática da Estação Experimental do Arroz, do Instituto Rio Grandense do Arroz (EEA/IRGA), para os anos agrícolas 2015/16 e 2016/17. Cachoeirinha-RS.

