UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Ricardo Benetti Rosso

USO DE CAMALHÕES DE BASE LARGA COMO ALTERNATIVA PARA O CULTIVO DE SOJA EM TERRAS BAIXAS

Ricardo Benetti Rosso

USO DE CAMALHÕES DE BASE LARGA COMO ALTERNATIVA PARA O CULTIVO DE SOJA EM TERRAS BAIXAS

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Engenharia Agrícola.**

Orientadora: Profa Dra Marcia Xavier Peiter

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

```
Rosso, Ricardo Benetti
Uso de camalhões de base larga como alternativa para o cultivo de soja em terras baixas / Ricardo Benetti Rosso.- 2017.
90 f.; 30 cm

Orientadora: Marcia Xavier Peiter
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2017

1. Drenagem 2. Várzea 3. Glycine max (L.) Merrill 4. Nível freático I. Peiter, Marcia Xavier II. Título.
```

© 2017

Todos os direitos autorais reservados a Ricardo Benetti Rosso. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte. E-mail: cadorosso@gmail.com

Ricardo Benetti Rosso

USO DE CAMALHÕES DE BASE LARGA COMO ALTERNATIVA PARA O CULTIVO DE SOJA EM TERRAS BAIXAS

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Engenharia Agrícola**.

Aprovado em 02 de junho de 2017:
Marcia Xavier Peiter, Dra. (UFSM) (Presidente/Orientadora)
Ana Rita Costenaro Parizi, Dra. (IFF)
Sylvio Henrique Bidel Dornelles, Dr. (UFSM)
Thomé Lovato, Dr. (UFSM)
Tonismar dos Santos Pereira, Dr. (UNIPAMPA)

Santa Maria, RS 2017

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meu pais llario Fabio Rosso e Nivia Benetti Rosso pela dedicação e esforço para a minha formação moral e profissional, e a minha namorada Luciana Cossetin pelo apoio, companheirismo e amor nesta etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que ilumina e conforta em todos os momentos difíceis.

À Universidade Federal de Santa Maria, mais especificamente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA), pela oportunidade oferecida.

À orientadora Prof.ª Marcia Xavier Peiter pela oportunidade, orientação, dedicação, amizade, confiança depositada e pelos ensinamentos e lições vivenciados durante este período.

Ao co-orientador Prof. Adroaldo Dias Robaina, pelo constante acompanhamento, amizade, paciência, ensinamentos e auxílio na realização deste e de outros trabalhos.

Aos membros da Comissão Examinadora.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida.

Aos professores do PPGEA pelos ensinamentos.

Aos meus pais, Ilario Fabio Rosso e Nivia Benetti Rosso, pelo amor, incentivo, ensinamentos e dedicação em todos os momentos de minha vida.

Aos meus irmãos João Antônio Rosso Neto e Silviana Rosso, a minha cunhada Tatiana Keller do Canto e ao meu sobrinho Vinicius Rosso pelo empenho, companheirismo e ajuda neste caminho percorrido.

À minha namorada Luciana Cossetin, pelo incentivo, amor, carinho, motivação e compreensão para que mais esta meta fosse alcançada.

Ao Prof. Alessandro Dal'col Lucio pelo auxilio e amizade durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Pesquisador Júlio José Centeno da Silva pelo auxilio e amizade durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos e colegas do Instituto Federal Catarinense – Campus Concórdia, que me auxiliaram na fase de conclusão deste trabalho.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Engenharia de Irrigação e que me auxiliaram na condução do trabalho, e aos demais amigos e colegas, que estiveram ao meu lado durante esta jornada, pelo carinho, amizade, força e presença.

Muito Obrigado!



RESUMO

USO DE CAMALHÕES DE BASE LARGA COMO ALTERNATIVA PARA O CULTIVO DE SOJA EM TERRAS BAIXAS

AUTORIA: Ricardo Benetti Rosso ORIENTADORA: Marcia Xavier Peiter

O estado do Rio Grande do Sul possui 5,4 milhões de hectares de várzeas ou terras baixas, sendo a orizicultura a sua principal atividade agrícola. Esta vem enfrentando problemas, dos quais destaca-se o controle de plantas daninhas e o elevado custo de produção. Em busca de novas alternativas, vem sendo introduzido nestas áreas a rotação de culturas, principalmente com a cultura da soja. Porém, em função das características físicas destes solos, principalmente a drenagem deficiente, estas plantas apresentam susceptibilidade ao excesso hídrico, sendo necessário o rebaixamento do nível freático, através de uma drenagem eficiente, para que a cultura alcance seu potencial produtivo. Neste sentido foi realizado um estudo com o objetivo de avaliar a viabilidade do cultivo de soja em áreas de terras baixas. utilizando diferentes técnicas de drenagem: os camalhões de base larga e drenagem superficial, para o rebaixamento do nível freático. A partir deste objetivo, foram realizados dois experimentos, no município de São João do Polêsine, RS, nas safras 2014/2015 e 2015/2016. O primeiro, nas safras de 2014/2015 e 2015/2016 utilizou diferentes técnicas de drenagem, constituído de três camalhões de base larga de diferentes dimensões e a drenagem superficial, e duas cultivares de soja, a BMX Potência RR e a TEC IRGA 6070 RR. O segundo experimento, na safra 2015/2016, utilizou 5 níveis de altura fixa do lencol freático de 0,10; 0,20; 0,30; 0,40 e 0,50 metros e duas cultivares de soja, a BMX Potência RR e a TEC IRGA 6070 RR. Nos dois experimentos, durante o desenvolvimento da cultura, foram realizadas avaliações das variáveis fenológicas, componentes de rendimento, profundidade do nível freático e obtidos os dados climatológicos. Os resultados demonstraram que as melhores produtividades foram obtidas nos camalhões de base larga de 7,5 e 15 m nas safras de 2014/2015 e 2015/2016. O índice SEW₃₀ (Soma do excesso de água) e IDS (Índice de estresse diário) demonstraram que o camalhão de base larga é mais eficiente no rebaixamento do nível freático, dentre os quais destaca-se o camalhão de base larga de 7,5 m. A profundidade do nível freático é tecnicamente viável para ser utilizada como referencial para o índice SEW₃₀. O camalhão de base larga de 7,5 m, possui viabilidade econômica em função de sua estabilidade produtiva e resultado econômico, sendo a melhor alternativa para o cultivo de soja em áreas de terras baixas.

Palavras-chave: Drenagem. Várzea. Glycine max (L.) Merrill. Nível freático.

ABSTRACT

THE USE OF BROAD BED FURROW AS AN ALTERNATIVE FOR THE SOY CULTIVATION IN LOW LANDS

AUTHOR: RICARDO BENETTI ROSSO ADVISOR: MARCIA XAVIER PEITER

The Rio Grande do Sul (RS) state has 5,4 millions of meadows hectares or low lands, being the rice cultivation its main agricultural activity. This cultivation has faced problems, wich we can highlight the weeds control and the high production cost. Looking for new alternatives, it has been introduced the cultivation rotation in these areas, mainly with the soy cultivation. However, cause of the physical characteristics of these grounds, mainly the poor drainage, the plants present susceptibility to the hydric excess. It has been necessary the water table level demotion, through an efficient drainage, so that the cultivation can reach its productive potential. In this sense, it was realized a research with the goal to evaluate the viability of the soy cultivation in low lands, using different drainage techniques: the broad bed furrow and superficial drainage for the water table level demotion. From this goal, it was performed two experiments, in São João do Polêsine city (RS), on the 2014/2015 and 2015/2016 crops. The first one, in both crops, used different drainage techniques, constituted by three broad bed furrow of different dimensions and the superficial drainage, and two soy cultivations: the BMX Potência RR and the TEC IRGA 6070 RR. The second experiment, on the 2015/2016 crop, used five levels of the water table fixed heights of 0,10; 0,20; 0,30; 0,40 and; 0,50 meters and two soy cultivation: BMX Potência RR and the TEC IRGA 6070 RR. On both experiments, during the cultivation development, it was realized evaluations of the phonological variables, yield components, water table level depth and obtained the climatological data. The results demonstrate that the best production was obtained with the 7,5 and 15 meters of broad bed furrow on the 2014/2015 and 2015/2016 crops. The SEW30 (Sum excess water) and IDS (Stress Daily Index) indexes demonstrate that the broad bed furrow is most efficient in the water table level demotion, wich can be highlighted the 7.5 meters broad bed furrow. The water table level depth is technically viable to be used as a reference for the SEW30 index. The 7,5 meters broad bed furrow has economic viability cause of its productive stability and economic result, being the best alternative for the soy cultivation in low lands areas.

Keywords: Drainage. Lowland. *Glycine max* (L.) Merrill. Groundwater level.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	.10
2 2.1 2.2	OBJETIVO OBJETIVO GERAL OBJETIVOS ESPECÍFICOS	.12
3	JUSTIFICATIVA	.13
4	HIPÓTESES	.14
5.1.3 5.1.4 5.1.5 5.1.6	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA O CULTIVO DA SOJA EM TERRAS BAIXAS Cultivares de soja Drenagem Profundidade do nível freático Água no solo Camalhões de base larga Índice de estresse diário Viabilidade econômica	.16 .17 .20 .22 .24 .25
6 6.1 6.1.1 6.2	MATERIAL E METODOS. EXPERIMENTO 1 (CAMALHÕES DE BASE LARGA E DRENAGEM SUPERFICIAL)	.33
	RESULTADOS E DISCUSSÃO PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA DA SOJA EXPERIMENTO 01 (CAMALHÕES DE BASE LARGA E DRENAGEM SUPERFICIAL) Profundidade do nível freático Matéria seca da parte aérea	.41 .44 .44
	Altura de plantasÍndice de área foliar	
	Altura de inserção da primeira vagem	
7.2.6	Componentes de produção e produtividade	.58
	Análise econômica	.64
	Massa seca da parte aérea das plantas	.65
	Altura de plantasAltura de inserção da primeira vagem	
7.3.4	Índice de área foliar	.72
7.3.5	Componentes de produção e produtividade	
8	CONCLUSÃO	.79
	REFERÊNCIAS	.80

1 INTRODUÇÃO

No atual cenário da orizicultura no estado do Rio Grande do Sul, o setor busca alternativas para tornar-se mais competitivo e rentável. Essa busca por novas opções se deve, principalmente, aos elevados custos de produção e problemas no controle de plantas daninhas na cultura do arroz irrigado. O uso de culturas alternativas em áreas de várzeas ou terras baixas, pode se tornar uma solução a este problema.

As áreas de várzeas ou terras baixas, no estado do Rio Grande do Sul ocupam cerca 5,4 milhões de hectares (GOMES; PAULETTO, 1999). Segundo o Instituto Rio Grandense do Arroz (2015 a) na safra 2014/15, o estado do Rio Grande do Sul cultivou com o cereal a área de 1.125.782 hectares. A partir destas informações restam 4,4 milhões de hectares de várzeas ou terras baixas, que podem estar sendo ocupados por vegetação nativa, pecuária no sistema extensivo e a rotação de culturas consorciadas com o arroz irrigado. Entretanto, Vedelago et al. (2012), afirmam que em torno de 3 milhões de hectares possuem condutos para a irrigação e valos de drenagem, o que é a estrutura mínima para o cultivo de arroz irrigado. Assim, de posse destas informações, pode-se considerar que ainda existem 1,875 milhões de hectares que se encontram em subutilização e que podem teoricamente ser utilizados para cultivos alternativos ao arroz irrigado.

A rotação de culturas nestas áreas enfrenta vários problemas para a sua consolidação, principalmente devido a problemas de drenagem. Segundo Dutra et al. (1995), nestes locais, ocorre a predominância de Planossolos que possuem baixa condutividade hidráulica e drenagem comprometida em virtude da existência do horizonte B impermeável. De acordo com Sá et al. (2003) estes solos com características hidromórficas apresentam umidade do solo excessiva e pequena disponibilidade de oxigênio, em virtude de eventuais flutuações do nível do lençol freático ou alagamentos temporários causados por problemas de drenagem e precipitações em grandes volumes. Sartori et al. (2015), afirmam que os solos de várzea ou de terras baixas apresentam má drenagem, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial e permeabilidade lenta ou muito lenta. Conforme Bamberg et al. (2009), os Planossolos possuem estas características físicas indesejáveis, que são as responsáveis pelos prejuízos no crescimento e desenvolvimento das culturas de terras altas. Esta condição induz à dificuldades de cultivo para culturas que demandam respiração do sistema radicular como é o caso da soja.

Segundo Gazolla-Neto et al. (2012), em solos de terras baixas, a adaptação de espécies que possuam capacidade de geração de renda ao produtor é um grande desafio. Isto se deve, principalmente, à intolerância que estas espécies apresentem ao encharcamento do solo. Tentando suprir esta lacuna, alguns genótipos de soja têm sido avaliados como alternativa para estas áreas. Segundo Thomas e Costa (2010) a cultura da soja é uma excelente alternativa, pois é originária de áreas mal drenadas da região norte da China. No entanto, segundo Faraco et al. (2016), também é importante o estabelecimento de um sistema de drenagem eficiente, sem causar prejuízos aos tratos culturais da espécie introduzida. Compartilha desta ideia Silva (2004) afirmando que, para a maioria dos solos de várzea do Rio Grande do Sul, devido à condutividade hidráulica baixa, somente por meio da melhoria da drenagem superficial se conseguirá fornecer condições favoráveis aos cultivos agrícolas de sequeiro.

Se faz necessário compreender, por outro lado, que o custo da implantação desta drenagem seja adequado à realidade do sistema produtivo no qual está inserido. De acordo com Duarte (2015), a implantação de drenagem com drenos abertos para o cultivo de cana de açúcar tem seu custo em torno de R\$ 2.000,00 ha⁻¹, e o sistema com drenos fechados para a cultura do citros alcançam valores aproximados a R\$ 8.500,00 ha⁻¹. Entretanto, deve-se considerar que estes projetos apresentados incluem a especificidade de cada cultura a ser implantada, de forma que estas possibilitem a viabilidade econômica destes cultivos. Entretanto, quando se pensa em cultivo de soja em área de terras baixas deve-se buscar alternativas mais econômicas, como por exemplo os camalhões de base larga.

Assim, o estudo de técnicas de drenagem, a partir de camalhões de base larga e drenagem superficial, são fundamentais para o desenvolvimento de culturas alternativas. No cenário agrícola atual, a soja desponta como opção mais viável em solos de terras baixas, em virtude dos benefícios que esta rotação de culturas pode proporcionar ao sistema de cultivo. Também se faz necessária uma análise econômica, que identifique quanto é viável economicamente a utilização destas técnicas de drenagem com o cultivo de soja em terras baixas. Estas informações geradas servem de suporte na tomada de decisão dos pesquisadores e técnicos, na implantação de lavouras nestas condições.

2 OBJETIVO

Os objetivos deste trabalho estão divididos em geral e específicos, os quais são apresentados a seguir.

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a viabilidade técnica e econômica do cultivo de soja em áreas de várzea, utilizando diferentes técnicas de drenagem, considerando o nível freático como referencial para a mensuração da sua eficácia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o crescimento e os componentes de produção da soja em relação à diferentes técnicas de drenagem: camalhão de base larga com diferentes espaçamentos e drenagem superficial;
- Avaliar a influência sob a profundidade do nível freático em relação às diferentes dimensões de camalhão de base larga e drenagem superficial;
- Comparar as cultivares em relação ao desempenho técnico sob cada altura de nível freático;
- Quantificar os custos de produção para o cultivo de soja em várzea, utilizando os camalhões de diferentes dimensões e identificação do impacto destes custos na receita líquida do sistema;
- Verificar a validade da utilização da profundidade do nível freático de 30 cm como referência para o índice SEW₃₀.

3 JUSTIFICATIVA

A importância da realização deste estudo tem sua sustentação em três pontos. O primeiro remete à necessidade da diversificação de cultivos em terras baixas. O contínuo cultivo de arroz traz como consequência a seleção de plantas daninhas, que vem adquirindo resistência aos herbicidas. Há necessidade da introdução de espécies, para a rotação de culturas, que beneficie a melhoria da qualidade química e biológica do solo e, consequentemente, beneficie o retorno da cultura do arroz nesta área. A participação da soja na rotação de culturas pode vir a ser muito benéfica, pois contribuiria para o aumento da sustentabilidade do sistema. Também, outro benefício pode ser destacado, como a possibilidade de controle de plantas daninhas, com herbicidas de mecanismos de ação diferentes dos utilizados na cultura do arroz.

O segundo ponto é a questão econômica, pois conforme Fiorin et al. (2009), os produtores de arroz enfrentaram diversas crises do mercado devido ao custo de produção ser superior a renda obtida na atividade. Esta instabilidade econômica, vem ocasionando a desistência ou a incapacidade de manutenção nesta atividade. A inclusão da soja tornar-se-á mais um meio de geração de renda, permitindo a manutenção da atividade agrícola e redução dos riscos da atividade rural.

O último ponto remete à facilidade de adoção que os produtores terão com as técnicas de drenagem. Conforme Silva (2004), as áreas de várzea possuem sua infraestrutura para o cultivo de arroz irrigado tais como estradas, drenos e canais de irrigação, sendo necessário apenas um aprimoramento desta. Além disso, pode-se também enumerar como vantagens o aproveitamento da mão de obra existente dentro da propriedade e a experiência da irrigação do arroz, o que facilitaria a adaptação mais rápida a estas técnicas.

4 HIPÓTESES

- O uso de camalhões proporciona melhores condições para o crescimento e produção da soja em várzea;
- A dimensão do camalhão de base larga influencia o SEW₃₀ e o IDS;
- Existe viabilidade econômica na utilização de camalhões para o cultivo de soja em várzeas.
- A profundidade do nível freático em 30 cm para o índice SEW é eficiente tecnicamente.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As áreas de terras baixas no estado do Rio Grande do Sul são tradicionalmente utilizadas para o cultivo de arroz irrigado. Conforme Missio et al. (2010), nestas áreas, o monocultivo de arroz irrigado predomina, em virtude da inospitalidade destes solos para espécies não adaptadas a ambientes alagados. Segundo Pires et al. (2002), existem poucos cultivos agrícolas que geram retorno econômico e possuem capacidade de desenvolvimento pleno nestes solos pelo fato da maioria das plantas serem mesófitas. Conforme Nascente et al. (2014), as culturas que forem escolhidas para participar da rotação devem possibilitar resultados econômicos positivos e ou a manutenção ou recuperação do ambiente.

Vernetti Junior et al. (2009) salienta que, nas áreas de terras baixas onde ininterruptamente é cultivado o arroz irrigado, a rotação de culturas possibilita além de outros benefícios, a redução do banco de sementes de plantas daninhas, em especial o arroz vermelho. Visto que no estado do Rio Grande do Sul, não se diferenciando do resto do mundo, as áreas produtivas estão sendo ameaçadas pelo incremento destas, destacando-se o o arroz vermelho (FARACO et al., 2016). De acordo com Vedelago (2014) o cultivo de arroz irrigado e a pecuária de corte são as atividades historicamente realizadas nos solos de terras baixas da metade sul.

Juntamente aos fatos acima citados, deve-se salientar a expressiva participação da orizicultura no PIB agropecuário do Rio Grande do Sul. De acordo com Favero (2015), a cadeia produtiva do arroz atualmente é responsável pela geração de mais de 200 mil postos de trabalho diretos ou indiretos. Porém, além dos já citados, problemas do monocultivo e a infestação de plantas daninhas, adicionamse as várias crises na cotação do arroz, que o setor enfrenta. Muitas vezes o agricultor não obtém o retorno econômico desta atividade, o que desencadeia vários problemas, tais como o desemprego, descapitalização, não quitação de compromissos com fornecedores e, inclusive, o abandono da atividade.

Seguindo o caminho que outros setores da agricultura já trilharam, a solução encontrada para contornar as crises das cotações dos produtos agrícolas, foi a diversificação de cultivos. A rotação de culturas poderia ser utilizada em solos de terras baixas, tornando possível a realização de uma agricultura sustentável. Conforme Rodrigues (2015), a decisão de qual a cultura a ser implementada na rotação deve considerar o fator econômico, visando a geração de renda e ou a

melhoria das condições do solo com enfoque na cultura subsequente. No atual cenário agrícola, as principais possibilidades de culturas a serem introduzidas em terras baixas são o milho e a soja.

A cultura do milho possui grande importância, pois é uma das fontes de nutrientes para a alimentação humana e animal, sendo um dos cereais mais cultivados no mundo (LABEGALINI et al., 2016). De acordo com Köpp et al. (2015), na metade sul do estado do Rio Grande do Sul, o milho possui como principal destino a utilização na alimentação animal, principalmente na bovinocultura e ovinocultura.

Entretanto, os agricultores possuem restrições ao cultivo do milho. A primeira é devido a necessidade de maquinário especifico para a realização da sua colheita. A segunda é o alto custo de produção, principalmente em virtude da utilização de sementes híbridas que possui incluso no seu preço os royalties da sua biotecnologia utilizada. Ainda, a terceira é referente à comercialização, pois nos últimos anos, a volatilidade da cotação comprometeu a rentabilidade obtida pelo produtor, a qual, em muitos casos, não permite cobrir o elevado custo de produção da lavoura.

Em virtude das restrições apresentadas sobre o milho, os agricultores atualmente vêm preferindo semear a soja em suas áreas de terras baixas. Além disso, a soja atende os requisitos mencionados para a escolha do cultivo a ser introduzido na rotação de culturas.

A soja é uma cultura de grande relevância no mundo, devido a sua importância econômica e utilização na alimentação, através da produção de farelo, farinhas, óleos, bebidas e outros produtos (OLIVEIRA et al., 2015). Conforme Souza et al. (2015), esta oleaginosa é cultivada em quase todo o território nacional. Segundo Dalchiavon e Carvalho (2012), em nosso país, a soja possui grande importância socioeconômica. Acrescenta-se ainda como vantagem o histórico recente de elevadas cotações que permitem ao agricultor alcançar excelentes rentabilidades.

5.1 O CULTIVO DA SOJA EM TERRAS BAIXAS

A Conab (2015), indica que a soja é a commodity agrícola mais cultivada atualmente no Brasil, com uma área de 32,093 milhões de hectares, destes, 5,216 milhões de hectares, são cultivados no estado do Rio Grande do Sul.

O cultivo da soja em rotação ao arroz nas últimas safras vem apresentando

forte crescimento, partindo da safra de 2009/10, com a área de 11.150 hectares, alcançando, 284.127 hectares, na safra de 2014/15 (INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ, 2015a). De acordo com Thomas e Lange (2014), o cultivo de soja vem apresentando este forte crescimento nas áreas de várzea ou terras baixas, devido a dois fatores; a utilização da rotação do arroz com a soja como instrumento para o controle de plantas daninhas e a elevada remuneração que os agricultores vêm recebendo por esta oleaginosa.

A rotação de culturas envolvendo a soja e arroz irrigado não é exclusivamente realizada no Brasil. De acordo com Griffin et al. (1988), a maior parte da área de soja no sudoeste da Louisiana, (EUA) é cultivada em rotação com arroz. Segundo Moraes et al. (2009), a rotação ou a sucessão de culturas, com o cultivo da soja é uma possível alternativa para a redução do banco de sementes de plantas daninhas. Marchezan (2016) relata que essa realidade, o controle de plantas daninhas de difícil controle e o arroz vermelho, tornou-se possível devido a disponibilidade de cultivares de soja com a tecnologia Roundup Ready.

5.1.1 Cultivares de soja

A soja é originária a partir de algumas espécies de plantas rasteiras existentes ao longo do Rio Amarelo na China (CAVALCANTE, 2012). Conforme Thomas et al. (2000), estas áreas eram consideradas alagadiças, desta forma as plantas de soja podem possuir em seus ancestrais, variabilidade genética para tolerar o excesso hídrico.

Giordano (2014) afirma que mesmo possuindo esta variabilidade genética, quando ocorrem períodos de alagamento as plantas desenvolvem alterações na sua morfologia e fisiologia, causando perdas no seu rendimento, o que demonstra que são sensíveis ao excesso hídrico. Em outras espécies também ocorrem estas alterações. Como demonstrou Pisicchio et al. (2010) avaliando a influência do alagamento em *Heliocarpus popayanensis* constataram a formação de raízes adventícias e hipertrofia das lenticelas na base do caule. Duarte et al. (2015) relatam que a inundação provoca a redução da síntese de compostos orgânicos e hormônios e em sequência, a queda das folhas mais velhas.

No Brasil o cultivo de soja começou a ganhar relevância a partir dos anos 60, iniciando pelo estado do Rio Grande do Sul, e posteriormente, avançando nos outros

estados da região sul e sudeste (ALLIPRANDINI et al., 1993). Priolli et al. (2004) referenciam vários autores, informando que desde o início do cultivo da soja no Brasil, as principais cultivares utilizadas eram de origem americana, às quais serviram de base para quase todo o melhoramento genético realizado atualmente.

Este trabalho teve seu enfoque para o desenvolvimento de cultivares para o cultivo de terras altas, a principal demanda da época, pois, nas décadas passadas as áreas de terras baixas tinham como utilização preferencial o cultivo do arroz irrigado e a pecuária. Na década de 1980, o Governo Federal incentivou a produção orizícola através do Programa Nacional para Aproveitamento de Várzeas Irrigáveis – PROVARZEAS, que possibilitou obras de drenagem e financiamento para a implantação das culturas (MINATTO et al., 2003). Conforme Collischonn (2011) este programa visava a utilização econômica das áreas de terras baixas através da drenagem e irrigação. Desta forma, o desenvolvimento de cultivares de soja adaptadas ao cultivo em terras baixas, começou a se tornar necessidade recentemente.

De acordo com Pazzin (2012), as cultivares atualmente disponíveis aos agricultores, que são indicadas para o cultivo em áreas de terras baixas, não foram desenvolvidas exclusivamente para estas áreas, isto é, elas apenas apresentaram maior tolerância que as demais. Badinelli et al. (2015) afirmam que os programas de melhoramento genético vêm buscando desenvolver cultivares que possuam tolerância ao excesso hídrico e que alcancem elevados rendimentos. Thomas e Lange (2014) acreditam que, em curto e médio prazo, as cultivares disponíveis aos agricultores, com tolerância ao excesso hídrico serão obtidas através de genótipos adaptados.

O outro aspecto que facilitou a introdução do cultivo da soja em áreas de terras baixas foi a disponibilidade de cultivares modificadas geneticamente, mais especificamente resistentes ao glifosato. Segundo SOSBAI (2012), as cultivares de soja resistentes ao herbicida glifosato (RR), permitiram um melhor controle de plantas daninhas na sucessão e rotação arroz *vs* soja em terras baixas, devido a este herbicida possuir um mecanismo de ação diferenciado dos seletivos à cultura do arroz.

Antes do agricultor iniciar o cultivo de soja em terras baixas são necessários alguns cuidados. Thomas e Lange (2014) destacam a importância da escolha da cultivar, onde devem ser observados, a tolerância ao estresse hídrico, grupo de

maturação relativa, hábito de crescimento e resistência a doenças radiculares. Conforme a Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul (2012), a recomendação é que se utilize cultivares de soja de 6.4 ≤ GMR ≤ 7.4, (Grupo de maturidade relativa) pois as GMR < 6.4 podem apresentar elevada redução da produtividade em função de estresses hídricos, e GMR ≥ 7.4, podem ter o seu período de colheita no outono, onde ocorrem precipitações mais acentuadas que ocasionariam perdas de rendimento.

Deve-se destacar também o excesso hídrico, pois as áreas de várzea são propensas à ocorrência de alagamentos ou total saturação do solo. De acordo com Neumaier et al. (2000), o excesso hídrico promove a inibição do crescimento resultando em plantas de baixa estatura, com folíolos pequenos de cor amarelado e entrenós curtos, também ocorrendo a emissão de raízes adventícias, nódulos na superfície do solo e a base da haste desenvolvendo aerênquimas.

Kuswantoro et al. (2015) avaliando a influência do alagamento, constataram o atraso no florescimento e na maturação nas plantas submetidas ao alagamento, VanToai e Beuerlein (1994), avaliando 84 cultivares de soja utilizadas nos Estados Unidos, encontraram em média, uma redução de 25% da produtividade em solo inundado em comparação ao solo não inundado. A duração do período de inundação provoca uma redução gradativa da produção de massa seca, entretanto, em períodos curtos de inundação (até 2 dias), não ocorreram diferenças significativas, mas a partir de 4 dias gradualmente ocorre a redução da produtividade (GIORDANO, 2014). Estes resultados demonstram os danos da ocorrência de alagamentos, e conforme Kuswantoro et al. (2015) podem estar vinculados a deficiências nutricionais destas plantas, que acontecem devido a morte das raízes.

Griffin et al. (1988) afirmam que a soja possui tolerância maior no período vegetativo do que no reprodutivo a longos períodos de alagamento. Corrobora Stanley et al. (1980) relatando que em diferentes estádios fenológicos as plantas apresentam maior suscetibilidade a lesões no sistema radicular, e que estas informações podem auxiliar no manejo da cultura. Indicando quais são as fases fenológicas em que a drenagem possui maior importância para a manutenção do potencial produtivo. Em complemento, VanToai e Beuerlein (1994), relatam que é possível através da seleção obter genótipos tolerantes à inundação, devido à variabilidade genética da soja. Entretanto, Sartori et al. (2015) salientam que devido

ao excesso hídrico, causador de estresse por falta de oxigênio, a planta pode ter seu desempenho agronômico comprometido.

Estes resultados nos indicam a necessidade da adoção de sistemas de drenagem eficientes. Segundo a SOSBAI (2012), a drenagem eficiente da área é o primeiro passo para o sucesso da implantação do cultivo da soja. Conforme Thomas e Lange (2014), para a garantia da semeadura na época preferencial, principalmente em primaveras chuvosas, se faz necessário iniciar os preparativos para a próxima safra, como a drenagem, ainda no outono que antecede o cultivo.

5.1.2 Drenagem

A drenagem agrícola pode ser definida por um conjunto de técnicas e práticas visando a retirada do excesso de água do solo, principalmente para a garantia da aeração das raízes (DUARTE et al., 2015). Desta forma, o adequado crescimento das plantas está intimamente relacionado ao teor de água presente no solo, pois ele permitirá o fornecimento dos nutrientes para as raízes das plantas. Entretanto, a presença de elevados teores de água no solo pode comprometer o desenvolvimento das plantas (KANWAR et al., 1998). Segundo Andrade e Reis (1992), o sucesso no cultivo nestas áreas é dependente da eliminação do excesso de água, para que não ocorram inibição e redução da produtividade dos cultivos implantados. Assim, podese verificar uma alternativa viável à ampliação das áreas para agricultura.

Os solos presentes nas áreas de terras baixas encaixam-se perfeitamente nas descrições acima citadas. Além disso, conforme Silva et al. (2007), estes solos apresentam grandes limitações agrícolas pelo alagamento, restringindo seu uso apenas para o cultivo de arroz. Parfitt et al. (2013) descrevem as áreas de terras baixas como um terreno plano, porém o microrrelevo é formado de depressões e pontos altos. Alves et al. (2002) relatam que estes solos apresentam compactação e drenagem deficiente, que combinados com a ocorrência de elevadas precipitações podem acarretar hipóxia, na qual caracteriza-se pela baixa pressão de oxigênio e a anoxia é a ausência de oxigênio no sistema radicular.

A ocorrência do fenômeno da hipóxia ou anoxia está relacionada diretamente com a profundidade do nível freático. De acordo com Santos et al. (2014) as precipitações em excesso saturam o solo e têm como consequência a elevação do nível freático.

A ocorrência da elevação do nível freático para próximo da superfície do solo desencadeará o comprometimento do desenvolvimento do sistema radicular que tornará a planta mais passível do surgimento de doenças e deficiência nutricional (KANWAR et al., 1998). Também corroboram Gazola et al. (2014) afirmando que em sementes de milho submetidas a hipoxia ocorreram a redução da germinação e a elevação do percentual de plantas anormais.

Conforme Borela et al. (2013), as plantas de soja quando se encontram em ambientes sob total alagamento utilizam exclusivamente para sobreviver o metabolismo anaeróbico. Corroboram com a ideia, Zenzen et al. (2007), afirmando que a zona radicular em condição de baixa aeração induz a redução do crescimento radicular e da nodulação, o que acarreta na redução do potencial produtivo. Duarte et al. (2015) relatam que o nível de oxigênio do solo não saturado se aproxima de 30%, e a partir do início da inundação eles reduzem até chegar a 4% em 72 horas.

Maekawa et al. (2011), citam vários autores relatando que em vários países, tais como Japão e EUA, o alagamento ou a inundação é um grave problema que reduz a produtividade da soja. Este problema é muito importante, pois no Japão 80% da produção de soja, é advinda de áreas de cultivo de arroz, que são drenadas temporariamente, sendo a sua velocidade de drenagem muito lenta (MATSUO et al., 2013). Segundo Bajgain et al. (2015) a cultura da soja que é cultivada em condições de excesso hídrico não alcança seu potencial produtivo. Oosterhuis et al. (1990) encontraram diminuição de 17-43% e 50-56% no rendimento, nas fases vegetativa e reprodutiva, respectivamente, devido ao efeito do alagamento do solo. Estes resultados demonstram que a aeração do solo é importante para a manutenção do potencial produtivo das culturas.

De acordo com Kuswantoro et al. (2015), as plantas possuem estratégias para manter a sua sobrevivência, como por exemplo, a soja em condições de excesso hídrico forma novas raízes adventícias acima da superfície do solo, que substituem a raiz principal, que pode ter sido danificada devido ao alagamento. Entretanto, conforme Beutler et al. (2014) o impacto causado na produtividade em decorrência de alagamentos e o período que a planta permanece sob o excesso hídrico deve ser estudado de forma que consiga a melhor forma para o manejo da cultura.

Uma das possíveis alternativas é a utilização de camalhões. Giacomelli et al. (2016) relatam que em cultivos de milho em planossolos na região central do Rio

Grande do Sul as maiores produtividades foram observadas em áreas cuja a semeadura foi realizada sob camalhões. O sucesso dessas técnicas de acordo Duarte et al. (2015), ocorre devido ao rebaixamento da profundidade do nível freático. Assim, é possível o restabelecimento dos níveis satisfatórios de oxigênio no sistema radicular da planta, após a ocorrência de uma chuva que ocasione excesso hídrico.

5.1.3 Profundidade do nível freático

A adoção de um critério para o monitoramento de um sistema de drenagem é de suma importância. Pois é a partir dele que será possível escolher o melhor método e mensurar sua influência no potencial produtivo.

Segundo Mingoti (2006), em locais com alta umidade na superfície do solo, poucas espécies encontram condições adequadas ao seu desenvolvimento, sendo necessário para a grande maioria das espécies um controle do nível freático. A elevação da superfície do nível freático compromete a cultura de maneira indireta, através da redução da aeração, manutenção de condições impróprias de umidade e propriedades térmicas, que são prejudiciais ao desenvolvimento das plantas. Conforme Bernardo et al. (2006), quando próximo à superfície do solo, o nível freático, permite que as plantas estejam vulneráveis ao déficit hídrico e ao tombamento, pois elas apresentam um sistema radicular superficial e pouco desenvolvido.

Mingoti et al. (2006), em seu trabalho, referenciam alguns autores afirmando que a sensibilidade ao encharcamento das culturas do trigo, feijão, pimentão e milho que foram testadas em experimentos no Brasil, revelaram que o encharcamento é mais prejudicial à produção no período de floração. Linkemer et al. (1998) afirmam que a ocorrência de inundação nos estádios fenológicos V2 e R1 causam as maiores reduções na produtividade, em comparação aos outros estádios.

Calheiros et al. (2000) consideram que o manejo do nível freático deve ser o melhor método para a adequação de áreas baixas para o cultivo de plantas mesófitas, o que garantiria a sobrevivência destas plantas em situações de eventos climáticos como precipitações tornando o ambiente hipoxico. Segundo Andrade e Reis (1992) as oscilações do nível freático não são significativas nas produtividades das culturas. Entretanto, Bernardo et al. (2006) relatam que o nível freático deve ser

mantido a uma determinada profundidade, para que a água chegue até as plantas através da ascensão capilar, e que se obtenha a melhor combinação do teor de umidade do solo, e aeração na zona radicular.

Conforme Pizzaro (1978 apud ROSA, 1993) a escolha da profundidade ótima do nível freático é aquela que não interfere negativamente na produtividade, porém, na maior parte dos casos, é inviável economicamente o seu uso, sendo preferível, que as produtividades sejam inferiores, mas que os custos com a drenagem não sejam tão impactantes, obtendo-se assim maior relação custo/benefício.

Shimada et al. (2012) afirmam também que o controle da profundidade do lençol freático existe, porém, os agricultores não conseguem realiza-lo de forma satisfatória. Em busca de um meio de elevar as produtividades, Fujimori (2007 apud SHIMADA et al., 2012) desenvolveu o "farm-oriented enhancing aquatic system (FOEAS)" que consiste num sistema de controle do nível freático, que o mantém na profundidade de 20 a 30 cm da superfície do solo.

De acordo com De Rossi et al. (2015), para a cultura da canola, a profundidade do nível freático recomendada é de 40 a 60 cm, sendo que em profundidades menores que 20 cm as plantas apresentaram dificuldades no seu desenvolvimento. Na cultura da ervilha, conforme Garcia et al. (2010), a sua máxima eficiência técnica na produção de vagens foi apresentada na profundidade do nível freático de 38 cm.

De acordo com Ayars et al. (2006) vários autores realizaram estudos em lisímetros com o intuito de encontrar uma altura fixa de nível freático. Os valores encontrados oscilaram entre 0,3 a 2,1 metros de profundidade. Sendo que estes utilizaram lisímetros com amostras de solo coletadas de maneira indeformada e deformada.

Andrade e Reis (1992), em seu trabalho, mencionam vários autores, que correlacionam a aeração no solo com a altura do nível freático. Nestes, há o relato de que a faixa ideal para os cultivos é de 30 a 80 cm, e que os valores que ultrapassam estas alturas ocasionam problemas de baixa aeração e estresse hídrico. Ayars et al. (2006) afirmam que a água disponível em profundidades rasas do lençol freático, é uma alternativa para a irrigação suplementar, pois aproveitaria a água proveniente da drenagem, atendendo a demanda da cultura. Neste sentido, o monitoramento dos teores de água do solo é de grande importância para

mensurarmos a quantidade de água disponível e se ela está a contribuir ou prejudicar o desenvolvimento da cultura.

5.1.4 Água no solo

Na agricultura um dos fatores determinantes para o bom desenvolvimento de uma cultura é a água no solo. Segundo Franke e Dorfman (2000), a cultura da soja demanda de 450 a 850 mm para alcançar seu potencial produtivo, considerando as variações durante o desenvolvimento da cultura. Esta demanda hídrica é extraída do solo, o qual armazena água provinda da precipitação, lençol freático e do movimento lateral ou ascendente da água no solo (ALBUQUERQUE; DURÃES, 2008).

Porém, durante o período de cultivo da soja acontecem variações no conteúdo de água armazenada no solo, como consequência, ocorre o déficit e o excesso hídrico. Segundo Barzotto et al. (2016), dentro de certos limites, a cultura da soja apresenta capacidade de se adaptar a períodos de déficit hídrico, sendo o estádio reprodutivo da cultura o mais sensível à deficiência de água, com impactos negativos sobre a produtividade de grãos. De acordo com Thomas e Costa (1996), existe a ocorrência de déficit hídrico em algumas safras, no estado do Rio Grande do Sul, que prejudicam a cultura da soja, principalmente, no estádio reprodutivo e como consequência reduzem a sua produtividade.

Entretanto, nestas áreas de terras baixas além do déficit hídrico, ocorre também o excesso hídrico. Estes períodos críticos podem ser mais intensos se acontecerem durante o fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS). Na sua fase positiva El Niño que causa precipitações acima da média histórica e a na fase negativa La Niña em que as precipitações ocorrem abaixo da média histórica (CHECHI; SANCHES, 2012).

O excesso hídrico nestes solos ocorre em virtude da drenagem deficiente, baixa profundidade efetiva, baixa porosidade, baixa velocidade de infiltração e a condutividade hidráulica muito baixa no horizonte B (GOMES et al., 1999). Destes parâmetros, destacamos a condutividade hidráulica, pois de acordo com Bernardo et al. (2006), a condutividade hidráulica consiste na capacidade do solo de permitir o fluxo de água. A condutividade hidráulica muita baixa, relatada acima, adicionados a elevados volumes precipitados, conforme Faria e Folegatti (1999), resultam em

elevação do lençol freático, no qual se aproximam da superfície permanecendo por longos períodos.

Esta condição de baixo fornecimento de oxigênio ao sistema radicular da planta prejudica o desenvolvimento de plantas mesófitas, em áreas de terras baixas (OLIVEIRA et al., 2003). De acordo com Bacanamwo et al. (1999), as plantas que dependem da fixação de nitrogênio, em especial as leguminosas apresentam estresse à inundação, em virtude do processo de fixação biológica necessitar de oxigênio para a manutenção de suas atividades. Ahmed et al. (2013) citam em sua revisão que na cultura da soja o excesso hídrico acarreta a ocorrência da clorose, desfolha, necrose, redução de rendimento e morte da planta. Para estas situações, Neumaier et al. (2000) recomendam a utilização de cultivares adaptadas a estas áreas, e a realização da drenagem de forma eficiente.

5.1.5 Camalhões de base larga

A implementação de um sistema de drenagem em áreas de terras baixas para o cultivo de soja é grande desafio. Neste caso necessita-se conciliar a eficiência técnica com a viabilidade econômica, que pode ser avaliada através de uma relação denominada custo-benefício. De acordo com Duarte et al. (2015) o custo de implantação de sistema de drenagem com drenos fechados pode ultrapassar R\$ 8.500,00 por hectare. Valor que economicamente inviabilizaria a realização do projeto. Entretanto, existem opções mais econômicas e que podem apresentar eficiência no controle do nível freático, em áreas de terras baixas.

Na região central do estado do Rio Grande do Sul, foi realizado um trabalho avaliando a altura do nível freático na cultura do milho. Este trabalho indicou que o sistema de camalhões apresentou maiores profundidades do que a área sem camalhões, sendo que a utilização de camalhões seria uma alternativa para a obtenção de rendimentos mais próximos dos potenciais produtivos das culturas (FIORIN et al., 2009). Também utilizando a cultura do milho na Índia, Jate et al. (2013) em seu trabalho, utilizando o sistema de camalhões, obtiveram os melhores rendimentos de grãos e a produtividade da água, em um solo franco arenoso. Giacomelli et al. (2016) obtiveram na cultura do milho em planossolos, as maiores produtividades utilizando os camalhões, alcançando 7,69 Mg ha⁻¹, enquanto no

sistematizado usando disco duplo foi obtido 5,91 Mg ha⁻¹, na região central do estado do Rio Grande do Sul.

Silva (2005) colabora afirmando que o uso de camalhões, com o objetivo de amenizar o problema da má drenagem, possibilita a utilização destas áreas de várzea para cultivos de sequeiro em especial o milho, soja, sorgo, trigo e pastagens, em rotação e ou sucessão ao arroz irrigado. O sistema de camalhões é adaptado a áreas planas e com desníveis uniformes. Sua estrutura consiste na existência de uma depressão na junção dos camalhões. Esta depressão funciona como dreno de parcela, podendo ser realizada com o uso de arados aiveca, arados de disco ou plaina. A largura dos camalhões deve ser em acordo com o espaçamento utilizado para as culturas, de modo que beneficie as operações na lavoura e facilite a drenagem da área (SILVA et al., 2006).

De acordo com Bernardo et al. (2006) a orientação do serviço de Conservação de Solo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, permite que os camalhões possam ser construídos com até 300 m de comprimento, com altura no ponto central do camalhão podendo chegar 0,15 a 0,50 m, e a sua largura é determinada conforme o tipo de solo. Recomendam-se largura de 15 a 30 m para solos de drenagem média, largura de 10 a 20 m para drenagem lenta; e a largura de 6 a 12 m para drenagem muito lenta.

Segundo Silva (2006) a estimativa do custo da construção dos camalhões, não apresenta diferenças quando comparada ao custo de preparo do solo convencional do arroz irrigado, que se constitui da lavração, gradagem, rolagem e aplainamento. Considerando os custos de produção, estimados pelo Instituto Rio Grandense do Arroz (2015b), na safra 2014/15, o preparo do solo, que consiste no desmonte de taipas, discagem e aplainamento, equivale a 4,58% do custo total, correspondendo a R\$268,70.ha⁻¹. Entretanto deve-se destacar que para o retorno ao cultivo de arroz, se faz necessário a reestruturação da área. Ele é composto pelo desmonte dos camalhões e o aplainamento do solo. Sendo que este custo da construção do camalhão e reestruturação da área é diluído nas safras realizadas nesta área no período, até o retorno para o cultivo do arroz.

O sistema com drenos rasos e paralelos, (valetamento) é outra alternativa para a drenagem de várzeas, seu uso é indicado em áreas muito planas e ou sistematizadas sem declividade. A realização desta operação é recomendada após a semeadura (SILVA et al., 2008).

Conforme Bernardo et al. (2006), este sistema se constitui de valos paralelos abertos na direção perpendicular à declividade da área, possibilitando captar o escoamento superficial. A profundidade dos valos abertos é de 15 a 50 cm, e o espaçamento entre os drenos é determinado conforme a quantidade e localização das depressões da área.

Desta forma, conforme Tavares et al. (2015), o objetivo dessas técnicas é oferecer as condições para o pleno desenvolvimento das culturas. Entretanto faz-se necessário a utilização de parâmetros ou índices para que possamos compreender qual é a melhor alternativa a ser utilizada pelo agricultor.

5.1.6 Índice de estresse diário

A utilização das técnicas de drenagem deve buscar a maior eficiência na produção, mas para isso é necessário um indicador que determine a viabilidade da sua aplicação. Nesse sentido a determinação do índice de estresse diário (IDS), pode indicar qual é o dano causado pela oscilação do nível freático à produtividade das culturas implantadas nos métodos de drenagem (COSTA et al., 2008).

Conforme Ferreira (2001), as elevações do lençol freático influenciam na resposta das culturas, às quais podem ser avaliadas através do IDS. Segundo Guerra Filho (2012) vários autores conceituam IDS como um método de mensurar o nível de estresse do qual a planta é submetida em diferentes estádios de desenvolvimento. Segundo Mingotti et al. (2006), ele pode ser utilizado para a irrigação e a drenagem, servindo como parâmetro para a avaliação da deficiência e do excesso de água no solo. Mas para o cálculo do IDS é necessário anteriormente obter-se o coeficiente de sensibilidade modificado (SC_{mod}) e a Soma de Excesso de Água (SEW).

Segundo Flecha (2004), o coeficiente de sensibilidade da cultura modificado (SC_{mod}), caracteriza a sensibilidade da cultura a danos causados pelo excesso hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento.

Veloso (2006) definiu o SEW como a soma do valor excedente de água no solo. Costa et al. (2008) definiu SEW₃₀ como o somatório das profundidades do nível freático inferiores a 30 centímetros, que é considerado o nível crítico, visto que em função desta profundidade as plantas apresentam prejuízos ao seu desenvolvimento e redução da produtividade. De acordo com Hiler (1969), através deste índice é

possível mensurar o estresse ao qual uma cultura está submetido em diferentes estádios de desenvolvimento. Herzog et al. (2016) afirma que o SEW₃₀ é o meio unir as informações da profundidade do nível freático com a duração do período de inundação que a planta foi exposta. Posteriormente, de posse destas informações, é possível avaliar qual o método de drenagem que apresenta maior viabilidade econômica.

5.1.7 Viabilidade econômica

A atividade agrícola tem como um de seus objetivos a produção de algum produto, que servirá para a manutenção das necessidades dos indivíduos a ela ligados. Conforme Finger e Waquil (2013), a atividade agrícola apresenta particularidades, pois a sua produção se dá através de um processo biológico que está à mercê de riscos climáticos e fitossanitários. Além disto, destaca-se o risco no momento da comercialização. Todos estes fatores podem, individualmente ou associados, influenciar o ganho econômico resultante da atividade.

De acordo com Millar (1978), o ganho econômico da implantação do sistema de drenagem é determinado a partir dos prejuízos que seriam causados se não houvesse o sistema. Entretanto, se faz necessário mensurar o custo de produção para determinar se houve ou não ganho econômico. De acordo com Menegatti e de Barros (2007), o cálculo do custo de produção deve considerar os diferentes níveis tecnológicos abrangendo todas as condições de cultivo, sendo que estes custos podem ser classificados como fixos ou variáveis.

Companhia Nacional de Abastecimento (2010) conceitua os custos fixos, como aqueles em que as quantidades de insumos ou itens não são alteradas em função do aumento ou decréscimo da quantidade de produto, os custos variáveis são aqueles em que as quantidades de insumos ou itens acompanham a alteração do volume de produção.

Segundo Rinaldi et al. (2005), o método para elaborar os custos de produção deve considerar os diversos pacotes tecnológicos disponíveis e o manejo cultural utilizado no processo produtivo. Conforme Reis (2007), a utilização dos custos de produção elaborados pela Companhia Nacional de Abastecimento pode ser usada em análises econômicas simplificadas, para verificação se a atividade está gerando resultados positivos ou negativos considerando o capital investido.

Conforme Richetti (2014), o custo de produção auxiliará o produtor a planejar futuras ações, buscando maximizar o lucro, devendo para tanto maximizar a produtividade e minimizar os custos de produção.

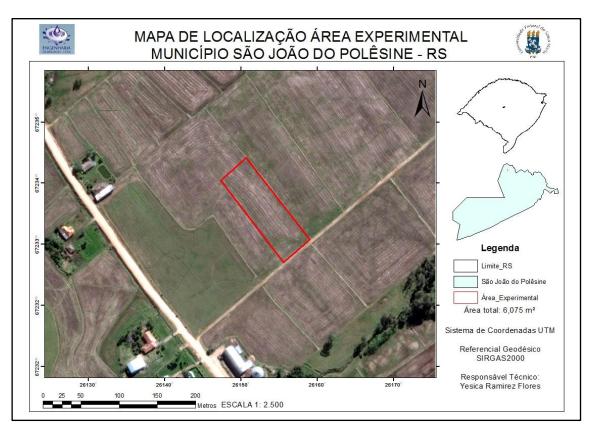
De acordo com Vivan et al. (2015), o custo médio de produção da soja para o período de 1961 a 2010 na região de Santiago, RS é de R\$ 979,00 ha⁻¹, (cotação dólar \$1,812) alcançando neste período o valor máximo de R\$ 1.642,00 ha⁻¹. Entretanto Hirakuri (2011), na região de Passo Fundo, RS para a safra de 2011/12, estimou o custo de produção da soja em R\$ 1.366,71 ha⁻¹, (cotação dólar \$1,771) considerando a cotação da saca de soja a R\$ 45,00.

Porém, estes custos de produção de soja acima citados são advindos de áreas de cultivo consolidado em terras altas. Considerando a metodologia proposta pela Companhia Nacional de Abastecimento (2010) são necessárias algumas adequações para a determinação do custo de produção da soja em terras baixas. Estas adequações compreendem a correção da fertilidade, preparo do solo para a semeadura (construção dos camalhões de base larga ou drenagem superficial), a mão de obra utilizada para a drenagem e a do solo. Assim devem-se classificar estes itens, de forma a determinar quais compõem o custo fixo ou variável, e determinar o período da amortização para a realização da análise econômica.

6 MATERIAL E METODOS

A área experimental onde foram realizados os estudos, localiza-se no município de São João do Polêsine, cujas coordenadas são 29° 35' 52" S, 53° 27' 50" W e altitude de 53m, aproximadamente. O mapa da localização encontra-se na Figura 1. O solo pertence à unidade de mapeamento Vacacaí (KLAMT, 1997) e é classificado como Planossolo. O clima da região possui classe "Cfa", com um clima subtropical chuvoso, com chuvas bem distribuídas ao ano, sem estações secas e úmidas bem definidas, segundo classificação de Köppen (MORENO, 1961).

Figura 1 – Mapa de localização do estudo no município de São João do Polêsine, RS



Fonte: (Flores, 2017).

O tema proposto foi abordado a partir de um estudo experimental, em que foram conduzidos experimentos durante as safras agrícolas de 2014/15 e 2015/2016. A área experimental de estudo, anteriormente a implantação, foi ocupada pelo cultivo do arroz durante o período de novembro a abril, permanecendo o restante do ano sob pousio. Esta área foi sistematizada em 1981, através do

Programa Nacional para Aproveitamento de Várzeas Irrigáveis – PROVARZEAS. O local encontrava-se em sistema de cultivo já consolidado, nas condições edafoclimáticas da região da Depressão Central.

Na área experimental, previamente à semeadura, foi realizada uma caracterização físico-hídrica do solo nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm. Na qual, conforme, Embrapa (1997) foram realizadas as seguintes determinações: densidade do solo, curva característica de água no solo, textura, granulometria do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade. As amostras de solo foram analisadas no Laboratório de Física de Solo da Universidade Federal de Santa Maria.

As informações sobre a distribuição granulométrica, classe textural e densidade do solo são demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Características físicas do solo Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico, unidade de mapeamento Vacacaí, em diferentes camadas de solo no local do experimento, São João do Polêsine, RS

	Distribuiç	ão Granulon	nétrica %	_ Classe textural	Densidade do		
Profundidade (cm)	Areia	Argila Silt		_ Classe textural	solo (g.cm⁻³)		
0-20	42,22	13,67	44,11	Franco	1,63		
20-40	29,82	18,22	51,96	Franco Siltoso	1,61		
40-60	30,71	19,24	50,06	Franco Siltoso	1,59		
60-80	23,73	26,82	49,45	Franco	1,49		

Na Tabela 2 são apresentados a macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo, e complementando a caracterização, a curva de retenção de água no solo na Tabela 3.

Tabela 2 – Valores médios da Macroporosidade, Microporosidade e Porosidade total do solo em diferentes camadas de solo no local do experimento, São João do Polêsine, RS

Profundidade (cm)	Macroporosidade (m³. m⁻³)	Microporosidade (m³. m ⁻³)	Porosidade total (m³. m⁻³)		
0-20	6,74	37,81	44,55		
20-40	5,65	38,09	43,74		
40-60	4,05	40,48	44,52		
60-80	5,65	43,24	48,89		

Os dados de umidade volumétrica nas tensões de 0, -1, -6, -10 e -100 kPa foram obtidos em mesa de tensão no laboratório de física do solo da Universidade Federal de Santa Maria, e as tensões de -500 e -1500 kPa foram obtidos conforme metodologia descrita em Urach (2007).

Tabela 3 – Valores médios da umidade volumétrica em diferentes camadas de solo no local do experimento, em função do potencial matricial da água no solo, São João do Polêsine, RS

	Umidade volumétrica (m³.m⁻³)									
Profundidade	0 kPa	-1 kPa	-6 kPa	-10 kPa	-100 kPa	-500 kPa	-1500 kPa			
0-20	0,446	0,392	0,378	0,372	0,330	0,266*	0,188*			
20-40	0,437	0,390	0,381	0,377	0,342	0,268*	0,189*			
40-60	0,446	0,412	0,405	0,403	0,374	0,271*	0,191*			
60-80	0,489	0,438	0,432	0,430	0,385	0,286*	0,198*			

Além da coleta das amostras para a caracterização física, o solo foi amostrado na camada de 0-20 cm para a caracterização química, que está apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 – Características químicas do solo Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico, unidade de mapeamento Vacacaí, São João do Polêsine, RS

cmol. dm ⁻³							mg. dm ⁻³					
Ca	Mg	Al	H+AI			CTC pH 7,0		P-Mehlich	Índice SMP	•		
6,78	2,18	0,6	3,1	9,8	80	12,3	1,5	10,9	6,3	4,7	6,1	74,6

Esta análise foi realizada anteriormente a implantação do experimento, logo após a realização colheita do arroz na área, no início de abril de 2014. De forma que permitisse a realização de correção da acidez do solo através da aplicação de calcário no início de maio de 2014. De acordo com a Tabela 4, que apresenta a caracterização química do solo, demonstrou a necessidade de correção devido ao valor do índice SMP de 6,3 indicar uma necessidade de aplicação 1,8 ton. ha⁻¹ de calcário PRNT 100%.

Não foram realizadas coletadas em separado nos locais de aterro e corte, pois o local foi sistematizado há 33 anos do início deste estudo. Além disso, Sartori et al. (2016) afirmam que quinze anos após a sistematização não foram encontraram diferenças em locais de aterro e corte.

6.1 EXPERIMENTO 1 (CAMALHÕES DE BASE LARGA E DRENAGEM SUPERFICIAL)

No primeiro experimento, foi utilizado o delineamento experimental blocos ao acaso em esquema bifatorial, faixa para o fator A e faixa para o fator D, distribuídos em quatro blocos, totalizando trinta e duas unidades experimentais. O fator A se constituiu de diferentes técnicas de drenagem, e o fator D das cultivares de soja.

As diferentes técnicas de drenagem foram constituídas por camalhões de base larga e drenagem superficial. Os camalhões de base larga possuíam a sua largura de 7,5, 15,0 e 22,5 metros. A largura dos camalhões de base larga deve considerar valores múltiplos da largura da barra de corte da colheita (informação verbal)¹. No estabelecimento dos espaçamentos dos camalhões, como consequência da largura dos camalhões, foram geradas 3 diferentes declividades de 6,6; 3,2 e 1,8% respectivamente. O espaçamento entre os camalhões, que corresponde aos drenos, foi de 0,5 metros. Os camalhões foram construídos com o auxílio de um gradeador de disco conforme a Figura 2.

A drenagem superficial foi dimensionada com a largura de 22,5 metros entre os valos de drenagem. A declividade máxima do solo, encontrada neste tratamento, foi de 0,1%, mantendo a características originais da sistematização do solo.

_

Visita técnica por Julio José Centeno da Silva na Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, abril de 2014.

A diferença de nível do solo dentro da parcela e a base do canal foi de 0,2 m de profundidade e 0,4 metros de espaçamento. Na segunda safra 2015/16 foi incluído um tratamento padrão, realizado em um canteiro de 6 m², com controle de nível freático. Nele o nível freático foi mantido constante na altura de 0,3 m abaixo da superfície do solo. A construção do canteiro será abordada no experimento 2, a localização dos canteiros foi conjuntamente à área experimental.

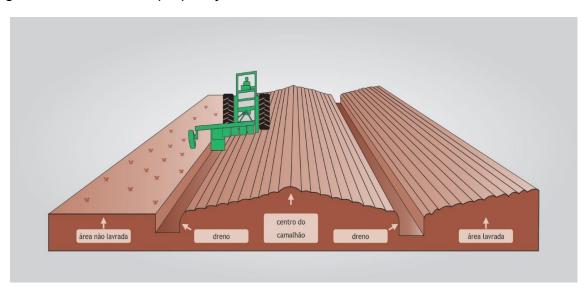


Figura 2 – Detalhes da preparação de camalhões

Fonte: (SMEDEMA; RYCROFT, 1983; BEAUCHAMP, 1952; SEVENHUIJSEN, 1994 apud SILVA et al., 2006) Adaptado pelo autor.

As cultivares utilizadas foram a BMX Potência RR e a TEC IRGA 6070 RR. A densidade populacional foi ajustada logo após o estabelecimento da cultura, em 18 plantas.m⁻², na safra 2014/15 e 24 plantas. m⁻² na safra 2015/16. A BMX Potência RR caracteriza-se por possuir porte alto, grupo de maturação 6.7, e hábito de crescimento indeterminado. A cultivar TEC IRGA 6070 RR caracterizada pela estatura da planta média, grupo de maturação 6.3 e hábito de crescimento indeterminado.

O manejo da fertilidade do solo e os tratamentos fitossanitários respeitaram as recomendações técnicas para a cultura da soja. Antes da instalação do experimento foi realizada a correção da acidez do solo para o pH 6,0 recomendado para o cultivo convencional de soja.

Durante a condução do experimento foram realizadas avaliações diárias, semanais e em seis estádios fenológicos. Diariamente foi avaliada a altura do nível

freático nos poços de observação de cada unidade amostral e estimada a evapotranspiração diária da cultura através da equação Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998).

A altura do nível freático foi monitorada a partir de um ponto de observação, alocado no centro de cada unidade experimental. As observações foram realizadas diariamente, por meio de uma régua graduada com uma boia na sua extremidade.

Durante o desenvolvimento da cultura em cinco estádios fenológicos (V3, V9, R1, R3 e R5), (FEHR; CAVINESS, 1977), foram avaliados o índice de área foliar, massa seca das plantas, altura de inserção da primeira vagem e altura das plantas. A determinação do índice de área foliar foi realizada com o equipamento medidor de área foliar portátil CI-203, da CID Bio-Science. O índice foi calculado a partir de 3 plantas coletadas de forma aleatória dentro da unidade experimental.

Concomitantemente, com as avaliações, foi determinado o índice de estresse diário (IDS), o coeficiente de sensibilidade da cultura (SC_{mod}) e o índice SEW_{30} , a partir da massa seca de plantas e das medidas de altura do nível freático do período.

Estes índices serviram para determinar qual é a técnica mais eficiente para a drenagem. O critério de eficiência considerou a altura do nível do lençol freático que não influencie negativamente a produtividade. Seu objetivo é mensurar a resposta da produtividade, causada pela oscilação do nível freático entre a superfície do solo e a profundidade determinada.

A partir destas observações foi calculado o índice de estresse diário (IDS), proposto por Hiler (1969) apresentado na equação 1.

$$IDS = \sum_{i=1}^{n} (SC_i SEW_{30})$$
 (1)

Onde n, é o número de estágios de crescimento, SC é o coeficiente de sensibilidade da cultura, e o índice SEW₃₀ é o somatório das alturas diárias do lençol freático acima da profundidade de 30 centímetros.

O coeficiente de sensibilidade da cultura modificado (SC_{mod}), foi determinado para os cinco estádios de crescimento a partir da equação 2.

$$SC_{mod} = (Y_p - Y_i)/Y_p$$
 (2)

Onde, Y_p significa a produção de massa seca da parte aérea das plantas no nível freático padrão (30 cm), e Y_i a produção de massa seca da parte aérea das plantas cultivadas nos camalhões de base larga. O índice SEW₃₀ é a soma do valor excedente de água no solo, apresentada na equação 3.

$$SEW_{30} = \sum_{i=1}^{n} (30 - X_i)$$
 (3)

Onde, n corresponde ao número de dias em que o nível freático encontra-se acima de 30 cm durante o ciclo da cultura, e X_i a profundidade do nível freático a partir da superfície do solo no dia i, em cm, sendo que os valores negativos não serão considerados.

Posteriormente no estádio fenológico R8, foi realizada a colheita do experimento, sendo avaliados os seguintes componentes de produção da cultura:, número de vagens. planta⁻¹, número de grãos. planta⁻¹, peso de mil grãos, produtividade de grãos (com umidade corrigida para 14%), altura da inserção da primeira vagem, massa seca das plantas e comprimento da planta. Estes componentes foram determinados a partir de 15 plantas coletadas aleatoriamente na unidade experimental.

As unidades experimentais possuíam 15 m² de área útil para a determinação da produtividade, que abrangeu toda a largura do camalhão e ou drenagem superficial. Esta produtividade foi corrigida para 14% de água.

O número de vagens. planta⁻¹ e o número de grãos. planta⁻¹, foram determinados manualmente após a colheita. O peso de mil grãos e a massa seca de grãos foram determinados após a contagem dos grãos e a secagem em estufa por 72 horas a 65°C.

Os resultados foram submetidos ao teste das pressuposições (normalidade e homogeneidade das variâncias) e aqueles dados que não cumpriram as pressuposições foram transformados pela equação $yt=\sqrt{y}$ com o propósito de normalizar a sua distribuição. Os mesmos foram submetidos à análise de variância e teste de comparação de médias Scott-Knott em função da natureza qualitativa dos tratamentos aplicados (cultivares de soja e técnicas de drenagem). Para tal

procedimento utilizou-se o software de análise estatística Sisvar (FERREIRA, 2011). A partir dos dados de produtividade obtidos foi possível realizar a análise econômica da utilização do sistema.

6.1.1 Análise econômica

A análise econômica da viabilidade da utilização do cultivo de soja em camalhões de base larga foi determinada pela relação beneficio/custo de cada tratamento. A determinação do custo de produção seguiu o método proposto por CONAB (2010), com algumas adequações. Estas adequações se fazem necessárias por não se considerarem os custos da drenagem.

Assim, neste estudo o custo de produção da soja foi composto do custo fixo e variável, podendo ser relacionado ou não à drenagem, além da renda dos fatores, na qual estão inclusas a remuneração esperada sobre o capital fixo e a terra. A composição dos custos pode ser representada pela equação 4:

$$C_P = R_F + C_{NRD} + C_{RD} \tag{4}$$

Onde R_F é a renda de fatores, (R\$ ha⁻¹), C_{NRD} são os custos não relacionados à drenagem (R\$ ha⁻¹), C_{RD} são os custos relacionados à drenagem, (R\$ ha⁻¹), C_P é o custo produção da soja (R\$ ha⁻¹).

O item RF que corresponde à renda de fatores, é constituído pela renumeração esperada sobre o capital fixo e da terra.

Os custos não relacionados à drenagem (C_{NRD}) são compostos da seguinte forma apresentada pela seguinte equação 5:

$$C_{NRD} = A + B + C + D + E \tag{5}$$

Onde A, B e C são os custos variáveis, e D e E são os custos fixos. Nos custos variáveis, A representa despesas de custeio de lavoura (R\$ ha⁻¹), que englobam a operação com máquinas e implementos, mão de obra e encargos sociais e trabalhistas, sementes, fertilizantes, agroquímicos, despesas com irrigação, despesas administrativas e outros itens, B corresponde as despesas pós-colheita (R\$ ha⁻¹), que correspondem ao seguro agrícola, transporte externo, assistência

técnica e extensão rural, armazenagem, despesas administrativas e outros itens, C representa as despesas financeiras (R\$ ha⁻¹), referentes aos juros. Nos custos fixos, D representa as depreciações e exaustão (R\$ ha⁻¹), que são as depreciações de benfeitorias, instalações, máquinas, implementos e exaustão de cultivo, E corresponde aos outros custos fixos (R\$ ha⁻¹), que incluem a mão de obra e encargos sociais e trabalhistas, e seguro do capital fixo.

Os custos relacionados à drenagem (C_{RD}) são compostos da seguinte forma apresentada pela seguinte equação 6:

$$C_{RD} = C_V + C_F \tag{6}$$

Onde o CV são os custos variáveis (R\$ ha⁻¹), referentes a mão de obra e encargos sociais, operações com máquinas e implementos (manutenção do sistema de drenagem), juros e outros itens. O item CF corresponde aos custos fixos (R\$ ha⁻¹), que corresponde a construção do sistema de drenagem amortizado durante o período, mão de obra e encargos sociais e trabalhistas, e outros itens.

A construção e o desmonte dos camalhões de base larga, acima descrito, foi amortizada em duas safras agrícolas. Segundo Silva (2006) a estimativa do custo da construção dos camalhões, não apresenta diferenças quando comparada ao custo de preparo do solo convencional do arroz irrigado, que constitui-se da lavração, gradagem, rolagem e aplainamento. Adicionalmente, inclui-se o custo de desmonte destes camalhões de base, para o retorno do cultivo do arroz irrigado, assim foram utilizados o custo da lavração, gradagem, rolagem e aplainamento. Considerando os custos de produção, estimados pelo Instituto Rio Grandense do Arroz (2015b), na safra 2014/15, o preparo do solo, que consiste no desmonte de taipas, discagem e aplainamento, equivale a 4,58% do custo total de uma lavoura de arroz, correspondendo a R\$ 268,70 ha⁻¹.

Após a realização do cálculo do custo de produção foi necessário realizar a correção da produtividade obtida. É necessário esta correção, em virtude da determinação da produtividade ser realizada em uma área completamente ocupada pelas plantas, sendo necessário contabilizar a redução da produtividade em função das áreas não cultivadas. Isso se deve ao fato que nos canais, em cada camalhão de base larga, não existe a presença de plantas, o que acarreta em redução da

produtividade. Para isso se faz necessário determinar o percentual de área cultivada.

O percentual da área cultivada tem a função de mensurar o percentual de área cultivada real. Para isso considera a largura e o espaçamento entre camalhões de base larga. A equação 7 que determina o percentual da área cultivada é apresentada a seguir.

$$P_{ac} = 100 - (100 \cdot E_c) / L_c$$
 (7)

Onde o E_c é o espaçamento entre camalhões de base larga (m), o L_c é a largura dos camalhões de base larga (m) e o P_{ac} corresponde ao percentual da área cultivada, (%).

A partir da determinação do custo de produção da soja e do percentual de área cultivada é possível determinar a receita líquida ou benefício líquido da cultura, que é apresentado na equação 8. O preço de venda do produto será calculado utilizando a média da cotação da soja para o mês de maio de cada safra.

$$RL = (Y \cdot P_{AC} \cdot P_{P}) - C_{T}$$
 (8)

Onde o Y é a produtividade (kg ha⁻¹), P_{AC} que corresponde ao percentual da área cultivada (%), o P_P que é o preço de venda do produto (R\$ kg⁻¹), o C_P que é o custo de produção da soja (R\$ ha⁻¹), e o RL que é a receita líquida (R\$ ha⁻¹).

6.2 EXPERIMENTO 2 (PROFUNDIDADE DE NÍVEL FREÁTICO PERMANENTE)

No segundo experimento as unidades experimentais foram constituídas por 4 níveis de altura fixa do lençol freático e 2 cultivares de soja. O delineamento experimental blocos ao acaso em esquema bifatorial, totalizando vinte e quatro parcelas. O fator A foi constituído das alturas do nível do lençol freático em relação à superfície de 0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50 e 0,60 metros. O fator D foi constituído das cultivares BMX Potência RR, e a TEC IRGA 6070 RR. A densidade populacional foi ajustada logo após o estabelecimento da cultura, em 24 plantas. m⁻². A unidade experimental foi constituída de um canteiro de 6 m². O controle do nível freático foi realizado utilizando o sistema de subirrigação com lençol freático constante, por

meio de um canal contornando o canteiro. Ele manteve a profundidade superior à profundidade desejada, sendo o nível da água no interior do valo controlado através de bóia de caixa de água. A unidade experimental é apresentada na Figura 3.

A escolha destas alturas do nível do lençol freático foi com a intenção de reproduzir a camada de solo não saturada, que vai existir transversalmente, ao longo do perfil dos tratamentos utilizados no primeiro experimento.





As avaliações durante o desenvolvimento serão nos mesmos momentos do experimento 1. Nos estádios fenológicos (V3, V9, R1, R3 e R5), (FEHR; CAVINESS, 1977) foram avaliados o índice de área foliar, comprimento de plantas, diâmetro do caule e altura das plantas. No estádio R8, no momento da colheita foram avaliados os componentes de produção: número de vagens, número de grãos, peso de mil grãos e a massa seca das plantas.

Os resultados foram submetidos ao teste das pressuposições (normalidade e homogeneidade das variâncias) e aqueles dados que não cumpriram as pressuposições foram transformados pela equação $yt = \sqrt{y}$ com o propósito de normalizar a sua distribuição. Os mesmos foram submetidos à análise de variância e teste de comparação de médias Scott-Knott em função da natureza qualitativa dos tratamentos aplicados (cultivares de soja e profundidades de nível freático). Para tal procedimento utilizou-se o software de análise estatística Sisvar (FERREIRA, 2011).

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo tem como intuito apresentar os resultados obtidos neste estudo, nas safras de 2014/15 e 2015/16, os mesmos serão comparados e discutidos com trabalhos científicos nacionais e internacionais. Estes trabalhos abordam estudos realizados com ênfase em alagamento, controle de nível freático, microcamalhões e camalhões de base larga.

Os resultados serão apresentados de acordo com a metodologia proposta, abordando inicialmente a precipitação e a evapotranspiração da cultura da soja, profundidade do nível freático, índice SEW₃₀, SC_{mod}, IDS nas safras de 2014/15 e 2015/16. Posteriormente, o Experimento 1 apresentará o índice de área foliar, massa seca da parte aérea das plantas, altura de inserção da primeira vagem, altura das plantas, componentes de produção, produtividade e análise econômica das diferentes técnicas de drenagem nas safras de 2014/15 e 2015/16.

Enquanto que no item Experimento 2, serão apresentados os resultados de índice de área foliar, altura de inserção da primeira vagem, altura das plantas, massa seca da parte aérea das plantas, componentes de produção e produtividade obtidos sob diferentes profundidades permanentes de nível freático na safra 2015/16.

A partir desta breve orientação de como se desenvolverá a apresentação dos resultados, passamos ao primeiro item mencionado, a precipitação e evapotranspiração da cultura da soja.

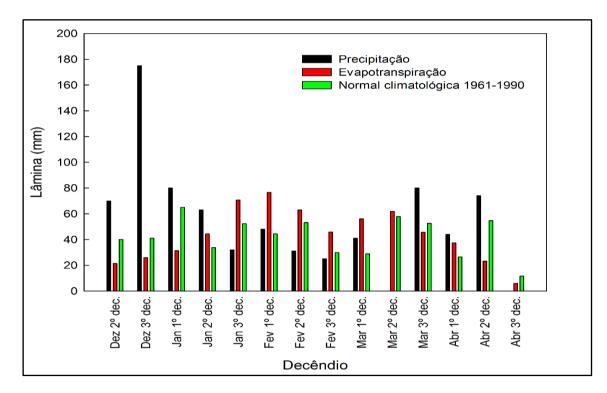
7.1 PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA DA SOJA

O conhecimento sobre a precipitação, evapotranspiração e a normal climatológica são de grande importância. A precipitação, é a fonte de água, um dos principais insumos para as culturas. Porém, a distribuição de água no solo pode contribuir positivamente ou negativamente no desenvolvimento das plantas. Além disso é possível comparar estes valores de precipitação com a normal climatológica do período de 1961-1990. Devido a isto, durante a realização do estudo foram registradas a sua ocorrência.

Na safra 2014/15 foram registradas precipitações com um volume acumulado de 763 mm, durante o período que a cultura estava implantada no campo. Sendo a

normal climatológica deste período correspondente ao valor de 591,6 mm. Porém observa-se na Figura 4, a maior concentração deste volume até o segundo decêndio de janeiro, inclusive ultrapassando os valores da evapotranspiração e da normal climatológica. A partir do terceiro decêndio de janeiro até o segundo decêndio de março, a precipitação foi inferior à evapotranspiração da soja e da normal climatológica. Posteriormente a precipitação supera novamente a evapotranspiração da soja e a normal climatológica.

Figura 4 – Precipitação, Evapotranspiração da cultura da soja e Normal climatológica 1961-1990, na safra de 2014/15, São João do Polêsine, RS

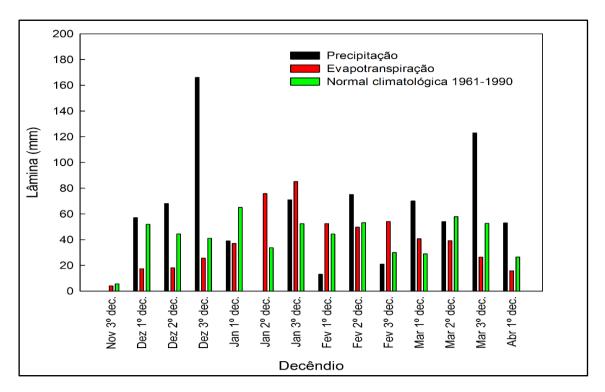


A evapotranspiração da cultura da soja, durante a safra 2014/15 foi de 604,2 mm, volume este, inferior à precipitação. Porém, como já foi apresentado, ocorreu um período a partir do terceiro decêndio de janeiro até o segundo decêndio de março em que a precipitação é inferior à evapotranspiração. O resultado desta situação será apresentado no decorrer deste capítulo.

Na safra 2015/16 foram registrados um volume de 810 mm, que é muito superior à normal climatológica, que é de 587,2 mm, para o período de desenvolvimento da cultura, conforme é apresentado na Figura 5.

A normal climatológica é inferior a precipitação até o terceiro decêndio de dezembro. De todo o período de desenvolvimento da cultura, apenas em cinco decêndios a precipitação é superada pela normal climatológica. Eles aconteceram a partir do primeiro decêndio de janeiro até a segundo decêndio de janeiro, ocorrendo novamente esta situação no primeiro e terceiro decêndio de fevereiro e segundo decêndio de março.

Figura 5 – Precipitação, Evapotranspiração da cultura da soja e Normal climatológica 1961-1990, na safra de 2015/16, São João do Polêsine, RS



Na fase inicial do desenvolvimento da planta observa-se que a partir do primeiro decêndio de dezembro até o primeiro decêndio de janeiro, a precipitação foi superior a evapotranspiração. Posteriormente ocorre um período em que a evapotranspiração é superior à precipitação no período compreendido entre o segundo decêndio de janeiro e o primeiro decêndio de fevereiro. Mas, neste período o terceiro decêndio de janeiro apresenta um volume maior que a normal climatológica, porém não sendo suficiente para suprir a evapotranspiração.

A partir da fase fenológica R1 (segundo decêndio de fevereiro) até o momento da colheita (primeiro decêndio de abril) a precipitação foi inferior à evapotranspiração, com exceção de uma ocorrência (terceiro decêndio de fevereiro). A evapotranspiração acumulada da safra 2015/16, foi de 539,3 mm, quantidade

inferior a precipitação acumulada no período. Mas sua distribuição foi mais uniforme, como foi relatado anteriormente, sendo que foi o que contribui para um melhor suprimento hídrico para a cultura. Além disso, deve-se destacar o nível freático que foi influenciado devido a distribuição da precipitação.

7.2 EXPERIMENTO 01 (CAMALHÕES DE BASE LARGA E DRENAGEM SUPERFICIAL)

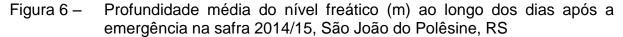
7.2.1 Profundidade do nível freático

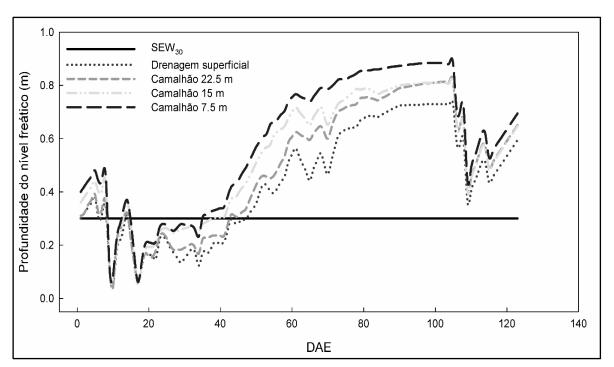
Nos solos de terras baixas como foi apresentado na revisão bibliográfica, a presença de nível freático próximo a superfície do solo é prejudicial ao desenvolvimento das plantas. Em virtude deste fato foram monitorados a profundidade do nível freático nas safras 2014/15 e 2015/16. Na Figura 6, são apresentados os resultados obtidos na safra 2014/15, nela se observa o diferente comportamento da profundidade do nível freático dos métodos de drenagem, e conjuntamente na figura foi adicionado o índice SEW₃₀. Este índice foi utilizado com o intuito de definir um referencial para indicar se está ocorrendo estresse ao desenvolvimento da planta. A partir dele foi possível avaliar intensidade com a qual ocorre o estresse, bem como a sua duração. Estas informações referentes a intensidade em determinados estádios fenológicos podem ser observadas na Tabela 5, bem como o total acumulado durante todo o seu desenvolvimento.

Analisando conjuntamente a Figura 6 e a Tabela 5, pode-se observar que a maior intensidade e duração do índice SEW₃₀ foi na fase inicial até o estádio fenológico V3, onde o acumulado para este período alcançou o número 357,9 pontos no método de drenagem superficial, decrescendo gradativamente até o camalhão de base larga de 7,5 m, com 172,7 pontos. Estes elevados valores de SEW₃₀ conforme Ahmed et al. (2013) podem ser considerados como períodos de estresse, pois ocorre a saturação da porção de solo em que se encontram o sistema radicular das plantas.

Diante do exposto pode-se constatar a eficiência da utilização dos camalhões de base larga em relação ao índice SEW₃₀, mas destaca-se o desempenho apresentado pelo camalhão de base larga de 7,5m. Este comportamento se repete no segundo período entre as fases fenológicas V3 e V9, sendo que a drenagem superficial apresenta um total de 125,8 pontos, seguido do camalhão de base larga

de 22,5 m, alcançando 68,4 pontos. Isto equivale a 54 % do estresse na qual as plantas na drenagem superficial foram submetidas. Além disso, quando comparado ao melhor método de drenagem para este período, o camalhão de base larga de 7,5m, que apresentou 13,4 pontos, este valor equivale a somente 10,65% do estresse submetido. Nos quatro períodos posteriores, ocorre a existência de estresse indicado pelo índice, em três períodos na drenagem superficial e somente um período para o camalhão de base larga de 22,5 m. Assim, conforme a metodologia do índice, os camalhões de base larga de 15,0 e 7,5 m, não apresentaram nenhum estresse as plantas nos quatro últimos períodos em que foram avaliados, ou, em outras palavras, a profundidade do nível freático, a partir do estádio fenológico V9, não prejudicou o desenvolvimento pleno das plantas. Conforme Kuswantoro et al. (2015), a fase fenológica que se encontra a planta e período exposto ao excesso hídrico definem o nível de tolerância, além das características do cultivar semeada.





Considerando os valores do índice SEW₃₀ acumulados durante todo o período de desenvolvimento das plantas, constata-se que para a safra 2014/15 a eficácia dos camalhões de base larga, na manutenção da profundidade do nível freático abaixo dos 30 cm, quando comparados com a drenagem superficial. Os camalhões

de base larga apresentaram valores equivalentes a 64,65% para o camalhão de base larga de 22,5 m, para o camalhão de base larga de 15 m foi obtido 42,82% e no camalhão de base larga de 7,5 m apresentou 37,11% do estresse ocorrido na drenagem superficial.

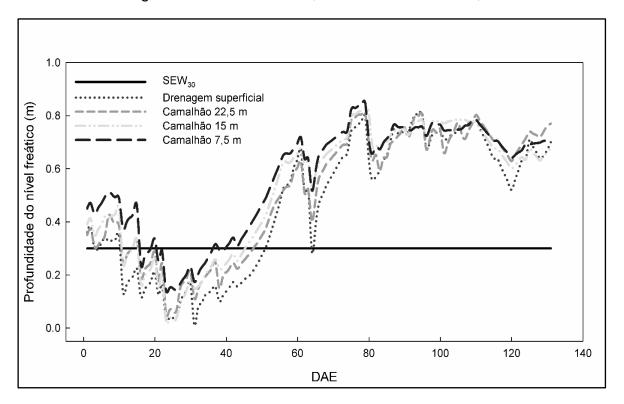
Tabela 5 – Valores médios do índice SEW₃₀ nos estádios fenológicos em função das diferentes técnicas de drenagem, na safra 2014/15, São João do Polêsine, RS

Tratamentos	V3	V9	R1	R3	R5	R8	Acumulado
Drenagem sup.	357,9	125,8	4,7	0,0	0,3	12,7	501,4
C. B. L. 22,5 m	252,6	68,4	3,2	0,0	0,0	0,0	324,2
C. B. L 15 m	191,5	23,2	0,0	0,0	0,0	0,0	214,7
C. B. L 7,5 m	172,7	13,4	0,0	0,0	0,0	0,0	186,1

Assim, em conjunto com as informações de acúmulo de massa seca da parte aérea da planta que está a ser apresentado mais à frente no texto, será possível visualizar o prejuízo ocorrido ao desenvolvimento das plantas.

Na safra 2015/16, conforme mencionado acima, foi avaliado o valor da profundidade do nível freático que é apresentado na Figura 7, posteriormente foram calculados os índices SEW₃₀, SC_{mod} e IDS.

Figura 7 – Profundidade média do nível freático (m) ao longo dos dias após a emergência na safra 2015/16, São João do Polêsine, RS



Assim como ocorreu na safra 2014/15, foram registradas elevadas precipitações nos primeiros decêndios, fato que culminou na elevação do nível freático do solo nos períodos iniciais, alcançando elevados valores de SEW₃₀, conforme demonstra a Tabela 6. Além disso é possível observar que todos os tratamentos apresentaram profundidade do nível freático abaixo de 30 cm. Entretanto a intensidade e a duração foram diferentes. Assim, novamente os camalhões de base larga demonstraram a sua eficiência de rebaixamento da profundidade do nível freático. Destaca-se que os camalhões de base larga expuseram suas plantas ao estresse, mas sua influência sob o desenvolvimento será mensurada no IDS.

Tabela 6 – Valores médios do índice SEW₃₀ nos estádios fenológicos em função das diferentes técnicas de drenagem, na safra 2015/16, São João do Polêsine, RS

Tratamentos	V3	V9	R1	R3	R5	R8	Acumulado
Drenagem sup.	297,9	222,5	72,8	9,8	2,7	17,5	623,2
C. B. L. 22,5 m	255,0	186,6	54,5	2,5	0,6	22,2	521,4
C. B. L. 15 m	272,0	129,4	16,7	0	0	8	426,1
C. B. L. 7,5 m	153,3	82,6	13,9	0	0	0	249,8

Comparando separadamente os períodos de avaliação, inicialmente na avaliação no estádio fenológico V3, os camalhões apresentaram valores percentuais de 85,59; 91,30, e 51,46% do SEW₃₀, respectivamente para os camalhões de base larga de 22,5; 15 e 7,5 m.

A fim de enriquecer esta discussão analisar-se-á conjuntamente as Tabelas 7 e 8, que apresentam o SC_{mod} e o IDS. Ainda, na primeira avaliação do estádio fenológico V3, é possível visualizar que o camalhão de base larga de 22,5 m apresentou o maior coeficiente de sensibilidade na massa seca da parte aérea, mas o índice de estresse diário foi superior na drenagem superficial, seguido pelo camalhão de base larga de 15,0 m.

Este resultado é fruto do SEW₃₀ elevado que foi apresentado na Tabela 6. Contudo o camalhão de base larga de 7,5 m apresentou os menores valores de SEW₃₀, SC_{mod} e IDS, demonstrando a sua eficiência técnica. Esta eficiência, em rebaixar o nível freático é de grande importância. Conforme Carpiski et al. (2013), o nível freático do solo rebaixado proporcionou melhores condições de crescimento para a cultura do crambe.

Tabela 7 – Valores médios do coeficiente de sensibilidade da cultura nos estádios fenológicos em função das diferentes técnicas de drenagem, na safra 2015/16, São João do Polêsine, RS

Tratamento	V3	V9	R1	R3	R5	R8	Média
Drenagem sup.	0,321	0,261	0,116	0,067	0,119	0,121	0,167
C.B. L. 22,5 m	0,324	0,272	0,034	0,041	0,100	0,086	0,143
C. B. L. 15 m	0,264	0,226	0,000	0,009	0,104	0,115	0,119
C. B. L. 7,5 m	0,273	0,091	0,017	0,000	0,048	0,054	0,080

Situação semelhante ocorre na avaliação do segundo período, compreendida entre os estádios fenológicos V3 a V9. Os valores de SEW₃₀ são decrescentes a partir da drenagem superficial, sendo que os camalhões apresentaram valores percentuais de 83,86; 58,15 e 37,12% respectivamente para os camalhões de base larga de 22,5; 15 e 7,5 m.

O coeficiente de sensibilidade da massa seca da parte aérea apresentou comportamento semelhante a primeira avaliação, onde o camalhão de base larga de 22,5 m foi superior. O índice de estresse diário foi superior na drenagem superficial, logo em seguida, 43,8 pontos está o camalhão de base larga de 22,5 m, valor este observado em função do elevado coeficiente de sensibilidade, comparado aos demais. Os dois camalhões de base larga restantes apresentaram índices em decréscimo.

Do terceiro ao quinto período de avaliação que compreende os estádios fenológicos R1 ao R5, observou-se a ocorrência de valores de SEW₃₀ em algumas parcelas (Drenagem superficial e camalhão de base larga de 22,5 m). Observou-se também que o coeficiente de sensibilidade foi mais moderado nestas mesmas parcelas. Estes valores de SEW₃₀ e IDS são muito inferiores aos apresentados anteriormente, indicando que nestes períodos a influência da profundidade do nível freático foi moderada na drenagem superficial, fraca no camalhão de base larga de 22,5 m e inexistente nos camalhões de base larga de 15 e 7,5 m. Complementando, Griffin et al. (1988) afirmam que a ocorrência de inundações sequenciais na fase de enchimento de grãos são mais prejudiciais do que a ocorrência de uma inundação na fase de florescimento.

Tabela 8 – Valores médios do IDS obtidos a partir da massa seca da parte aérea nos estádios fenológicos em função das diferentes técnicas de drenagem, na safra 2015/16, São João do Polêsine, RS

Tratamento	V3	V9	R1	R3	R5	R8	Acumulado
Drenagem sup.	92,146	59,094	10,872	1,090	0,426	2,922	166,550
C. B. L. 22,5 m	63,653	53,767	2,579	0,246	0,089	2,368	122,701
C. B. L. 15 m	72,458	33,788	0,000	0,000	0,000	0,687	106,932
C. B. L. 7,5 m	43,166	6,248	0,000	0,000	0,000	0,000	49,414

No último período, que compreende o estádio fenológico R5 até o R8, em algumas parcelas foram observados a ocorrência de valores de SEW₃₀, e o coeficiente de sensibilidade foi moderado em todos os tratamentos. Mas o IDS foi somente observado na drenagem superficial e nos camalhões de base larga de 22,5 e 15m. O camalhão de base larga de 7,5 m não apresentou valor de IDS em função de não possuir nenhum valor de SEW₃₀.

Considerando os valores acumulados durante todo o desenvolvimento das plantas, os valores de SEW₃₀ atingiram o valor máximo de 623,2 na drenagem superficial. Os demais métodos apresentaram percentuais em decréscimo. O camalhão de base larga de 22,5 m atingiu um percentual de 83,66% em relação a drenagem superficial, seguido pelo camalhão de base larga de 15,0 m com 68,37% e finalizando com o camalhão de base larga de 7,5m que apresentou 40,08% do valor de SEW₃₀ observado na drenagem superficial. O coeficiente de sensibilidade também apresentou comportamento em decréscimo, que é apresentado na Tabela 6, iniciando com o valor superior na drenagem superficial, reduzindo-se até o camalhão de base larga de 7,5 m.

O IDS demonstrou a eficácia dos camalhões de base larga. Importante diferenciar as respostas dos diferentes tipos de camalhões. O camalhão de base larga de 22,5 m foi inferior aos demais, sendo o camalhão de base larga de 7,5 m o que apresentou o menor IDS. Corrobora, Garcia et al. (2010), relatando que no cultivo da ervilha, o acréscimo dos valores do IDS, ocasionou a redução linear da altura de planta, do peso médio de vagens por planta e do número médio de vagens por planta. Entretanto, este índice está somente correlacionado com a profundidade do nível freático. Fatores externos, como por exemplo o ataque de insetos e pragas não foi mensurado por esta metodologia proposta.

Enfim, pode-se considerar que nas duas safras o camalhão de base larga de 7,5 m demonstrou ser o mais eficiente na função de rebaixar a profundidade do nível freático. Esta técnica possibilitou condições para o melhor desenvolvimento das plantas nos períodos em que o nível freático encontrava-se próximo a superfície. Desta forma estas informações ainda contribuirão para a discussão dos próximos resultados a serem apresentados, em especial ao índice de área foliar e massa seca da parte aérea.

7.2.2 Matéria seca da parte aérea

Em busca de uma melhor compreensão dos efeitos da profundidade do nível freático no desenvolvimento das plantas foram analisadas a massa seca da parte aérea, altura de plantas e o índice de área foliar em seis estádios fenológicos. Assim foi possível demonstrar qual a técnica de drenagem mais eficiente na sua função de proporcionar as melhores condições para o desenvolvimento da planta e qual a cultivar mais adaptada a este sistema de produção.

O primeiro item a ser apresentado é a massa seca da parte área, na qual seus resultados são apresentados na Tabela 9. Nos cinco períodos iniciais do desenvolvimento não ocorreu diferença significativa entre as técnicas de drenagem e as cultivares.

Tabela 9 – Massa seca da parte aérea da planta (g. planta⁻¹) em diferentes estádios fenológicos em função das técnicas de drenagem e cultivares de soja, na safra 2014/15, São João do Polêsine, RS

Tratamento	V3		V9		R1		R3		R5		R8	
Drenagem sup.	0,68	а	6,13	а	7,52	а	12,03	а	21,45	а	18,28	С
C. B. L. 22,5 m	0,81	а	7,75	а	9,75	а	17,89	а	23,34	а	22,62	b
C. B. L. 15	1,02	а	7,54	а	18,67	а	25,31	а	32,16	а	24,2	b
C. B. L. 7,5	1,07	а	7,81	а	14,67	а	22,15	а	25,49	а	31,22	а
CV.	20,55	*	12,11	*	37,15	*	22,49	*	15,5	*	7,76	*
BMX. Potência RR	0,94	а	7,44	а	12,68	а	21,55	а	26,49	а	26,36	а
TEC IRGA 6070 RR	0,85	а	7,17	а	12,62	а	17,14	а	24,73	а	21,8	а
CV.	9,0	*	15,54	*	15,22	*	15,9	*	15,9	*	9,55	*
Média geral	0,85		7,31		12,65		19,34		25,61		24,08	

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. * Dados transformados.

Entretanto, na última avaliação, no momento da colheita, ocorreu diferença estatística e, através do teste de Scott-Knott, foi possível discriminar que o tratamento superior foi camalhão de base larga de 7,5 m. Os tratamentos 15,0 e 22,5 m apresentaram desempenho intermediário, comparado aos demais e o tratamento drenagem superficial foi inferior às demais técnicas de drenagem.

Em relação às cultivares, nesta safra não ocorreu diferença estatística em nenhuma das avaliações realizadas para a massa seca da parte aérea. Este resultado nos aponta que as duas cultivares obtiveram o mesmo desempenho nas condições em que foi realizado o estudo.

Na sequência do texto serão apresentados os resultados obtidos na safra 2015/16, de massa seca da parte aérea que estão expostos na Tabela 10. Na primeira avaliação do estádio fenológico em V3, ocorre diferença estatística indicando que os camalhões de base larga de 15,0 e 7,5m acumularam maior massa seca da parte aérea, em comparação ao camalhão de base larga 22,5 m e a drenagem superficial. Este comportamento está intimamente ligado ao IDS apresentado em cada técnica, indicando que ocorre influência da profundidade do nível freático nesta avaliação. Mukhtar et al. (1990) relatam que avaliando o efeito da inundação em plantas de milho, a ocorrência da inundação do solo na fase inicial causou a redução do peso da massa seca em comparação com outros tratamentos realizados.

Tabela 10 – Massa seca da parte aérea da planta (g. planta⁻¹) em diferentes estádios fenológicos em função das técnicas de drenagem e cultivares de soja, na safra 2015/16, São João do Polêsine, RS

Tratamento	V3	V9	R1	R3	R5	R8
Drenagem sup.	0,767 a	3,346 a	10,008 a	22,696 a	26,8 a	25,61 b
C. B. L. 22,5 m	0,825 a	3,79 a	12,699 a	23,074 a	27,01 a	29,51 a
C. B. L. 15 m	0,975 b	4,05 a	13,644 a	25,117 a	26,98 a	31,99 a
C. B. L. 7,5 m	1,047 b	4,959 b	16,435 a	25,386 a	29,69 a	33,06 a
CV.	18,28	16,83	26,34 *	23,96 *	6,58 *	11,41
BMX. Potência RR	0,866 a	4,193 a	13,351 a	23,698 a	25,94 a	30,17 a
TEC IRGA 6070 RR	0,941 a	3,879 a	13,042 a	24,438 a	29,29 a	29,92 a
CV.	23,66	19,19	12,31 *	21,8 *	10,29	3,90
Média geral	0,904	4,036	13,197	24,068	27,62	30,04

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. * Dados transformados.

Diferentemente das técnicas, não houve diferença estatística entre as duas cultivares na primeira avaliação. Esta situação também ocorreu na segunda avaliação, no estádio fenológico V9, indicando que as duas cultivares são estatisticamente semelhantes. Nas técnicas de drenagem, ocorreu a diferença estatística e o teste de Scott-Knott indica que somente o camalhão de base larga de 7,5 m, se diferencia das demais técnicas de drenagem. Isto ocorre devido ao IDS baixo desta técnica, em contrapartida os demais tratamentos apresentaram valores de IDS mais elevados nesta avaliação.

Posteriormente, para as avaliações nos estádios fenológicos R1, R3 e R5 não houve diferença estatística entre as técnicas de drenagem e as duas cultivares. Esse fato é explicado devido aos baixos valores de IDS apresentados nestas avaliações.

Na última avaliação, no estádio fenológico R8, ocorre a diferença estatística entre as técnicas de drenagem. O teste de Scott-Knott indica que a drenagem superficial é inferior aos camalhões de base larga. Este resultado é produto do elevado IDS apresentado pela drenagem superficial e, mesmo os valores de IDS em decréscimo, partindo do camalhão de base larga de 22,5 m, em direção ao de 7,5 m, eles conseguiram ser estatisticamente iguais. Resultado semelhante foi obtido por Lanza et al. (2013), afirmando que a tolerância ao alagamento é influenciada pela intensidade, duração do estresse e tipo de solo. Destes três fatores mencionados, a intensidade e a duração estão diretamente relacionadas com o IDS. Também Koslowski (1997 apud MEDRI et al., 2012), relata que o excesso hídrico induz as plantas a redução do crescimento de caules e raízes e senescência foliar, entre outros sintomas.

Tratando das cultivares, elas demonstraram durante todo o desenvolvimento que não são estatisticamente diferentes em seu desempenho. Dessa forma pode-se afirmar que as duas cultivares, TEC IRGA 6070 RR e BMX POTÊNCIA RR são equivalentes em relação à massa seca da parte aérea.

Pode-se levantar algumas considerações, na massa seca da parte aérea, na avaliação realizada no momento da colheita. A safra 2014/15 apresentou um valor médio abaixo da safra 2015/16, fato este que pode ser explicado em virtude do período de escassez hídrica durante o seu desenvolvimento, que ocorreu a partir do terceiro decêndio de janeiro até o segundo decêndio de março. Mas quando analisase as técnicas de drenagem nas duas safras, o teste de Scott-Knott classificou como

inferior a técnica de drenagem superficial, e houve discordância na classificação entre as safras sobre a o camalhão de base larga de 15,0 e 22,5 m. Porém existe unanimidade estatística nas duas safras em relação ao camalhão de base larga de 7,5 m. Este resultado concorda com Skags et al. (1994), que afirmam que o objetivo do sistema de drenagem é proporcionar a não ocorrência de excesso hídrico no sistema radicular da planta e possibilitar condições para a realização de tratos culturais desde o semeadura até a colheita.

Os valores de SEW₃₀ apresentados anteriormente auxiliam na interpretação destas informações, pois demonstram que os maiores valores se encontram na drenagem superficial, que é a pior alternativa. Posteriormente, em terceiro lugar, o camalhão de base larga de 22,5 m que é superior a drenagem superficial, mas inferior aos demais camalhões de base larga. Em segundo lugar o camalhão de base larga de 15 m e o melhor desempenho no camalhão de base larga de 7,5 m. Este mesmo ranking foi apresentado pelo IDS que demonstrou que o camalhão de base larga de 7,5 m, permitiu que as plantas fossem expostas a apenas 29,67% do estresse diário total em comparação com a drenagem superficial. Em seguida, as consequências destes elevados valores de SEW₃₀ e IDS serão perceptíveis na produtividade e nos componentes de produção das plantas.

7.2.3 Altura de plantas

Na avaliação da altura das plantas que se encontra na Tabela 11, é possível observar o desempenho superior dos camalhões de base larga de 15 e 7,5m nos estádios fenológicos V9 e R3. Na avaliação do estádio fenológico R5, os três camalhões de base larga foram superiores à drenagem superficial. No momento da colheita, no estádio fenológico R8, o camalhão de base larga de 7,5m foi superior aos demais. Na posição intermediária encontraram-se os camalhões de base larga de 15 e 22,5 m, e a drenagem superficial foi inferior aos demais tratamentos.

Tabela 11 – Altura de plantas (cm) em diferentes estádios fenológicos em função das técnicas de drenagem e cultivares de soja, na safra 2014/15, São João do Polêsine, RS

Tratamento	V3	V9	R1	R3	R5	R8
Drenagem sup.	22,15 a	32,93 a	43,33 a	40,48 a	40,21 a	42,64 c
C. B. L. 22,5 m	23,69 a	36,73 a	50,31 a	52,13 a	53,04 b	56,34 b
C. B. L. 15 m	22,85 a	43,53 b	62,43 a	65,65 b	64,92 b	61,5 b
C. B. L. 7,5 m	24,43 a	45,51 b	58,13 a	59,3 b	57,69 b	71,88 a
CV.	12,39	21,01	23,39	19,27	23,85	13,43
BMX Potência RR	24,99 b	41,94 b	57,99 a	59,68 b	54,89 a	61,43 a
TEC IRGA 6070 RR	21,57 a	37,4 a	49,11 a	49,11 a	53,04 a	54,75 a
CV.	8,87	6,57	22,47	14,22	27,01	16,48
Média geral	23,28	39,67	53,55	64,39	53,97	58,09

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Em relação à altura de plantas da safra 2015/16, ela é demonstrada na Tabela 12. Na primeira avaliação no estádio fenológico V3, ocorre diferença estatística para os dois fatores utilizados, as técnicas de drenagem e as cultivares de soja. Através de teste de Scott-Knott foi possível discriminar que os camalhões de base larga de 15 e 7,5 m são superiores ao camalhão de base larga de 22,5 m e a drenagem superficial. Bem como as cultivares, no qual o teste de Scott-Knott indicou que a cultivar BMX POTÊNCIA RR foi superior a TEC IRGA 6070 RR. Na segunda avaliação no estádio fenológico V9, este fato se repete, o teste de Scott-Knott indica que a cultivar BMX POTÊNCIA RR é superior. Nas técnicas de drenagem, houve significância estatística e o teste de Scott-Knott aponta que a drenagem superficial é inferior aos camalhões de base larga. Corrobora Muktar et al. (1990), que afirmam que a intensidade dos prejuízos causados pelo excesso hídrico é influenciada de acordo com a duração e momento da saturação do solo ao longo do crescimento da planta.

Tabela 12 –	Altura de plantas (cm) em diferentes estádios fenológicos em função
	das técnicas de drenagem e cultivares de soja, na safra 2015/16, São
	João do Polêsine, RS

V3	V9	R1	R3	R5	R8
26,45 a	43,75 a	60,17 a	85,98 a	92,13 a	86,85 c
26,81 a	47,96 b	65,8 a	92,98 a	87,81 a	91,68 b
31,25 b	49,25 b	73,03 b	100,26 b	99,06 b	96,41 a
31,79 b	50,52 b	73,34 b	101,34 b	102,50 b	97,81 a
7,45	5,57	8,38	6,57	6,71	4,38
30,9 b	50,62 b	65,38 a	99,26 b	96,63 a	95,20 b
27,25 a	45,11 a	70,79 a	91,26 a	94,12 a	91,17 a
9,65	6,84	7,06	3,44	8,62	1,87
29,08	47,87	68,08	95,14	95,37	93,19
	26,45 a 26,81 a 31,25 b 31,79 b 7,45 30,9 b 27,25 a 9,65	26,45 a 43,75 a 26,81 a 47,96 b 31,25 b 49,25 b 31,79 b 50,52 b 7,45 5,57 30,9 b 50,62 b 27,25 a 45,11 a 9,65 6,84	26,45 a 43,75 a 60,17 a 26,81 a 47,96 b 65,8 a 31,25 b 49,25 b 73,03 b 31,79 b 50,52 b 73,34 b 7,45 5,57 8,38 30,9 b 50,62 b 65,38 a 27,25 a 45,11 a 70,79 a 9,65 6,84 7,06	26,45 a 43,75 a 60,17 a 85,98 a 26,81 a 47,96 b 65,8 a 92,98 a 31,25 b 49,25 b 73,03 b 100,26 b 31,79 b 50,52 b 73,34 b 101,34 b 7,45 5,57 8,38 6,57 30,9 b 50,62 b 65,38 a 99,26 b 27,25 a 45,11 a 70,79 a 91,26 a 9,65 6,84 7,06 3,44	26,45 a 43,75 a 60,17 a 85,98 a 92,13 a 26,81 a 47,96 b 65,8 a 92,98 a 87,81 a 31,25 b 49,25 b 73,03 b 100,26 b 99,06 b 31,79 b 50,52 b 73,34 b 101,34 b 102,50 b 7,45 5,57 8,38 6,57 6,71 30,9 b 50,62 b 65,38 a 99,26 b 96,63 a 27,25 a 45,11 a 70,79 a 91,26 a 94,12 a 9,65 6,84 7,06 3,44 8,62

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

No período que abrange o estádio fenológico R1 ao R5, existe diferença estatística significativa e o teste de Scott-Knott indica que os camalhões de base larga de 15 e 7,5 m, são superiores nestas três avaliações em relação ao camalhão de base larga de 22,5 m e a drenagem superficial. Entretanto, as cultivares não apresentam diferença estatística significativa na avaliação R1 e R5, mas na avaliação de R3 ocorreu diferença estatística significativa e o teste de Scott-Knott demonstrou que a BMX POTÊNCIA RR foi superior na altura de plantas.

Na avaliação realizada no momento da colheita, houve diferença estatística significativa tanto nas técnicas de drenagem, bem como nas cultivares de soja. O teste de Scott-Knott indicou que os camalhões de base larga de 15 e 7,5 m são superiores, na posição intermediaria encontra-se o camalhão de base larga de 22,5 m, e inferior a todos foi a drenagem superficial. Nas cultivares, o teste de Scott-Knott apontou a BMX POTÊNCIA RR como superior na altura de plantas.

Em comparação com outros trabalhos é possível observar que os valores médios de altura de plantas podem ser considerados baixos. Schwerz et al. (2016), em seu trabalho avaliando diferentes épocas de semeadura da soja em condições sequeiro, observou uma redução na altura de plantas nas semeaduras em épocas mais tardias. Situação esta, que ocorreu semelhantemente na safra 2014/15. Mukhtar et al. (1990), também observou em trabalho na cultura do milho que a ocorrência de excesso hídrico nas fases vegetativas iniciais foram as que obtiveram as menores alturas de plantas.

7.2.4 Índice de área foliar

Na avaliação do índice de área foliar que é apresentado na Tabela 13, ocorreu diferença estatística somente entre as cultivares no estádio fenológico V3, nos demais estádios não houve diferença estatística. Mesma situação aconteceu com as técnicas de drenagem, onde não foram observadas diferença estatística em nenhum dos estádios fenológicos avaliados.

Tabela 13 – Índice da área foliar (m². m²) em diferentes estádios fenológicos em função das técnicas de drenagem e cultivares de soja, na safra 2014/15, São João do Polêsine, RS

Tratamento	V3	V9	R1	R3	R5
Drenagem sup.	0,164 a	0,993 a	2,428 a	3,637 a	0,925 a
C. B. L. 22,5 m	0,207 a	1,252 a	2,88 a	3,958 a	1,26 a
C. B. L. 15 m	0,213 a	2,087 a	3,472 a	4,655 a	1,355 a
C. B. L. 7,5 m	0,228 a	1,742 a	3,652 a	4,886 a	1,742 a
CV.	11,51 *	32,14 *	35,71 *	14,98 *	27,53 *
BMX. Potência RR	0,236 b	1,564 a	3,178 a	4,74 a	1,532 a
TEC IRGA 6070 RR	0,171 a	1,474 a	3,038 a	3,828 a	1,109 a
CV.	12,51 *	10,28 *	12,89 *	13,47 *	12,02 *
Média geral	0,203	1,519	3,108	4,284	1,321

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. * Dados transformados.

Na safra 2015/16 o índice de área foliar, que está apresentado na Tabela 14. Na primeira avaliação no estádio fenológico V3, ocorre diferença estatística significativa para as técnicas de drenagem, e o teste de Scott-Knott classifica os camalhões de base larga de 15 e 7,5 m como superiores ao camalhão de 22,5 m e a drenagem superficial. Entre as duas cultivares não existe diferença estatística.

Na segunda avaliação, no estádio fenológico V9, houve significativa diferença estatística, sendo que o teste de Scott-Knott indicou a superioridade o camalhão de base larga de 7,5 m em relação aos demais. Entre as duas cultivares não houve diferença estatística nesta avaliação. Na terceira avaliação, no estádio fenológico R1, entre as técnicas de drenagem houve diferença estatística significativa, em que o teste de Scott-Knott apontou a superioridade dos camalhões de base larga de 15 e 7,5 m, na posição intermediaria encontrou-se o camalhão de base larga de 22,5 m, e inferior a todos os tratamentos a drenagem superficial. No fator cultivares não houve diferença estatística significativa.

Tabela 14 –	Índice	da ár	ea foliar	$(m^2.$	m ⁻²) em o	difer	entes está	dios	fenoló	ógico	s em
	função	das	técnicas	de	drenagem	n e	cultivares	de	soja,	na	safra
	2015/1	6, Sã	o João do	Pol	êsine, RS						

Tratamento	V3	V9	R1	R3	R5
Drenagem sup.	0,36 a	1,3 a	3,89 a	7,03 a	4,04 a
C. B. L. 22,5 m	0,366 a	1,46 a	4,87 b	7,25 a	3,68 a
C. B. L. 15 m	0,47 b	1,65 a	5,81 c	8,07 b	4,26 a
C. B. L. 7,5 m	0,56 b	2,025 b	5,54 c	8,66 b	4,86 a
CV.	13,26 *	17,6	12,54	9,4	13,05 *
BMX Potência RR	0,46 a	1,56 a	5,01 a	7,74 a	4,39 a
TEC IRGA 6070 RR	0,41 a	1,66 a	5,04 a	7,76 a	4,03 a
CV.	11,5 *	11,66	11,45	13,98	12,2 *
Média geral	0,439	1,61	5,03	7,75	4,21

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. * Dados transformados.

No estádio fenológico R3, houve diferença estatística significativa para o fator técnicas de drenagem, mas no fator cultivares não existe diferença estatística. A partir do teste de Scott-Knott foi identificado que os camalhões de base larga de 15 e 7,5 m são superiores ao camalhão de base larga de 22,5 m e a drenagem superficial. Na última avaliação, não ocorre diferença estatística entre as técnicas de drenagem e entre as duas cultivares. Porém observasse uma redução do seu índice de área foliar, isto se deve em virtude da proximidade do final do seu ciclo de desenvolvimento.

7.2.5 Altura de inserção da primeira vagem

A altura de inserção da primeira vagem para as safras de 2014/15 e 2015/16 é apresentada na Tabela 15. A análise de variância indicou que houve diferença estatística significativa entre as técnicas de drenagem na safra 2014/15. O teste de Scott-Knott classificou o camalhão de base larga de 7,5 m como superior aos demais tratamentos. Os camalhões de 15 e 22,5 m foram classificados como medianos e a drenagem superficial foi inferior a todos os tratamentos. Na safra de 2015/16 não houve diferença estatística entre as técnicas de drenagem.

Tabela 15 – Altura da inserção da primeira vagem (cm) em diferentes estádios fenológicos em função das técnicas de drenagem e cultivares de soja, na safra 2015/16, São João do Polêsine, RS

Trotomonto	Cofro 2014/15	Cofro 2015/16
Tratamento	Safra 2014/15	Safra 2015/16
Drenagem superficial	10,15 c	15,76 a
C. B. L. 22,5 m	13,48 b	16,49 a
C. B. L. 15 m	13,45 b	16,78 a
C. B. L. 7,5 m	15,43 a	17,33 a
CV.	13,03	5,54
TEC IRGA 6070 RR	13,51 a	16,46 a
BMX Potência RR	12,74 a	16,72 a
CV.	21,09	4,08
Média geral	13,13	16,59

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

No fator D, não foram observadas diferenças estatística significativa entre as cultivares nas safras de 2014/15 e 2015/16. De acordo com Barbosa et al. (2013), a altura de inserção da primeira vagem é uma característica intrínseca de cada cultivar. Também Sediyama et al. (2009 apud RIBEIRO et al., 2016) afirmam que os valores médios de altura da inserção da primeira vagem devem ser superiores a 12 cm, tendo em vista a redução de perdas no momento da colheita.

7.2.6 Componentes de produção e produtividade

Os componentes de produção e a produtividade obtidos na safra 2014/15 são apresentados na Tabela 16. Os componentes de produção são constituídos pela densidade de plantas, o número de grãos por planta e o peso de mil grãos. Entretanto a densidade de semeadura não foi avaliada, pois no momento de estabelecimento da cultura foi realizado um desbaste na área de coleta uniformizando a população em 18 plantas. m⁻².

O número de vagens. planta-1 apresentou no fator A diferença estatística significativa, e o teste de Scott-Knott agrupou em nível inferior a drenagem superficial e os camalhões de base de 15 e 22,5m, em relação ao camalhão de 7,5m. Sendo que entre as duas cultivares utilizadas não houve diferença estatística significativa. Conforme Schöffel et al. (2001), em seu trabalho avaliando diferentes épocas de alagamento, observou que no período reprodutivo no estádio R4

encontra-se o menor número de vagens. planta⁻¹. O autor atribui este acontecimento a elevada perda de flores e legumes em função do alagamento. Este resultado observado no fator A é semelhante ao apresentado pelo SEW₃₀. No qual o camalhão de base larga de 7,5m obteve o menor valor de SEW₃₀ em relação aos demais.

Na avaliação do número de grãos por planta ocorreu diferença estatística significativa. O camalhão de base larga de 7,5m obteve a média superior diferenciando-se do grupo inferior formado pela drenagem superficial e os camalhões de base larga de 15 e 22,5 m, pelo teste de Scott-Knott. No fator D, as cultivares não demonstraram diferença estatística significativa.

O peso de mil grãos não apresentou diferença estatística significativa para o fator A, constituído pelas técnicas de drenagem e o fator D, constituído pelas cultivares. Este comportamento esta correlacionado com a ocorrência de estresse hídrico na fase final de desenvolvimento da cultura. Também, Schöffel et al. (2001) não encontraram diferença estatística significativa na massa de 100 sementes, em seu trabalho avaliando diferentes épocas de alagamento, resultado este em concordância com outros autores por ele mencionados. Desta forma, pode-se considerar que o peso de mil grãos, não foi influenciado pelas diferentes técnicas de drenagem e cultivares.

A produtividade da safra 2014/2015 apresentou diferença estatística significativa. O teste de Scott-Knott indicou que a média de produtividade do camalhão de base larga 7,5 m, foi superior ao agrupamento intermediário das médias dos camalhões de base larga de 15 e 22,5 m. A drenagem superficial foi considerada a média inferior do fator A. Conforme Mukhtar et al. (1990), a cultura do milho também sofre redução de produtividade em função do excesso hídrico, mas estas reduções são mais elevadas quando elas ocorrerem no período vegetativo. No fator D, não houve diferença estatística significativa entre as cultivares.

Tabela 16 –	Valores	méd	dios dos	com	ponentes	de	produção	e pr	odutiv	idad	le em
	função	das	técnicas	de	drenagem	n e	cultivares	de	soja,	na	safra
	2014/15	5, São João do Polêsine, RS									

Tratamanta	Produtividade		Peso de mil	Número de		Número de	
Tratamento	(kg. ha ⁻¹)		grãos (g)	grãos. planta ⁻¹		vagens. planta ⁻¹	
Drenagem sup.	1409,04)	116,77 a	72,43	b	34,94	b
C. B. L. 22,5 m	1803,07 b)	105,52 a	91,13	b	40,61	b
C. B. L. 15 m	1993,72 b)	108,71 a	97,3	b	43,39	b
C. B. L. 7,5 m	2495,85 a	3	111,72 a	124	а	54,97	а
CV.	10,58 *	t	8,55	10,15	*	11,1	*
TEC IRGA 6070 RR	1734,02 a	a	108,53 a	86,56	а	41,77	а
BMX Potência RR	2116,82 a	3	112,83 a	105,88	а	45,19	а
CV.	10,45 *	r	8,58	9,54	*	9,68	*
Média geral	1.925,42		110,68	96,22		43,48	

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. * Dados transformados.

Os resultados obtidos de produtividade demonstram correlação ao índice SEW₃₀. Na drenagem superficial em que ocorreu o índice mais elevado apresentou a menor produtividade, enquanto no camalhão de base larga de 7,5 m, ocorreu de maneira inversa, o índice SEW₃₀ foi o mais baixo, e a produtividade foi superior aos demais tratamentos.

Os resultados obtidos nos componentes de produção e produtividade da safra 2015/16 estão apresentados na Tabela 17. O número de vagens. planta-1 no fator A, não apresentou diferença significativa estatística. Mas entre as cultivares houve diferença estatística, sendo que o teste de Scott-Knott indicou a média do cultivar TEC IRGA 6070 RR foi superior em comparação ao cultivar BMX Potência RR.

A avaliação do número de grãos. planta-1, demonstrou que não houve diferença significativa nas técnicas de drenagem e nas cultivares de soja. Dos Santos et al. (2014) em seu trabalho, observaram que ao longo de 13 safras o sistema de produção utilizando trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja, não irrigado, obteve uma média de 71 grãos. planta-1, no município de Passo Fundo, RS. Este valor apresentado é inferior quando comparados com os valores médios obtidos nos tratamentos nas safras de 2014/2015 e 2015/2016. Além disso, na safra 2014/15 nota-se claramente a influência do índice SEW₃₀, onde o número de grãos. planta-1 apresenta comportamento inverso ao que ocorre no índice SEW₃₀, no qual os valores superiores estão na drenagem superficial. Desempenho semelhante foi

também observado no peso de mil grãos, onde o fator A, constituído das técnicas de drenagem e o fator D, constituído das cultivares de soja não apresentaram diferença estatística significativa.

Tabela 17 – Valores médios dos componentes de produção e produtividade em função das técnicas de drenagem e cultivares de soja, na safra 2015/16, São João do Polêsine, RS

Tratamento	Produtividade	Peso de mil	Número de	Número de
	(kg. ha ⁻¹)	grãos (g)	grãos. planta ⁻¹	vagens. planta ⁻¹
Drenagem sup.	3.291,27 b	107,91 a	127,14 a	71,95 a
C. B. L. 22,5 m	3.741,55 a	110,62 a	141,14 a	77,39 a
C. B. L. 15 m	3.892,93 a	113,78 a	142,69 a	83,04 a
C. B. L. 7,5 m	3.863,61 a	111,53 a	144,76 a	87,63 a
CV.	10,82	3,62	12,10	20,82*
TEC IRGA 6070 RR	3.656,85 a	111,09 a	140,62 a	91,81 a
BMX Potência RR	3.737,84 a	110,83 a	137,62 a	68,20 b
CV.	3,38	4,53	6,81	8,95*
Média geral	3.697,34	110,96	139,05	80,01

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. * Dados transformados.

A produtividade na safra 2015/16, demonstra que no fator A, houve diferença estatística significativa. O teste de Scott-Knott indicou que as médias dos camalhões de base larga de 22,5, 15 e 7,5 m são semelhantes e superiores a drenagem superficial. Corrobora Sartori et al. (2015), que testando diferentes sistemas de semeadura, obteve produtividades de 4.345 e 4.013 kg. ha⁻¹ em microcamalhões com a cultivar BMX Tornado' nas safras de 2013/14 e 2014/15 respectivamente. Gava et al. (2016), utilizando a irrigação suplementar, com reposição de 100% da evapotranspiração da cultura durante todo o ciclo de desenvolvimento obtiveram em média, produtividade de 3384,3 kg. ha⁻¹ no cultivar BMX Potência RR. No fator D, não houve diferença estatística entre as cultivares utilizadas.

Entretanto, em comparação com a safra 2014/15 nota-se uma evolução na produtividade. Os menores valores apresentados na safra 2014/2015, podem ser justificados em função de dois fatores, a data de semeadura mais tardia, e o período de déficit hídrico que ocorreu a partir do estádio R1. O primeiro está de acordo com Cruz et al. (2010), que afirmam que a época de semeadura interfere no desenvolvimento das plantas e no potencial produtivo dos cultivares de soja. A segunda situação, por sua vez, influenciou negativamente o número de vagens.

Os resultados apresentados nas duas safras demonstram que as técnicas de drenagem influenciam positivamente a produtividade da cultura da soja em áreas de terras baixas, e que os camalhões de base larga apresentam os melhores resultados. Entretanto este sucesso dos camalhões de base larga pode ser atribuído aos reduzidos valores observados nos índices SEW₃₀ e IDS em comparação a drenagem superficial. Em outras palavras pode-se considerar que o nível freático próximo a superfície do solo é prejudicial a produtividade da cultura.

7.2.7 Análise econômica

A análise econômica da viabilidade do cultivo de soja em áreas de terras baixas foi realizada a partir de custo de produção da Conab, conforme relatado no material e métodos. Desta forma apresentaremos na Tabela 18 e 19 os resultados obtidos nos itens que compõem a análise econômica. As cultivares que compõem o fator D, não foram avaliadas pois o custo da semente foram considerados iguais não influenciando o custo de produção.

Os resultados da análise econômica da safra 2014/15 são demonstrados na Tabela 18. Os custos não relacionados a drenagem C_{NRD} são idênticos, isto se deve pois entre as técnicas de drenagem foram utilizados os mesmos insumos, mão de obra, maquinário entre outros.

Entretanto no custo relacionado a drenagem C_{RD}, existem diferenças, pois na drenagem superficial não ocorre o gasto com a construção e desmonte do camalhão, somente a manutenção dos drenos, comum a todas as técnicas. Nos camalhões de base larga, incluem-se o custo da construção e desmonte dos camalhões, além da manutenção dos drenos. Mas em função da dimensão de cada camalhão de base larga o custo da manutenção considera a distância dos drenos. No camalhão de base larga de 22,5 m a distância de drenos é inferior ao camalhão de 15,0 m, que por sua vez, também é inferior em comparação ao camalhão de base larga de 7,5m, que possui 1.334 m de distância de drenos.

Tabela 18 –	Análise	econômica	da	cultura	da	soja	em	diferentes	técnicas	de
	drenage	m, safra 201	4/15	5, São Jo	oão (do Po	lêsin	e, RS		

Tratamento	CNRD	CRD	CRD%	CP	RL	Liquidez %
Drenagem sup.	2310,66	64,49	2,72	2375,15	-824,62	-34,72
C. B. L. 22,5 m	2310,66	219,80	8,69	2530,46	-546,34	-21,59
C. B. L. 15 m	2310,66	229,85	9,05	2540,51	-366,45	-14,42
C. B. L. 7,5 m	2310,66	260,02	10,11	2570,68	76,36	2,97

CNRD - custos não relacionados a drenagem, CRD - custo relacionado a drenagem, CP - custo de produção, RL - renda liquida.

Desta forma, o custo de produção também apresenta diferenças, sendo que a drenagem superficial apresentou o menor custo, e o camalhão de base larga de 7,5m o custo mais elevado das técnicas de drenagem. A drenagem superficial apresenta o menor percentual do custo relacionado a drenagem de 2,72%. Entretanto, a liquidez foi negativa, alcançado o percentual de -34,72%.

O maior custo de produção foi encontrado no camalhão de base larga de 7,5 m. Isto foi devido ao maior percentual de custo relacionado a drenagem, alcançando o percentual de 10,11%, sendo o maior de todos os tratamentos. Entretanto foi somente neste tratamento que foi observada liquidez positiva, o percentual alcançado foi de 2,97% na safra 2014/15. Os demais tratamentos não conseguiram cobrir os seus custos de produção.

A análise econômica da safra 2015/16, é apresentada na Tabela 19. Assim como foi realizado na safra 2014/15 os C_{NRD} foram idênticos em todas técnicas de drenagem. Enquanto os C_{RD} englobaram a construção e desmonte dos camalhões e sua manutenção, que possui especificidades para cada técnica de drenagem. Mas além disso existiu uma correção nos valores em função da elevação dos insumos utilizados neste item. Assim, da mesma forma que foi demonstrada na safra 2014/15 a drenagem superficial é a técnica de menor C_{RD} , enquanto que o camalhão de base larga de 7,5 m apresenta a maior C_{RD} .

Tabela 19 – Análise econômica da cultura da soja em diferentes técnicas de drenagem, safra 2015/16, São João do Polêsine, RS

Tratamento	CNRD	CRD	CRD %	CP	RL	Liquidez %
Drenagem sup.	2538,03	73,40	2,80	2617,30	1598,16	37,91
C. B. L. 22,5 m	2538,03	230,90	8,30	2774,80	2016,57	42,08
C. B. L. 15 m	2538,03	241,49	8,66	2786,49	2154,54	43,60
C. B. L. 7,5 m	2538,03	273,32	9,69	2820,62	1951,39	40,89

CNRD - custos não relacionados a drenagem, CRD - custo relacionado a drenagem, CP - custo de produção, RL - renda liquida.

O custo de produção em virtude dos diferentes valores de CRD, também apresentaram diferenças. Sendo o menor custo obtido na drenagem superficial com 2,8% do custo total de produção. Em seguida, o camalhão de base larga de 22,5 m, com 8,3% do custo total de produção. Posteriormente, o camalhão de base larga de 15 m, com 8,66%do custo total e o custo mais elevado obtido no camalhão de base larga de 7,5 m equivalente a 9,69% do custo total. A renda líquida que está correlacionada com a produtividade apontou que na safra de 2015/16 o camalhão de base larga de 15 m, foi a técnica que apresentou melhor resultado econômico. Sendo a menor viabilidade econômica apresentada pela drenagem superficial. Concordando com Carpinski et al. (2013) que afirma que o resultado econômico é fruto da combinação entre o solo, a planta e o ambiente. O resultado obtido da renda líquida nas safras de 2014/15 e 2015/16 é apresentado na tabela 20.

Tabela 20 – Renda líquida (R\$. ha⁻¹) obtida das safras 2014/15 e 2015/16

Tratamento	Safra 2014/15	Safra 2015/16	Renda liquida
			obtida nos 2 anos
Drenagem sup.	-824,62	1598,16	773,54
C. B. L. 22,5 m	-546,34	2016,57	1470,23
C. B. L. 15 m	-366,45	2154,54	1788,09
C. B. L. 7,5 m	76,36	1951,39	2027,75

Nele é demonstrado que a safra 2015/16 amortizou o resultado negativo apresentado por algumas técnicas de drenagem. Sendo que somente o camalhão de base larga de 7,5 m apresentou resultado positivo nas safras de 2014/2015 e 2015/2016, demonstrando a viabilidade econômica. Entretanto, não deve-se desprezar os camalhões de base larga de 15 e 22,5 m, pois apresentaram os melhores desempenhos na safra 2015/16.

7.3 EXPERIMENTO 2 (PROFUNDIDADE DO NÍVEL FREÁTICO PERMANENTE)

Este subcapitulo, tem por objetivo complementar as avaliações realizadas no experimento 01. Tendo em vista que a realização do SC_{mod} e IDS era necessária a presença de uma testemunha com a profundidade do nível freático estática em 30 cm. A partir disso, percebeu-se a importância de avaliar o desenvolvimento destas plantas em várias profundidades de nível freático estáticas. Assim, foram escolhidas

as profundidades de nível freático estáticas de 10, 20, 30, 40 e 50 cm para identificar qual seria o desempenho do desenvolvimento das plantas na safra 2015/16. Ao longo do desenvolvimento das plantas foram avaliados a massa seca da parte aérea da planta, altura de plantas e o índice de área foliar, e ao final do ciclo das plantas foram avaliados os componentes de produção e a produtividade.

7.3.1 Massa seca da parte aérea das plantas

Inicialmente será apresentada a massa seca da parte aérea das plantas, que se encontra na Tabela 21. Na primeira avaliação realizada no estádio fenológico V3 a massa seca da parte aérea das plantas apresentou diferença estatística significativa tanto para o fator A, constituído das técnicas de drenagem e o fator D, constituído das cultivares de soja. O fator A, é apresentado detalhadamente na Figura 8, onde o comportamento da equação não encontrou a máxima eficiência técnica. Mas dentre os tratamentos a maior média é encontrada na profundidade do nível freático de 40 cm.

Tabela 21 – Valores médios de massa seca (g. planta⁻¹) da parte aérea da planta em função das diferentes profundidades de nível freático e cultivares de soja, safra 2015/16, São João do Polêsine, RS

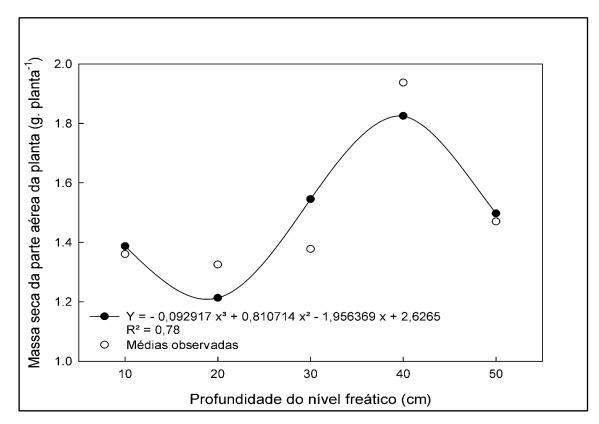
Trotomontos	1/2	\/0	D4	Da	D.E.	Do
Tratamentos	V3	V9	R1	R3	R5	R8
10	1,36 a	4,36 a	14,46 a	20,63 a	25,46 a	26,40 a
20	1,32 a	6,24 a	12,86 a	21,15 a	25,88 a	26,57 a
30	1,37 a	5,24 a	11,97 a	22,65 a	28,66 a	32,57 b
40	1,93 b	6,11 a	11,95 a	20,84 a	27,12 a	29,16 b
50	1,47 a	5,49 a	12,7 a	19,4 a	21,98 a	24,97 a
CV.	10,35 *	10,36	24,45 *	13,04 *	9,06 *	15,87
BMX Potência RR	1,77 a	5,97 a	13,28 a	20,6 a	25,95 a	27,59 a
TEC IRGA 6070 RR	1,2 b	5,01 a	12,29 a	21,26 a	25,68 a	28,28 a
CV.	5,5 *	16,7	40,97 *	14,39 *	8,73 *	15,03
Média geral	1,49	5,49	12,79	20,93	25,82	27,93

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. * Dados transformados.

Os valores concordam com os encontrados por Tanaka (2010), avaliando a cultura do sorgo sob diferentes profundidades de nível freático, onde relatam que os melhores valores de matéria fresca e seca foram encontrados nas profundidades de

45 a 59 cm. Bassegio et al. (2012) relatam que ocorre prejuízos ao desenvolvimento da planta quando o lençol freático fica próximo à superfície do solo.

Figura 8 – Massa seca da parte aérea da planta (g. planta⁻¹) em função da profundidade do nível freático, no estádio fenológico V3, na safra 2015/16, São João do Polêsine, RS

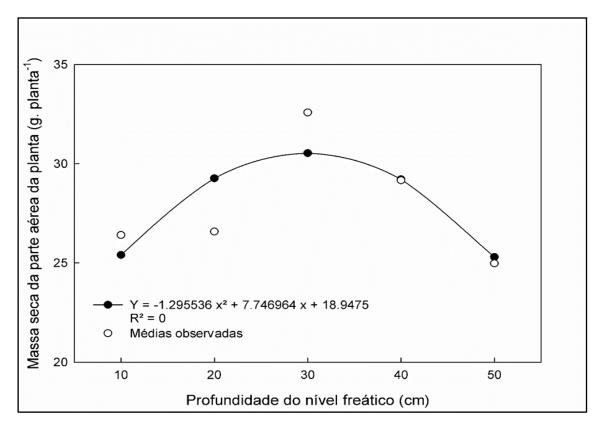


No fator D, de acordo com o teste de Scott-Knott, a cultivar BMX POTÊNCIA RR demonstrou desempenho superior à TEC IRGA 6070 RR. Nas avaliações seguintes nos estádios fenológicos V9, R1, R3 e R5 não houveram diferenças estatísticas significativas tanto para o fator A e D.

No estádio R8, o fator A apresentou diferença estatística significativa. As informações detalhadas desta avaliação no fator A são apresentadas na Figura 9. A máxima eficiência técnica entre as profundidades de nível freático encontra-se em 29,25 cm. No fator D não houve diferença estatística significativa entre as cultivares.

Este valor observado na máxima eficiência técnica vai de encontro com os valores de referência para o índice SEW₃₀. Rocha (2016) observaram no cultivar TEC IRGA 6070 RR valores médios de massa seca da parte área. planta⁻¹ de 11 Mg. ha⁻¹, o equivalente a 36,6 g. planta⁻¹. Este valor é aproximado à média observada na profundidade de 30 cm do nível freático.

Figura 9 – Massa seca da parte aérea da planta (g. planta⁻¹) em função das diferentes profundidades do nível freático, no estádio fenológico R8, na safra 2015/16, São João do Polêsine, RS



Entretanto, em outras culturas submetidas a diferentes níveis freáticos não foi observado o mesmo comportamento. Conforme Santos et al. (2014), a massa seca de plantas da linhaça marrom foi influenciada pela profundidade do nível freático, sendo que a máxima eficiência técnica foi encontrada na profundidade de 60 cm. De Rossi et al. (2015), avaliando a influência da profundidade do lençol freático na cultura da canola, encontrou a maior de massa seca da parte aérea na profundidade de 60 cm, quando comparadas com profundidades do lençol freático de 50, 40, 30, 20 e 10 cm. Mingoti et al. (2006) corroboram afirmando que as condições climáticas e estádio fenológico em que ocorre o estresse influencia na resposta da planta a sensibilidade ao excesso hídrico. Assim, com base nos valores de massa seca da parte aérea da planta, pode-se considerar que a escolha da profundidade do nível freático de 30 cm como referência para o desenvolvimento das plantas foi correta.

7.3.2 Altura de plantas

Os valores médios da altura de plantas são apresentados com o auxílio da Tabela 22. As avaliações realizadas durante os estádios fenológicos, indicaram que no estádio V3 houve diferença estatística significativa no fator A, que é apresentado na Figura 10.

Tabela 22 – Valores médios de altura planta (cm) em função das diferentes profundidades de nível freático e cultivares de soja, safra 2015/16, São João do Polêsine, RS

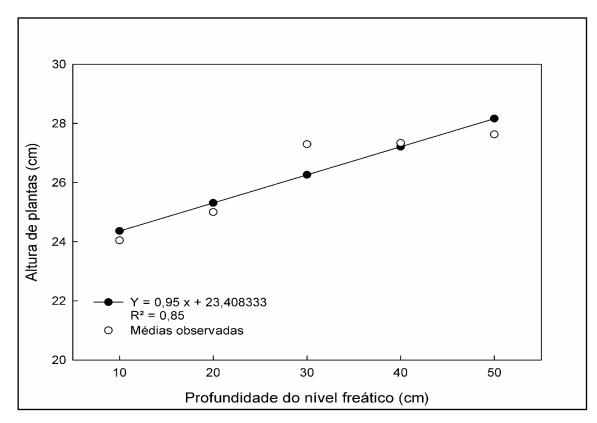
Tratamento	V3	V9	R1	R3	R5	R8
10	24,04 a	43,33 a	66,88 a	90,45 a	98,32 a	88,48 a
20	25 a	49,08 a	66,21 a	88,37 a	96,93 a	85,76 a
30	27,29 b	47,45 a	66,53 a	85,62 a	94,38 a	81,75 b
40	27,33 b	48,08 a	66,53 a	86,12 a	92,92 a	79,51 b
50	27,62 b	45,79 a	64,79 a	82,25 a	90,59 a	77,51 b
CV.	10,53	9,29	19,38 *	6,42	8,76	6,62
BMX Potência RR	27,95 a	49,86 a	67,37 a	90,41 a	99,23 a	89,2 a
TEC IRGA 6070 RR	24,56 b	43,63 b	57,72 a	82,71 b	90,03 b	75,81 b
CV.	9,79	10,99	23,98 *	4,18	7,31	6,17
Média geral	26,25	46,75	62,55	86,56	94,63	82,51

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. * Dados transformados.

Nela observa-se que o comportamento linear da equação obtido com os valores médios, demonstrando que as profundidades do nível freático mais próximas da superfície apresentam menor estatura. No fator D, também houve diferença estatística significativa, sendo que o teste de Scott-Knott classificou a cultivar BMX Potência RR como superior a TEC IRGA 6070 RR.

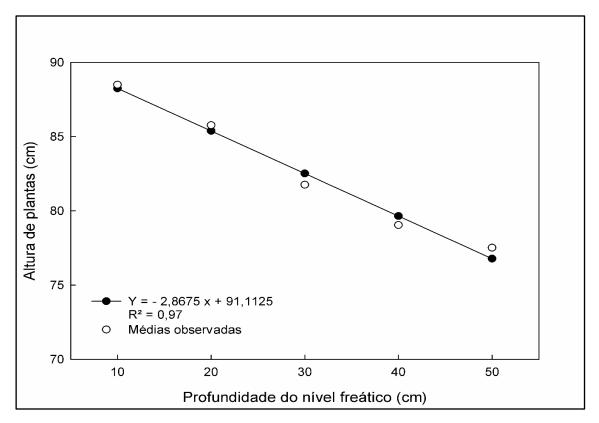
Nos estádios fenológicos V9, R1, R3 e R5 o fator A não apresentou diferença estatística significativa em nenhuma destas avaliações. Mas no fator D nos estádios fenológicos V9, R3, R5 houve diferença estatisticamente significativa, sendo que o teste Scott-Knott indicou nas respectivas avaliações a superioridade do cultivar BMX Potência RR em relação TEC IRGA 6070 RR.

Figura 10 – Altura de plantas no estádio fenológico V3, em função das diferentes profundidades do nível freático, na safra 2015/16, São João do Polêsine, RS



Na avaliação realizada no estádio fenológico R8, o fator A apresentou diferença estatística significativa. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 11, onde é possível perceber que a altura de planta decresceu em função da maior profundidade do nível freático. Aguila et al. (2011), relatam que valores de altura de plantas abaixo de 50 cm são considerados ruins, pois dificultam a colheita mecanizada ocasionando a elevação de perdas de grãos nesta operação. Fato este que não ocorreu, pois, o menor valor de altura de plantas foi de 77 cm, na profundidade do nível freático de 50 cm. Isto significa que, conforme mencionado na citação acima, não houve dificuldades na colheita em função da altura de plantas. No fator D, também houve diferença significativa e o teste de Scott-Knott, classificou como superior o cultivar BMX Potência RR em comparação ao TEC IRGA 6070 RR.

Figura 11 – Altura de plantas no estádio fenológico R8, em função das diferentes profundidades do nível freático, na safra 2015/16, São João do Polêsine, RS



Barzotto et al. (2016), avaliando diferentes lâminas de irrigação na cultura da soja em terras altas, observaram que, desde a emergência até o estádio fenológico R2, não foram observadas diferenças significativas na altura de plantas. No entanto, no estádio R5.1 houve diferença estatística em relação à maior lâmina de irrigação que obteve plantas com 80 cm de altura. Andrade et al. (2016) avaliando diferentes densidades de semeadura e plantio convencional e cruzado, obteve plantas com 101,3 cm na densidade de 24 plantas. m⁻², sendo que conforme as densidades de semeaduras eram reduzidas, também ocorria a redução nas alturas de plantas.

Considerando as citações acima, pode-se afirmar que as alturas de plantas médias observadas estão em concordância com os valores apresentados pelas referências. E concordam com os resultados obtidos por Tomei et al. (2012), utilizando plantas de eucalipto na fase inicial, que encontrou os melhores resultados de altura de plantas nas profundidades de nível freático de 10 e 20 cm.

7.3.3 Altura de inserção da primeira vagem

Os resultados de altura da inserção da primeira vagem, estão apresentados na Tabela 23. Nela pode-se observar que não houve diferença estatística significativa tanto para o fator A e D. Conforme mencionado anteriormente neste capítulo, a altura da inserção da primeira vagem mínima necessária para a realização da colheita mecanizada é de 12 cm. Sendo que o valor médio dos tratamentos foi de 13,4 cm.

Tabela 23 – Valores médios de altura da inserção da primeira vagem (cm) em função das diferentes profundidades de nível freático e cultivares de soja, safra 2015/16, São João do Polêsine, RS

10	20	30	40	50	CV%	Média geral
15,16 a	13,73 a	12,61 a	12,72 a	12,78 a	13,85	13,4
		Cultivares d	e soja			

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. Colocar cv.

Andrade et al. (2016) observaram no cultivar M-soy 9144 RR, semeado em terras altas, que a altura de inserção da primeira vagem na densidade de semeadura de 24 plantas. m-2 foi de 18,55 cm, sendo que, menores densidades de semeadura não diferem estatisticamente. Da Cunha et al. (2015a), avaliaram a influência de diferentes quantidades de palhada de azevém na cultura da soja em áreas de terras baixas e observaram que nos tratamentos com pouca cobertura de palha a altura da inserção da primeira vagem foi de 10 cm, crescendo linearmente até 25 cm, juntamente com o aumento da quantidade de cobertura de palha. Franchini et al. (2015) avaliaram a altura da inserção da primeira vagem, na cultura da soja semeada em sucessão a pastagem de *Urochloa ruziziensis*, sob a influência de diferentes alturas de pastejo de 15, 35 e 50 cm e sem pastejo, observaram valores de 21,6; 23,1; 21,4 e 22,7 cm, respectivamente.

Assim pode-se afirmar que os valores estão de acordo com os resultados obtidos na literatura, sendo que os valores médios obtidos neste estudo, em alguns casos foram até superiores. Isto nos permite afirmar que, nas condições em que foi

realizado o estudo, as diferentes profundidades de nível freático e os dois cultivares não influenciaram a colheita mecanizada em função da altura de inserção da primeira vagem na planta.

7.3.4 Índice de área foliar

Os resultados das avaliações do índice de área foliar são apresentados na Tabela 24. Nas avaliações realizadas nos estádios fenológicos V3 e V9 não houve diferença estatística significativa no fator A. Porém, no estádio fenológico V3 houve, sendo que o teste de Scott-Knott indicou que a cultivar BMX Potência RR foi superior em comparação a TEC IRGA 6070 RR.

Tabela 24 – Valores médios do índice de área foliar (m⁻². m⁻²) em função das diferentes profundidades de nível freático e cultivares de soja, safra 2015/16, São João do Polêsine, RS

Tratamento	V3	V9	R1	R3	R5
10	0,45 a	1,57 a	4,91 b	5,99 a	4,21 a
20	0,51 a	2,18 a	4,25 a	6,45 a	3,6 a
30	0,52 a	1,81 a	3,72 a	6,67 a	3,95 a
40	0,58 a	2,03 a	4,86 b	5,86 a	4,23 a
50	0,53 a	1,91 a	3,72 a	5,69 a	3,98 a
CV.	8,3 *	9,93 *	9,84 *	12,33 *	17,92
BMX Potência	0,65 a	2,12 a	4,67 a	6,66 a	4,46 a
TEC IRGA 6070					
RR	0,39 b	1,68 a	3,96 a	5,61 a	3,52 b
CV.	15,22 *	15,49 *	20,58 *	8,7 *	7,06
Média geral	0,52	1,9	4,31	6,13	3,99

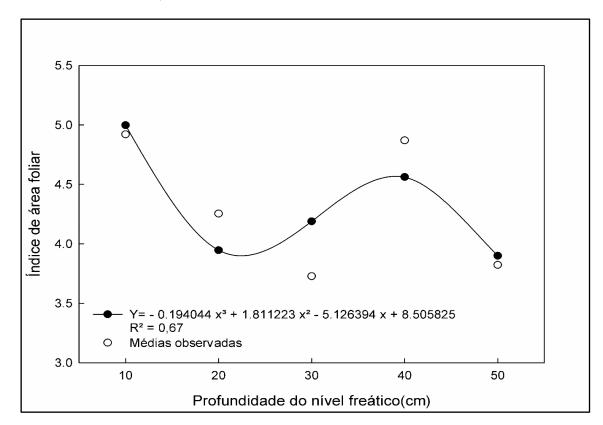
Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. * Dados transformados.

Na avaliação do estádio fenológico R1, no fator A, houve diferença estatística significativa. Na figura 12, pode-se visualizar o comportamento do índice de área foliar. Nele é possível observar que não existe um ponto de máxima eficiência técnica. Entretanto destaca-se as profundidades do nível freático de 10 e 40 cm, neles são observados os valores mais elevados do índice de área foliar. No fator D, não houve diferença estatística significativa.

Barzotto et al. (2016) observaram valores médios de índice de área foliar iniciando em 3,5, crescendo linearmente até 4,75, no estádio fenológico R2, no cultivar BMX Ativa. Zanon et al. (2015) observaram índices de área foliar 6,5 e 5,5,

no estádio fenológico R1 e R5, no cultivar BMX Potência RR quando semeadas na metade de novembro. Rocha (2016) observou índices de área foliar que alcançaram valores de 8 e 8,5 no cultivar TEC IRGA 6070 RR com irrigação e não irrigada no município de Santa Maria, RS.

Figura 12 – Índice de área foliar no estádio fenológico R1, em função das diferentes profundidades do nível freático, na safra 2015/16, São João do Polêsine, RS



No estádio fenológico R3 e R5, para as duas avaliações restantes, no fator A não houve diferença estatística significativa com exceção da última avaliação no estádio fenológico R5. O fator D apresentou diferença estatística significativa, classificando o cultivar BMX Potência RR como superior a cultivar TEC IRGA 6070 RR. Os resultados obtidos estão em concordância com os valores apresentados por Barzotto et al. (2016). Isto demonstra que todos os tratamentos apresentaram valores aproximados aos observados em áreas de terras altas. Em comparação com Zanon et al. (2015) e Rocha (2016), os valores médios do índice de área foliar foram inferiores. Entretanto, não é somente o valor índice de área foliar isolado que definirá a produtividade da cultura, e sim a sua eficiência na interceptação da radiação solar. Os valores médios obtidos neste estudo podem ser suficientes para a garantia de elevadas produtividades.

7.3.5 Componentes de produção e produtividade

No estádio fenológico R9 foram realizadas as avaliações dos componentes de produção e produtividade cujos resultados são apresentados na Tabela 25. Os componentes de produção que foram avaliados são: número de vagens. planta⁻¹, número de grãos. planta⁻¹ e o peso de mil grãos.

Tabela 25 – Valores médios dos componentes de produção e produtividade em função das diferentes profundidades de nível freático e cultivares de soja, safra 2015/16, São João do Polêsine, RS

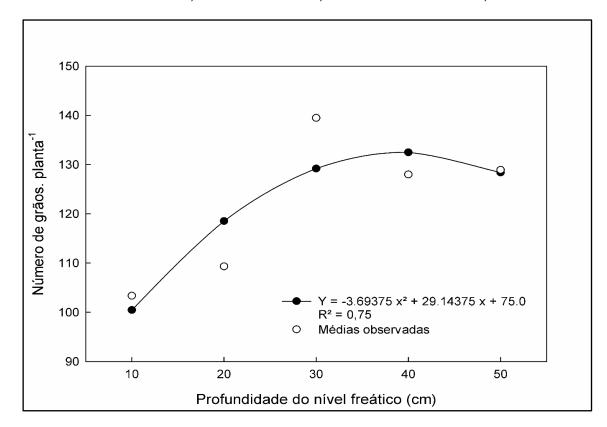
	Número de	Número de	Peso de mil	Produtividade
Tratamento	vagem. planta ⁻¹	grãos. planta ⁻¹	grão (g)	(kg. ha ⁻¹)
10	65,32 a	103,34 a	130,3 a	3226,6 a
20	73,18 a	109,31 a	127,11 a	3329,6 a
30	80,41 a	139,46 b	123,43 a	4137,0 b
40	73,67 a	127,97 b	127,16 a	3892,0 b
50	78,47 a	128,91 b	127,76 a	3954,0 b
CV.	14,09	13,76	6,6	11,72
BMX Potência RR	66,86 a	125,24 a	126,63 a	3801,2 a
TEC IRGA 6070 RR	81,57 a	118,35 a	127,68 a	3614,7 a
CV.	20,07	3,40	6,16	9,82
Média geral	74,21	121,80	127,15	3707,97

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

O número de vagens. planta⁻¹, demonstra que tanto no fator A, como no fator D, não houve diferença estatística significativa. Corrobora Da Cunha et al. (2015a) que observaram em seu trabalho de cultivo de soja em Planossolos com diferentes quantidades de resíduo de palhada de azevém, a ocorrência de 40 a 54 vagens. planta⁻¹ entre os tratamentos. Franchini et al. (2015), em seu trabalho observaram variações de 39,1 a 50,9 vagens. planta⁻¹, cultivada em um Latossolo Vermelho distroférrico no município de Londrina, PR. Conforme relatado, os valores médios observados neste estudo foram superiores aos referenciados, significando a possibilidade de uma maior expectativa de produtividade. Entretanto, além de um elevado número de vagens. planta⁻¹, é necessário que outros componentes de produção sejam elevados, como por exemplo o número de grãos. planta⁻¹.

A avaliação do número de grãos. planta⁻¹, demonstrou que no fator A, houve diferença estatística significativa. O comportamento dos valores médios pode ser observado na Figura 13.

Figura 13 – Número de grãos. planta⁻¹ em função das diferentes profundidades do nível freático, na safra 2015/16, São João do Polêsine, RS



A máxima eficiência técnica deste fator foi obtida na profundidade do nível freático de 40,60 cm. Silva et al. (2016) obtiveram valores médios de 92,70; 102,81 e 88,07 grãos. planta⁻¹, em seu trabalho comparando diferentes níveis de vigor de sementes.

No fator D, não houve diferença estatística significativa entre as cultivares. Gava et al. (2016) obtiveram em média, 67 grãos. planta⁻¹ no cultivar BMX Potência RR, cultivado com reposição de 100% da evapotranspiração da cultura durante todo o ciclo de desenvolvimento. Como pode-se observar os valores médios obtidos neste estudo superam todas as referências citadas neste item. Considerando que o número de vagens. planta⁻¹ e o número de grãos. planta⁻¹, foram superiores, resta dos componentes de produção, somente o peso de mil grãos a ser avaliado.

O peso de mil grãos não apresentou diferença estatística significativa para os dois fatores A e D. Demonstrando que a profundidade do nível freático e a cultivares não influenciaram as médias neste componente. O valor médio do peso de mil grãos observado nos tratamentos foi de 127,15 g.

Dos Santos et al. (2014) obtiveram ao longo de 13 safras, não irrigado, no município de Passo Fundo, RS, valores médios de peso de mil grãos de 172 e 175 g em semeadura em sucessão da aveia branca e trigo respectivamente. Andrade et al. (2016), em seu trabalho, observaram valores de peso de mil grãos entre 145,15 a 151,38 g. Da Cunha et al. (2015b) observaram valores de peso de mil grãos de 175,73 a 204,98 g no cultivar NA5909RG, avaliando o efeito fitotônico de ingredientes ativos aplicados via tratamento de sementes. Beutler et al. (2014), avaliando a influência do excesso hídrico sobre a produção de soja, do cultivar BMX Potência RR, observaram peso de mil grãos no estádio fenológico R2 de 190 a 140 g, e no estádio fenológico R5 de 188 e 140 g quando submetidas a 2 e 32 dias ao excesso hídrico, respectivamente.

Comparativamente os valores médios obtidos neste estudo foram inferiores a todos os resultados relatados nas referências. Mas, como apresentado na referência acima, o aumento do período em que a planta está exposta ao excesso hídrico contribui para a redução do peso de mil grãos. Assim com base nos dados de evapotranspiração que não indicam ocorrência de déficit hídrico, mas demonstram que a precipitação foi superior a evapotranspiração. Desta forma, pode-se inferir que o excesso hídrico prejudicou todos os tratamentos, comprometendo este componente de produção, que influencia de forma direta na produtividade da cultura.

A produtividade, apresentou diferença estatística significativa no fator A. os valores das médias podem ser visualizados na Figura 14. A partir dos valores médios pode-se observar que o seu comportamento linear indica que profundidades do nível freático maiores que as utilizadas neste trabalho, podem gerar melhores produtividades.

Resultado semelhante foi encontrado na cultura do crambe, em que as produtividades apresentaram crescimento linear até a maior profundidade do nível freático testada de 60 cm, (CARPISKI et al., 2013). Calheiros et al. (2000) observou que o *T. aestivum* e *T. durum* cultivados sob profundidade do nível freático permanente de 15 cm, obtiveram produtividades equivalentes 46,5% e 47,4% respectivamente, da produtividade obtida em condições normais.

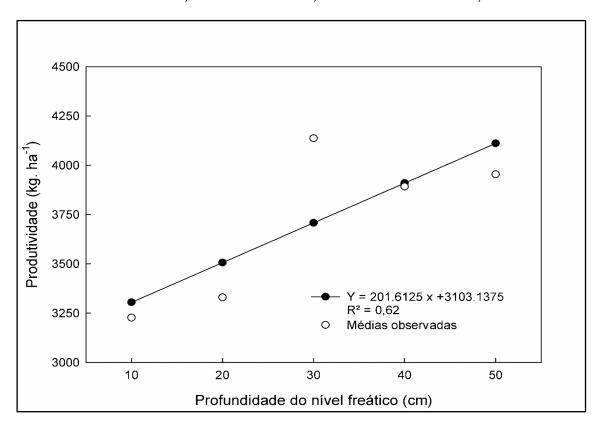


Figura 14 – Produtividade (kg. ha⁻¹), em função das diferentes profundidades do nível freático, na safra 2015/16, São João do Polêsine, RS

Conforme De Rossi et al. (2015), que avaliaram a influência das profundidades de nível freático de 60, 50, 40, 30, 20 e 10 cm para o cultivo da canola, constatou-se em seus resultados, que a partir de 40 até 60 cm são fornecidas as melhores condições para o desenvolvimento desta oleaginosa.

Além disso, no fator D não houve diferença estatística significa entre as cultivares utilizadas. Barzotto et al. (2016), observaram na cultura da soja, em terras altas, produtividades de 4827 kg. ha⁻¹, obtidos com irrigação suplementar de 120% da evapotranspiração. Dos Santos et al. (2014) observaram que ao longo de 13 safras o sistema de produção que utilizou a rotação trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja obteve uma produtividade média de 2.334 kg. ha⁻¹ após a cultura do trigo. Rocha (2016) obteve no cultivar TEC IRGA 6070 RR em uma área de terras altas a produtividade de 5146,4 kg. ha⁻¹ no município de Santa Maria, RS e em uma área de terras baixas a produtividade de 4643,6 kg. ha⁻¹, no município de Cachoeirinha. RS.

Desta forma, a partir dos resultados apresentados nas referências, verifica-se que as produtividades médias obtidas neste estudo foram superiores a alguns

trabalhos realizados em áreas de terras altas. Também, ao observar-se os valores médios encontrar-se-á na profundidade de 30 cm a produtividade mais elevada. Resultado este que concorda com o método utilizado neste trabalho o SEW_{30} para a mensuração do estresse por excesso hídrico no solo. Assim pode-se afirmar que é tecnicamente viável a manutenção da profundidade do nível freático em 30 cm para o índice SEW_{30} .

8 CONCLUSÃO

A utilização de camalhões de base larga apresentou as melhores condições para o cultivo de soja na área de terras baixas, nas condições que o estudo foi desenvolvido. As maiores produtividades obtidas foram de 2496,85 kg. ha⁻¹ na safra 2014/15, com o camalhão de base larga de 7,5 m, e 3.892,93 kg. ha⁻¹ na safra 2015/16 com o camalhão de base larga de 15 m.

O índice SEW₃₀ demonstrou que os camalhões de base larga foram mais eficientes na função de rebaixamento do nível freático, principalmente na dimensão de 7,5 m. Este fato se repetiu no IDS, em que novamente o camalhão de base larga de 7,5 m, foi superior aos demais tratamentos.

As cultivares BMX Potência RR e TEC IRGA 6070 RR, não apresentaram diferenças significativas entre si. Mas a profundidade do nível freático influenciou o desempenho produtivo, sendo que as profundidades de 10 e 20 cm foram inferiores às de 30, 40 e 50 cm.

Os camalhões de base larga possuem viabilidade econômica, mas em função da estabilidade produtiva e resultado econômico, o camalhão de base larga de 7,5 m, pode ser considerado a melhor opção para o cultivo de soja em terras baixas.

A profundidade do nível freático em 30 cm, é eficiente tecnicamente para ser utilizada como referência no índice SEW₃₀.

REFERÊNCIAS

AGUILA, L. S. H.; AGUILA J. S.; THEISEN G. Perdas na colheita na cultura da soja. **Embrapa Clima Temperado, Comunicado Técnico 271,** Pelotas, RS, Julho, 2005.

AHMED, F. et al. Waterlogging tolerance of crops: breeding, mechanism of tolerance, molecular approaches, and future prospects. **BioMed Research International**. Volume 2013. Disponível em: https://www.hindawi.com/journals/ bmri/2013 /963525/>. Acesso em: 23 out. 2016.

ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo do solo.** Brasília, Embrapa 2008.

ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration. **Irrigation and Drainage Paper,** 56. Roma: FAO, 1998. 297 p.

ALLIPRANDINI, L. F. et al. **Ganho Genético em Soja no Estado do Paraná,via Melhoramento no período de 1985/86 a 1989/90.** EMBRAPA, v. 28, n. 4, p. 487-49, 1993.

ALVES, J. D. et al. Mecanismos de tolerância da variedade de milho "saracura" (brs 4154) ao alagamento. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo,** v. 1, n. 1, p. 41-52, 2002.

ANDRADE, L. M.; REIS, A. E. G. Efeito da profundidade do lençol freático nas culturas de soja, de milho e de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 7, n. 6, p. 923-933, 1992.

ANDRADE, F. R. et al. Características agronômicas e produtivas da soja cultivada em plantio convencional e cruzado. **Revista de Agricultura,** v. 91, n. 1, p. 81-91, 2016.

AYARS J. E. et al. The resource potential of in-situ shallow ground water use in irrigated agriculture: a review. **Irrigation Science**, v. 24, p. 147-160. 2006.

BACANAMWO, M.; PURCELL, L. C. Soybean root morphological and anatomical traits associated with acclimation to flooding. **Crops Cience**, v. 39, p. 143-149, 1999.

BADINELLI, P. G. et al. Avaliação de genótipos de soja em áreas orizícolas do estado do rio grande do sul (rs) - safra 2014-2015. Pelotas: Congresso do arroz, 2015.

BAJGAIN, R. et al. Biomass production and yield of soybean grown under converted paddy fields with excess water during the early growth stage. **Field Crops Research**, v. 180, p. 221-227, 2015.

BAMBERG, A. L. et al. Densidade de um Planossolo sob sistemas de cultivo avaliada por meio da tomografia computadorizada de raios gama. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1079-1086, 2009.

BARBOSA, M. C. et al. Desempenho agronômico e componentes da produção de cultivares de soja em duas épocas de semeadura no arenito caiuá. **Semina: Ciências Agrárias,** Londrina, v. 34, n. 3, p. 945-960, maio/jun. 2013.

BARZOTTO, F. et al. Efeito da irrigação e da adubação nitrogenada nos parâmetros de desenvolvimento e nos componentes de produção da cultura da soja. **Revista Espacios**, v. 37, n. 21, 2016 Disponível em: http://www.revistaes.pacios.com/a16 v37n21/1637 2110.html/>. Acesso em: 26 mar. 2017.

BASSEGIO, D. et al. Variação do nível do lençol freático no crescimento de plantas daninhas. **Cultivando o Saber,** Cascavel, v. 5, n. 1, p. 146-157, 2012.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** Viçosa, Ed UFV. 8. ed. 625 p. 2006.

BEUTLER, A. N. et al. Soil hydric excess and soybean yield and development in Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v. 8, n. 10, p. 1461-1466. 2014.

BORELA, J. et al. Atividade de enzimas fermentativas em raízes e nódulos de soja sob condições de hipóxia e pós-hipóxia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 6, p. 970-977, jun. 2013.

CALHEIROS, R. O. et al. Efeito do manejo do lençol freático na adaptação fisiomorfológica de duas espécies de trigo ao encharcamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 194-202, 2000.

CARPINSKI, M. et al. a Sensibilidade da alface americana (*Lactuca sativa*) sob nível freático. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 2, n. 4, p. 55-64, 2013.

CARPISKI, M. et al. Sensibilidade do crambe (*Crambe abyssinica*) a variação de nível de lençol freático. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 2, n. 4, p. 36-45, 2013.

CAVALCANTE, A. K. **Seleção fenotípica de soja para a estabilidade e tolerância ao excesso hídrico.** 2012. 74 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

CHECHI, L.; SANCHES, F. O. A influência do ENOS (El Niño Oscilação Sul) nos totais anuais de precipitação em Erechim (RS) no período de 1958-1981. **Revista Geonorte,** v. 2, n. 5, p. 853-865, 2012.

COLLISCHONN, E. Mudanças na hidrografia da bacia do arroio castelhano, RS, Brasil, entre as décadas de 1980 e 2010. **Revista Geográfica de América Central,** Número Especial, p. 1-15, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. **Conab.** Brasília, v. 2, n. 12, 2015. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15 09 11 10 42 03 boletim-graos_setembro_2015.pdf>. Acesso em: 15 out. 2015.

- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Metodologia de cálculo de custo de produção da CONAB.** 2010. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1113&t=2 >. Acesso em: 15 out. 2015.
- COSTA, R. N. T. et al. Interferência do excesso de água no solo e componentes de produção em beterraba. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 1, jan./mar. 2008.
- CRUZ, T. V.; PEIXOTO, C. P.; MARTINS, M. C. Crescimento e produtividade de soja em diferentes épocas de semeadura no oeste da Bahia. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 11, n. 1, p. 033-042, 2010.
- DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. **Semina: Ciências Agrárias,** Londrina, v. 33, n. 2, p. 541-552, abr. 2012.
- DA CUNHA, R. P. et al. Efeito de diferentes resíduos de palhada de azevém anual sobre características estruturais de plantas de soja. **Revista Científica Rural-Urcamp,** Bagé, RS, v. 17, n. 1, 2015a.
- DA CUNHA, R. P. et al. Diferentes tratamentos de sementes sobre o desenvolvimento de plantas de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, Online. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20140742>. Acesso em: 15 out. 2015b.
- DE ROSSI, E. et al. Profundidade do lençol freático no cultivo de canola. **HOLOS**, Ano 31, v. 6, 2015.
- DOS SANTOS, H. P. et al. Rendimento de grãos e características agronômicas de soja em função de pastagens perenes em sistema de plantio direto. **Bragantia**, v. 14, n. 3, p. 319-326, 2014.
- DUARTE, S. N. et al. **Fundamentos de drenagem agrícola.** Fortaleza, CE. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 356 p. 2015.
- DUTRA, L. F. et al. Resposta do feijoeiro ao fósforo em dois níveis de umidade no solo. **Revista Brasileira de Agrociência,** Pelotas RS Brasil. v. 1, n. 2, p. 91-96, 1995.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** Brasília, 2. ed. 212p.1997.
- FARACO, J. R. et al. Rendimento de grãos e eficiência do uso de água da cultura do milho em áreas de cultivo de arroz inundado com diferente manejo de irrigação e drenagem. **Irriga,** Botucatu, Edição Especial, Grandes Culturas, p. 274-290, 2016. Disponível em: http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/artic le/view/1986>. Acesso em: 15 mar. 2017.
- FARIAS, R. T.; FOLEGATTI, M. V. Drenagem superficial de solos argilosos do norte do Paraná. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 178-182, 1999.

- FAVERO, D. Relação retorno x risco de sistemas integrados de produção agropecuária em terras baixas. 2015. 93f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development.** Ames: State University of Science and Technology, p. 11, 1977.
- FERREIRA, P. A. Drenagem em terras agrícolas. Viçosa. ed. UFV, 415 p., 2001.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia.** [online]. 2011, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141370542011000600001 Acesso em: 5 out. 2015.
- FINGER, M. I. F.; WAQUIL, P. D. Percepção e medidas de gestão de riscos por produtores de arroz irrigado na fronteira Oeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural,** Santa Maria, Online. v. 43 n. 5, p. 930-936. Mai. 2013. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/cr/2013nahead/a12113cr2012-0033.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2016.
- FIORIN, T. T. et al. Produção de silagem de milho sobre camalhões em solos de várzea. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 2 n. 1, 2009.
- FLECHA, P. A. Sensibilidade das culturas da batata (Solanun tuberosum L.) e da alface (Lactuca sativa L.) ao excesso de água no solo. 2004. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 2004.
- FRANCHINI, J. C. et al. Desempenho da soja em consequência de manejo de pastagem, época de dessecação e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 12, p. 1131-1138, dez. 2015.
- FRANKE, A. E.; DORFMAN, R. **Necessidade de irrigação suplementar em soja nas condições edafoclimaticas do Planalto Médio e Missões RS.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 35, n. 8, p. 1675 1683, 2000.
- GARCIA, G. O. et al. Fator de susceptibilidade e produtividade da ervilha para diferentes alturas de lençol freático. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias,** v. 5, n. 2, p. 265-271, abr./jun. 2010.
- GAVA, R. et al. Estratégias de manejo de déficit hídrico na irrigação da cultura da soja. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering,** v. 10, n. 3. p. 305-315, 2016.
- GAZOLA, D.; ZUCARELI, C.; CAMARGO, M. C. Comportamento germinativo de sementes de cultivares de milho sob condições de hipóxia. **Científica**, Jaboticabal, v. 42, n. 3, p. 224-232, 2014.
- GAZOLLA-NETO, A. et al. Níveis de umidade do solo de várzea e seus efeitos sobre a emergência e crescimento inicial de plântulas de soja. **INFORMATIVO ABRATES,** v. 22, n. 2, 2012.

GIACOMELLI, R. et al. Escarificação do solo e sulcadores em semeadora para cultivo de milho em Planossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.** Brasília, v. 51, n. 3, p. 261-270, mar. 2016.

GIORDANO, C. Resposta de soja a períodos de inundação em um gleissolo. 2014. 86 f. Dissertação (Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

GOMES, A. da S.; PAULETTO, E. A. Manejo do solo e da água em áreas de várzea. Pelotas, RS, **Embrapa Clima Temperado**, p. 11-36. 1999.

GRIFFIN, J. L.; SAXTON, A. M. Response of Solid-Seeded Soybean to Flood Irrigation. II. Flood Duration. **Agronomy Journal**, v. 80, 1988.

GUERRA FILHO, P. A. **Sensibilidade da Brachiaria brizantha cv. Marandu ao excesso de água no solo.** 2012. 47 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz" Piracicaba, SP. 2012.

HERZOG, M. et al. Mechanisms of waterlogging tolerance in wheat – a review of root and shoot physiology. **Plant, Cell and Environment,** v. 39, p. 1068-1086, 2016.

HILER, E. A. Quantitative evaluation of crop drainage requirements. **Transactions of the ASAE,** St Joseph, v. 12, n. 4, p. 499-505, 1969.

HIRAKURI, M. H. Avaliação do desempenho econômico-financeiro da produção de soja nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, para a safra 2011/12. **Embrapa Soja, Circular técnica 89,** Londrina, PR, 2011.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. **Soja em rotação com arroz – evolução, área e produtividade.** 2015a. Disponível em: http://www.irga.rs.gov.br/upload/20150806112855soja em rotação com arroz.pdf>. Acesso em: 20 set. 2015.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. **Custo de produção do arroz irrigado.** 2015b. Disponível em http://www.irga.rs.gov.br/upload/20150827150914custo_jan_2015_safra_2014_15_em_analise.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2015.

JATE, M. L. et al. Double no-till and permanent raised beds in maize—wheat rotation of north-western Indo-Gangetic plains of India: Effects on crop yields, water productivity, profitability and soil physical properties. **Field Crops Research**, v. 149, p. 291-299, 2013.

KANWAR, R. S.; BAKER, J. L.; MUKHTAR, S. Excessive soil water effects at various stages of development on the growth and yield of corn. **TRANSACTIONS of the ASAE**, v. 31, n. 1, 1988.

KLAMT, E. et al. **Solos do município de São João do Polêsine:** Características, classificação, distribuição geográfica e aptidão de uso. Santa Maria: UFSM, CCR, DEPARTAMENTO DE SOLOS, 1997. 93p.

KÖPP, L. M. ET al. Simulação da necessidade hídrica e estimativa de produtividade para cultura do milho em municípios do RS. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 2, p. 235-246, 2015.

KUSWANTORO, H. et al. Agronomical Characters of Some Soybean Germplasm under Waterlogging Condition. **Journal of Agronomy**, v. 14, p. 93-97, 2015.

LABEGALINI, N. S.; DAMIÃO, F. N.; ANDRADE, L. Desenvolvimento da cultura do milho sob efeitos de diferentes profundidades de compactação do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 3, n. 4, p. 7-11, out./dez. 2016.

LANZA, L. N. M.; ROSSI, S. C.; SODEK, L. Adubação nitrogenada beneficia soja alagada. **Bragantia,** Campinas, v. 72, n. 1, p. 2-9, 2013.

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

MAEKAWA, T.; SHIMAMURA, S.; SHIMADA, S. Effects of short-term waterlogging on soybean nodule nitrogen fixation at different soil reductions and temperatures. **Plant Production Science,** v. 14, n. 4, p. 349-358, 2011.

MARCHEZAN, E. Desenvolvimento de tecnologias para cultivo de soja em terras baixas. **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar,** v. 02, n. 01, 2016. Disponível em: http://codaf.tupa.unesp.br:8082/index.php/recodaf/article/view/22 >. Acesso em: 20 set. 2015.

MATSUO, N. et al. Root growth of two soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] cultivars grown under different groundwater level conditions. **Plant Production Science**, v. 16, n. 4, p. 374-382, 2013.

MEDRI, C. et al. O alagamento do solo afeta a sobrevivência, o crescimento e o metabolismo de *Aegiphila sellowiana* Cham. (Lamiaceae)? **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde,** Londrina, v. 33, n. 1, p. 123-134, jan./jun. 2012.

MENEGATTI, A. L.; DE BARROS, A. L. M. Análise comparativa dos custos de produção entre soja transgênica e convencional: um estudo de caso para o Estado do Mato Grosso do Sul. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro, v. 45, n. 01, p. 163-183, jan./mar. 2007.

MILLAR, A. **Drenagem de terras agrícolas: bases agronômicas.** São Paulo, ed. McGraw-Hill do Brasil, 1978.

MINATTO, J. K.; CORRÊA W. K. As estratégias de reprodução na agricultura familiar em Turvo (SC). **Geosul,** Florianópolis, v. 18, n. 36, p. 77-98, 2003.

MINGOTTI, R. et al. Efeito de velocidades de rebaixamento do nível freático em diferentes períodos de desenvolvimento da cultura da alface. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 10-16, 2006.

- MISSIO, E. L. et al. Desempenho de genótipos de soja em solo hidromórfico de várzea. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha,** Porto Alegre, v. 16, n. 1-2, p. 23-29, 2010.
- MORAES, P. V. D. et al. Competitividade relativa de soja com arroz-vermelho. **Planta Daninha,** Viçosa-MG, v. 27, n. 1, p. 35-40, 2009.
- MORENO, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. **Secretária da Agricultura**, Porto Alegre, Brasil, 42 p. 1961.
- MUKHTAR, S.; KANWAR, R. S.; BAKER, J. L. Corn Grown as Affected by Excess Soil Water. **Agricultural and Biosystems Engineering.** v. 33, n. 22, 1990.
- NASCENTE, A. S.; DA SILVEIRA, P. M.; WANDER, A. E. Viabilidade agroeconômica de rotação de culturas e manejo do solo em áreas irrigadas por aspersão. **Revista Ciências Agrárias,** v. 57, n. 1, p. 72-79, 2014.
- NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. Estresses de ordem ecofisiológica. In: BONATO, E. R. (Ed.). **Estresses em soja. Passo Fundo: Embrapa Trigo,** 2000. 254p.
- OLIVEIRA, C. O.; LAZARINI, E.; TARSITANO, M. A. A.; PINTO, C. C., DE SÁ, M. E. **Custo e lucratividade da produção de sementes de soja enriquecidas com molibdênio**. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 45, n. 1, p. 82-88, 2015.
- OLIVEIRA, L. F. C. et al. **Influencia da condutividade hidráulica na altura do lençol freático, espaçamento de drenos e na produtividade do milho.** Bioscience Journal, v. 19, n. 3, p. 35-41, 2003.
- OOSTERHUIS, D. M. et al. Physiological responses of two soybean [Glycine max (I.) Merr] cultivars to short-term flooding. **Environmental and Eyperimental Botany**, v. 30, n. 1, p. 85 92, 1990.
- PARFITT J. M. B.; PINTO, M. A. B.; TIMM, L. C. Efeito da Sistematização sobre Atributos Físicos, Químicos e Biológicos de um Solo de Várzea no Rio Grande do Sul. Embrapa Clima Temperado, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Pelotas, 2013.
- PAZZIN, D. Comportamento de cultivares de soja cultivadas em solos de várzea submetidas a períodos de excesso hídrico. 2012. 44 p. Dissertação (Mestre em Ciências) Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS. 2012.
- 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.
- PISICCHIO, C. M. et al. Heliocarpus popayanensis Kunth (Malvaceae) tolera a hipoxia do substrato? **Acta Scientiarum. Biological Sciences,** Maringá, v. 32, n. 2, p. 201-209, 2010.

- PRIOLLI, R. H. G. et al. Diversidade genética da soja entre períodos e entre programas de melhoramento no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.** v. 39, n. 10, p. 967-975, 2004.
- REIS, R. P. Fundamentos de economia aplicada. Lavras: UFLA/FAEPE, 2007.
- REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 39, 2012, Passo Fundo, RS. Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2012/2013 e 2013/2014. Passo Fundo. EMBRAPA, 2012. 142 p.
- RIBEIRO, F. C. et al. Desempenho agronômico de cultivares de soja na região central do Estado do Tocantins, safra 2014/2015. **Scientia Plena,** v. 12, n. 07, 2016.
- RICHETTI, A. Viabilidade econômica da cultura da soja na safra 2014/2015, em Mato Grosso do Sul. **Embrapa Agropecuária Oeste, Comunicado técnico 194,** Dourados, MS, 2014.
- RINALDI, G. A.; DECHECHI, E. C.; SOBRINHO, J. C. Análise comparativa dos custos de produção entre uma variedade de soja não transgênica e uma variedade transgênica em Toledo Paraná. **Revista Gestão Industrial,** v. 01, n. 03, p. 34-48, 2005.
- ROCHA, T. S. M. Desempenho da soja cultivada em solo hidromorfico e não hidroformico com e sem irrigação suplementar. 2016. 78 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016.
- RODRIGUES, J. F. Manejo da água na cultura do milho em gleissolo háplico distrófico típico. 2015. 62 p. Dissertação (Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2015.
- ROSA, J. A. Níveis de drenagem para a cultura do feijoeiro em várzeas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 28, n. 8, p. 947-954, ago. 1993.
- SANTOS, F. S. et al. Desenvolvimento da linhaça marrom em diferentes níveis de lençol freático. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 3, n. 1, p. 59-71, 2014.
- SARTORI, G. M. S. et al. Rendimento de grãos de soja em função de sistemas de plantio e irrigação por superfície em Planossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 50, n. 12, p. 1139-1149, 2015.
- SARTORI, G. M. S. et al. Sistemas de preparo do solo e de semeadura no rendimento de grãos de soja em área de várzea. **Ciência Rural,** Santa Maria, v. 46, n. 3, p. 492-498, mar, 2016.
- SÁ, J. S. et al. Suscetibilidade da ervilha a inundações temporárias do solo. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, SP, v. 23, n. 3, p. 496-503, set./dez. 2003.

- SCHÖFFEL, E. R. et al. Excesso hídrico sobre os componentes do rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural,** v. 31, n. 1, p. 7-12, 2001.
- SCHWERZ, F. et al. Soybean morphological and productive characteristics influenced by meteorological parameters and sowing dates. **Científica**, Jaboticabal, v. 44, n. 2, p.121-130, 2016.
- SHIMADA, S. et al. Effects of Water Table Control by Farm-Oriented Enhancing Aquatic System on Photosynthesis, Nodule Nitrogen Fixation, and Yield of Soybeans. **Plant Production Science**, v. 15, n. 2, p. 132-143, 2012.
- SILVA, J. J. C. et al. Drenagem Superficial para Diversificação do Uso dos Solos de Várzea do Rio Grande do Sul. **Embrapa Clima Temperado, Circular técnica**, Pelotas, RS, 2004.
- SILVA, J. J. C. et al. Culturas alternativas em sistema de camalhão de base larga na região costeira do Rio Grande do Sul. **Embrapa Clima Temperado, Comunicado Técnico,** Pelotas, RS, Julho, 2005.
- SILVA, J. J. C. et al Camalhões de base larga: Uma opção para drenagem superficial de várzeas muito planas na região costeira do Rio Grande do Sul. Pelotas, RS, **Embrapa Clima Temperado, Circular técnica,** n. 56, 8 p. 2006.
- SILVA, S. D. A. et al. Inheritance of tolerance to flooded soils in maize. **Crop Breading and Applied Biotechnology,** Viçosa, v. 7, n. 2, p. 165-172, 2007.
- SILVA, J. J. C. et al. Drenagem superficial para cultivos rotacionados em solos de várzea. **Embrapa Clima Temperado. Documentos,** n. 237, Pelotas, RS, 22 p. 2008.
- SILVA, T. A. et al. Condicionamento fisiológico de sementes de soja, componentes de produção e produtividade. **Ciência Rural,** Santa Maria, v. 46, n. 2, p. 227-232, 2016.
- SKAGS, R. W.; BREVÉ, M. A.; GILLIAM, J. W. Hydrologic and water quality impacts of agricultural drainage. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology,** v. 24, n. 1, p. 1-32, 1994.
- SOSBAI. Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil,** XXIX Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado. 2012. 176 p., il. Gravatal, SC.
- SOUZA, V. Q. et al. Componentes de rendimento em combinações de fungicidas e inseticidas e análise de trilha em soja. Global Science and Technology, Rio Verde, v. 08, n. 01, p. 167-176, 2015.
- STANLEY, C. D.; KASPAR, T. C.; TAYLOR, H. M. Soybean top and root response to temporary water tables imposed at three differente stages of growth. **Agronomy Journal.** v. 72, p. 341-346, 1980.

- TANAKA, A. A. **Desenvolvimento de plantas de sorgo submetidas a diferentes níveis de lençol freático.** Dissertação (Mestre em Agronomia) Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Botucatu, SP. 2010.
- TAVARES, A. C. S. et al. Velocidade de rebaixamento do nível freático na qualidade do caldo da cana-de-açúcar. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 3, p. 458-472, 2015.
- THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. Influência do déficit hídrico sobre o tamanho das sementes e vigor das plantulas de soja. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, v. 2, n. 1, p. 57-61, 1996.
- THOMAS, A. L. Rendimento de grãos de cultivares de soja na várzea. Pesquisa Agropecuária gaúcha, v. 6, p. 1294-1301, 2000.
- THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. **Soja Manejo para alta produtividade de grãos.** Porto Alegre. 248 p. 2010.
- THOMAS, A. L.; LANGE, C. E. **Soja em solos de várzea do sul do Brasil**. Porto Alegre: Evangraf, 128 p. 2014.
- TOMEI, L. K. et al. Sensibilidade ao crescimento inicial de eucalipto ao nível freático do solo. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 1, n. 2, p. 92-100, 2012.
- URACH, F. L. **Estimativa da retenção de água em solos para fins de irrigação.** 2007 81 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2007.
- VANTOAI, T. T. et al. Genetic variability for flooding tolerance in soybeans. **Crop Science**, v. 34, p. 1112-1115, 1994.
- VEDELAGO, A. et al. Fertilidade e aptidão de uso dos solos para o cultivo da soja nas regiões arrozeiras do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, IRGA, 2012. (Boletim Técnico, 12).
- VEDELAGO, A. **Adubação para a soja em terras baixas drenadas no Rio Grande do Sul.** 2014. 71 p. Dissertação (Mestrado em ciência do solo) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2014
- VELOSO, M. E. C. Potencialidade de impacto ambiental por nitrato, doses de N e flutuações do lençol freático para a cultura do milho sob sistema de drenagem. 2006. 126 p. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, SP, 2006.
- VERNETTI JUNIOR, F. de J.; GOMES, A. da S.; SCHUCH, L. O. B. Sustentabilidade de sistemas de rotação e sucessão de culturas em solos de várzea no Sul do Brasil. **Ciência Rural,** Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1708-1714, 2009.
- VIVAN, G. A. et al. Rendimento e rentabilidade das culturas da soja, milho e feijão cultivados sob condições de sequeiro. **Semina: Ciências Agrárias,** Londrina, v. 36, n. 5, p. 2943-2950, 2015.

ZANON, A. J. et al. Contribuição das ramificações e a evolução do índice de área foliar em cultivares modernas de soja. **Bragantia,** Campinas, v. 74, n. 3, p. 279-290, 2015.

ZENZEN, I. L. et al. Área Foliar e Volume do sistema radicular em plantas de soja inoculadas com estirpes de bradyrhizobium e submetidas ao alagamento. **Revista Brasileira de Biociências,** Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 1092-1094, 2007.