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

Miguel Chaiben Neto

IRRIGAÇÃO POR SULCOS PARA O CULTIVO DE MILHO EM ÁREAS DE ARROZ IRRIGADO

Santa Maria, RS

2019

Miguel Chaiben Neto

IRRIGAÇÃO POR SULCOS PARA O CULTIVO DE MILHO EM ÁREAS DE ARROZ IRRIGADO

Dissertação apresentada ao Programa 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 **Mestre em Engenharia Agrícola.**

Orientador: Prof. Dr. Adroaldo Dias Robaina

Santa Maria, RS
2019

Neto, Miguel Chaiben
Irrigação por sulcos para o cultivo de milho em áreas de arroz irrigado / Miguel Chaiben Neto.- 2019.
57 p.; 30 cm

Orientador: Adroaldo Dias Robaina
Coorientadora: Marcia Xavier Peiter
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2019

1. Irrigação por sulcos 2. Camalhões 3. Rotação de Culturas 4. Eficiência de irrigação I. Robaina, Adroaldo Dias II. Peiter, Marcia Xavier III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Miguel Chaiben Neto

IRRIGAÇÃO POR SULCOS PARA O CULTIVO DE MILHO EM ÁREAS DE ARROZ IRRIGADO

Dissertação apresentada ao Programa 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 título de **Mestre em Engenharia Agrícola.**

Aprovado em 28 de fevereiro de 2019:

_____

Adroaldo Dias Robaina, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

_____

Marcia Xavier Peiter, Dra. (UFSM)
(Coorientadora)

_____

Ana Rita Costenaro Parizi, Dra. (IFFar)

_____

Tonismar dos Santos Pereira, Dr. (UFPel)

Santa Maria, RS
2019

AGRADECIMENTOS

Ao professor orientador Dr. Adroaldo Dias Robaina pela oportunidade, ensinamentos, atenção, amizade e paciência depositada.

À professora coorientadora Dra. Marcia Xavier Peiter pela oportunidade, ensinamentos, atenção e amizade.

Ao professor e amigo Dr. Rafael Ziani Goulart do Instituto Federal Farroupila Campus Alegrete, pela amizade e todo o apoio prestado durante a execução deste trabalho.

À minha família, em especial aos meus pais Miguel e Marilete, a minha irmã Camila por todo o apoio, carinho, amor e incentivo ao longo da minha trajetória.

À minha namorada Mariane pelo carinho, amor, compreensão e incentivo a seguir em frente.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade.

Ao Instituto Federal Farroupilha Campus Alegrete, pela disponibilidade da área experimental e laboratórios que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos técnicos e laboratoristas do Instituto Federal Farroupilha Campus Alegrete por todo o suporte prestado durante a execução do experimento a campo.

Aos amigos integrantes do Grupo de Ensino Pesquisa e Extensão em Agricultura de Conservação (GEPEAC), por toda ajuda prestada durante as longas jornadas de coleta de dados.

Aos colegas e amigos do Laboratório Engenharia de Irrigação por toda a amizade, troca de experiências, e incentivo.

Aos amigos da Estância do Cinamomo e casa 80 pela amizade e companheirismo.

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

Muito Obrigado!

“Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário ver toda a escada.
Apenas dê o primeiro passo”.

(Martin Luther King)

RESUMO

IRRIGAÇÃO POR SULCOS PARA O CULTIVO DE MILHO EM ÁREAS DE ARROZ IRRIGADO

AUTOR: Miguel Chaiben Neto
ORIENTADOR: Adroaldo Dias Robaina

A utilização de culturas de sequeiro em rotação com arroz irrigado nas áreas de terras baixas do estado do Rio Grande do Sul, tem se mostrado como uma alternativa para a redução da infestação de plantas daninhas nas áreas de cultivo de arroz. No entanto, o ambiente naturalmente encontrado nessas áreas não é favorável ao cultivo de culturas de sequeiro. A utilização do milho nessa rotação traz benefícios no controle de plantas daninhas e redução no banco de sementes do solo. Contudo, seu cultivo nessas áreas esta sujeito às limitações edafoclimáticas que naturalmente ocorrem, o estresse por excesso ou déficit hídrico pode limitar significativamente o rendimento de grãos da cultura. A utilização de técnicas de cultivo que reduzam esses estresses é fundamental para o sucesso do sistema produtivo. O cultivo do milho em camalhões mostra-se como uma possível alternativa, devido o sulco formado entre os camalhões, que auxilia a drenagem e facilita o manejo da irrigação. Estudos que relacionem o cultivo de milho em áreas de várzea com a irrigação por sulcos podem contribuir para a adequada introdução dessa cultura na rotação com o arroz nessas áreas. Diante do exposto, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar o desempenho da irrigação por sulcos sob diferentes manejos do tempo de reposição de água nos parâmetros de dimensionamento e eficiência do sistema de irrigação, eficiência do uso de água, crescimento e produtividade de grãos de milho em terras baixas. O experimento foi conduzido em um arranjo bifatorial, sendo avaliado o efeito de 5 tratamentos de irrigação e 3 posições ao longo da unidade experimental. Durante o ciclo da cultura avaliou-se parâmetros de crescimento e rendimento da cultura do milho e os parâmetros de irrigações. Ao longo do período vegetativo da cultura, as irrigações não apresentaram efeito nos componentes de crescimento da mesma. Já no período reprodutivo houve resposta à irrigação incrementando a produtividade de grãos de 43,81 até 53,26% para os tratamentos com 100 e 0% do tempo necessário para a reposição da lâmina de irrigação, a eficiência da aplicação foi superior para os tratamentos com zero e 25% de reposição, sendo de 89,46 e 81,66% respectivamente. O manejo da irrigação não influenciou nos componentes de crescimento e rendimento do milho nas três posições avaliadas, a eficiência do uso da água e eficiência do uso da água da irrigação não apresentaram diferença para os tratamentos testados.

Palavras-chave: Rotação de culturas, camalhões, eficiência da irrigação.

ABSTRACT

IRRIGATION GROOVES FOR CORN CROP IN AREAS IRRIGATED RICE

AUTHOR: Miguel Chaiben Neto
ADVISOR: Adroaldo Dias Robaina

The use of rainfed crops in rotation with iwith irrigated rice in the lowland areas of the state of Rio Grande do Sul, has shown as an alternative to reduction weed infestation in rice growing areas. However, the environment naturally found in these areas is not conducive to the cultivation of rainfed crops. The use of corn in these rotations has benefits in the control of weeds and reduction in the soil seed bank. However, their cultivation in these areas is subject to the naturally occurring edaphoclimatic limitations, stress due to excess or water deficit can significantly limit grain yield of the crop. The utilization of cultivation techniques that reduce these stresses is fundamental to the success of the productive system. Corn cultivation in grooves shows up to possible alternative because of the groove formed between the ridges, which helps the drainage and facilitates irrigation management. Studies that relate maize cultivation in floodplain areas with irrigation by grooves may contribute to the proper introduction of this crop in rotation with rice in these areas. In view of the above, the present work has the objective of evaluating the performance of irrigation by furrows under different management of water replenishment time in the parameters of irrigation system sizing and efficiency, water use efficiency, growth and grain yield corn in the lowlands. The experiment was conducted in a two - factorial arrangement, were evaluated the effect of 5 irrigation treatments and 3 positions along the experimental unit. During the crop cycle, was evaluated corn growth and yield parameters and irrigation parameters. During the vegetative period of the crop, the irrigations had no presented effect in the growth components of the same. In the reproductive period, there was response to irrigation, increasing the productivity grain yield from 43.81 until 53.26% for treatments with 100 and 0% of the time required for the replacement of irrigation slides, the application efficiency was upper for the treatments with zero and 25% of replacement, being 89.46 and 81.66%, respectively. Irrigation management did not influence the components in maize growth and yield at the three evaluated positions, the water use efficiency and efficiency irrigation water did not present differences for the treatments tested.

Keywords: Rotation of crops, ridges, irrigation efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva de avanço da água no solo com suprimento completo ao final do sulco 22
Figura 2 – Curva de avanço da água no solo com déficit no suprimento de água ao final do sulco..... 23
Figura 3 – Imagem aérea da área experimental do Instituto Federal Farroupilha – Campus Alegrete, RS, 2018 24
Figura 4 – Ensaio de infiltração de água no solo após a formação dos camalhões, Alegrete RS, 2017 26
Figura 5 – Representação em corte dos sulcos/camalhões e das linhas de semeadura 27
Figura 6 – Semeadura e confecção dos sulcos e camalhões, Alegrete RS, 2017 28
Figura 7 – Distribuição das precipitações e irrigações durante a safra 2017/2018 ... 32
Figura 8 – Precipitação mensal da safra 2017/18 e precipitação mensal média de 10 anos. Alegrete.RS 39
Figura 9 – Umidades volumétricas durante o período de cultivo do milho na profundidade de 0 a 20 cm para o tratamento com 0% do tempo de reposição da lâmina de irrigação..... 40
Figura 10 – Umidades volumétricas durante o período de cultivo do milho na profundidade de 0 a 20 cm para o tratamento com 25% do tempo de reposição da lâmina de irrigação..... 40
Figura 11 – Umidades volumétricas durante o período de cultivo do milho na profundidade de 0 a 20 cm para o tratamento com 50% do tempo de reposição da lâmina de irrigação..... 41
Figura 12 – Umidades volumétricas durante o período de cultivo do milho na profundidade de 0 a 20 cm para o tratamento com 100% do tempo de reposição da lâmina de irrigação..... 41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores dos coeficientes *c* e *a* para diferentes tipos de solos 21
Tabela 2 – Granulometria do solo da área experimental do Instituto Federal Farroupilha, Alegrete RS, 2017 25
Tabela 3 – Atributos físico-hídricos do solo da área experimental do Instituto Federal Farroupilha, Alegrete RS, 2017 26
Tabela 4 – Componentes de crescimento da cultura do milho em função das lâminas de irrigação, Alegrete RS, 2017 34
Tabela 5 – Componentes de crescimento da cultura do milho de acordo com a posição ao longo da unidade experimental, Alegrete RS, 2017 35
Tabela 6 – Componentes de rendimento, diâmetro de espiga, número de grãos por espiga, índice de colheita e produtividade de grãos de milho para a safra 2017/2018. Alegrete, RS 36
Tabela 7 – Lâmina total (LT), Lâmina média das irrigações (LMI), eficiência do uso da água (EUA), eficiência do uso da água da irrigação (EUAI) e eficiência da aplicação (EA). Alegrete, RS. 42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
1.1 OBJETIVO GERAL 13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 13
2 REVISÃO DE LITERATURA 14
2.1 SISTEMAS DE PRODUÇÃO EM TERRAS BAIXAS 14
2.1.1 Solos 15
2.1.2 Rotação de culturas em terras baixas 16
2.1.3 Cultura do milho 17
2.1.4 Alternativas para o uso do solo 18
2.2 SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE 19
2.2.1 Irrigação por sulcos 19
3 MATERIAL E MÉTODOS 24
3.1 ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO 25
3.2 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO 27
3.3 VARIÁVEIS RELACIONADAS AS PLANTAS 30
3.4 AVALIAÇÕES ESTATÍSTICAS 31
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 32
4.1 COMPONENTES DE CRESCIMENTO DO MILHO 32
4.2 COMPONENTES DE RENDIMENTO DO MILHO 36
4.3 COMPONENTES DA IRRIGAÇÃO 38
5 CONCLUSÃO 44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 45
APÊNDICE 51

1 INTRODUÇÃO

A área cultivada com arroz (*Oryza sativa L.*) no Brasil na safra 2017/18 foi de 1.943,8 mil hectares, com uma produtividade de 5.802,0 kg ha^{-1} (CONAB, 2018b). O estado do Rio Grande do Sul (RS) é o maior produtor deste cereal no Brasil, com uma área cultivada anualmente entre 1,0 a 1,1 milhões de hectares, com produtividade média, na safra de 2017/18, de 7.293,0 kg ha^{-1} (CONAB, 2018b).

As áreas cultivadas com arroz irrigado no estado encontram-se com infestação de plantas daninhas, sendo o arroz-vermelho a principal invasora, interferindo diretamente na produtividade e na remuneração paga ao produtor. A principal dificuldade no controle do arroz-vermelho é o fato de pertencer à mesma família do arroz cultivado, além da dormência das sementes que proporciona uma germinação desuniforme durante o ciclo da cultura do arroz (RUBIN et al., 2014; SARTORI et al., 2014; SOUZA et al., 2014).

A rotação de culturas é uma alternativa para reduzir a infestação de plantas daninhas nas áreas de arroz irrigado, pois auxilia na quebra dos ciclos de doenças, quando a rotação de culturas é realizada com soja (*Glycine Max*) ou milho (*Zea mays L.*) com a tecnologia Roundup Ready$^{@}$ “RR” o manejo das plantas é facilitado pela possibilidade do uso de herbicidas como o glifosato, sendo esse um herbicida não seletivo que pode atuar no controle de plantas daninhas com folhas largas ou estreitas (VERNETTI JR et al., 2009; SOUZA et al., 2012; IKEDA, 2013).

A cultura do milho (*Zea mays L.*) é amplamente utilizada em sistemas de rotação podendo ser cultivada em diferentes meses do ano (BUSO; ARNHOLD, 2016). Para o estado do Rio Grande do Sul a semeadura em outubro é preferencial para sistemas de produção irrigados, visto que a maior demanda da cultura por radiação solar ocorrerá entre os meses de dezembro e janeiro, período de maior disponibilidade de radiação e área foliar da cultura do milho (pendoamento). A ocorrência de déficit hídrico durante o pendoamento e enchimento de grãos é extremamente prejudicial ao rendimento da cultura (VIAN et al., 2016; SERPA et al., 2012).

Para o cultivo de milho em rotação com o arroz irrigado é necessário utilizar técnicas de manejo, de modo a reduzir os estresses causados pelo ambiente. A utilização da semeadura em camalhões tem se mostrado como uma importante

alternativa, pois a formação do sulco entre as linhas de cultivo auxilia tanto na drenagem quanto na irrigação, favorecendo a utilização do milho neste contexto (SARTORI et al., 2015; FARACO et al., 2016; GIACOMELI et al., 2016).

A irrigação por sulcos nessas áreas é facilitada pela possibilidade de se utilizar estrutura já instalada para a irrigação do arroz. Estudos como o de Giacomeli et al. (2016) e Gollo (2016) indicam que o uso da semeadura em camalhões apresenta um melhor rendimento para a cultura do milho, quando comparada com o cultivo convencional praticado nessas áreas.

A Fronteira Oeste do RS é uma das principais regiões produtoras de arroz, sendo essa cultura fundamental na renda dos produtores e dos municípios. Cultivos alternativos que possam contribuir para intensificar o uso das áreas destinadas a cultura do arroz são importantes, pois diversificam a renda e auxiliam no manejo das lavouras. O manejo adequado da água é fundamental para o sucesso da rotação de culturas, visto que, na mesma safra ocorrem o cultivo de arroz irrigado e da cultura em rotação.

Diante do exposto, o presente trabalho teve o seguinte objetivo geral e específicos:

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho da irrigação por sulcos na cultura do milho em terras baixas, sob diferentes manejos do tempo de reposição de água.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar a eficiência de aplicação ao longo do sulco nos tratamentos irrigados nos diferentes tempos de reposição da lâmina de irrigação;

Verificar a eficiência de uso da água pelas plantas de milho com e sem a utilização da irrigação por sulcos, ao longo dos mesmos;

Avaliar aspectos de crescimento das plantas de milho e a produtividade de grãos nos diferentes manejos de irrigação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo elaborou-se uma revisão bibliográfica dos conceitos que fundamentam este trabalho.

2.1 SISTEMAS DE PRODUÇÃO EM TERRAS BAIXAS

O arroz é uma das principais fontes de alimento para a população mundial, sua produção é concentrada em solos de várzeas onde são cultivados cerca de 80% do total produzido (MARRENJO et al., 2016). No Brasil a área cultivada com arroz teve uma redução de 1,9% na safra 2017/18, isso se deve principalmente a redução da área cultivada em sequeiro que, em geral, são menos produtivas comparadas às áreas irrigadas. A região Sul do país composta pelos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul é a principal produtora de arroz no Brasil, onde o sistema de cultivo irrigado é utilizado em larga escala (CONAB, 2018a).

A cultura do arroz ocupa uma área de aproximadamente 3 milhões de hectares dos 4,4 milhões de hectares de terras baixas do estado do Rio Grande do Sul, sendo cultivados anualmente cerca 1 milhão de hectares. O restante da área destinada a cultura permanece em pousio, com vegetação espontânea ou destinada a pecuária extensiva (SOSBAI, 2014; PINTO et al., 2017).

As regiões orizícolas produtoras no estado do Rio Grande do Sul, podem ser divididas em: Fronteira Oeste, Campanha, Depressão Central, Planície Costeria Interna, Planície Costeira Externa e Região Sul (SHOENFELD, 2010; KLERING et al., 2013). A aptidão da cultura do arroz aos solos existentes nessas regiões fez com que o mesmo fosse cultivado sucessivamente ao longo dos anos (MARRENJO et al., 2016). Essa monocultura acabou ocasionando danos à cultura do arroz irrigado, sendo a infestação por plantas daninhas o principal. A competição com a cultura por luminosidade e nutrientes causa uma redução no rendimento de grãos. O arroz vermelho é a planta daninha que causa maior prejuízo, e como pertence a mesma espécie da cultura do arroz o seu controle é dificultado, uma vez não se pode usar herbicidas seletivos (KALSING et al., 2013; THEISEN, 2013; FARACO et al., 2016).

2.1.1 Solos

Os principais solos encontrados nas regiões fisiográficas onde se encontram as áreas de terras baixas do estado do Rio Grande do Sul são os Planossolos presentes em 54,3% das áreas, seguido pelos Neossolos (17,2%), Chernossolos (15,1%), Gleissolos (7,3%), Argissolos (3,9%), Vertissolos (1,3%) e Organossolos (0,9%) (PINTO et al., 2017).

Os Planossolos são caracterizados por serem mal drenados, com relevo suavemente ondulado a plano. Apresentam uma textura arenosa na superfície com passagem abrupta para textura argilosa em subsuperfície, a qual dificulta o manejo desses solos devido ao caráter expansivo das argilas 2:1, com umidade elevada possuem uma consistência plástica e pegajosa e quando secos são extremamente duros (STRECK et al., 2008).

Os Neossolos possuem uma formação mais recente, tendo em geral pouca profundidade para o desenvolvimento das raízes e uma baixa capacidade de armazenamento de água. São solos susceptíveis a degradação quando não manejados adequadamente, em alguns casos possuem afloramentos rochosos e lençol freático próximo a superfície, necessitando de um bom sistema de drenagem para o adequado cultivo (PINTO et al., 2017).

A classe dos Gleissolos apresenta uma mudança textural gradual conforme o aumento da profundidade, o que os diferencia dos Planossolos onde a mudança é de forma abrupta. Os Gleissolos ocorrem de maneira geral nas regiões mais baixas da paisagem como várzeas de rios e planícies próximas a lagoas, possuem uma drenagem natural baixa e lençol freático próximo a superfície. Estes fatores limitam o seu uso, pois há possibilidade de ocorrer excesso hídrico a culturas, e o uso de máquinas é restrito a uma pequena janela de friabilidade do solo (PINTO et al., 2017).

Caracterizados por terem um horizonte B incipiente os Chernossolos possuem argilas de alta atividade, encontrados em relevos planos da região da Fronteira Oeste, sua cor característica é preta e são naturalmente férteis, com isso dão origem as melhores pastagens nativas. No entanto suas propriedades físicas são limitantes, pois possuem argilas altamente expansivas e pegajosas quando saturados, dificultando a realização das operações (PINTO, 2004).

Os Plintossolos apresentam horizontes mosqueados, e geralmente ocupam porções mais elevadas do relevo, e também áreas de transição do final da coxilha para as terras baixas. Apresentam variações no nível do lençol freático, com elevação do nível em períodos chuvosos, principalmente durante o inverno.

De maneira geral os solos de terras baixas apresentam características como: alta densidade, relação micro/macroporos elevada, baixa velocidade de infiltração de água, topografia predominantemente plana e drenagem natural baixa, fazendo com que o solo permaneça saturado por um maior período de tempo, reduzindo teor de oxigênio para as raízes. Além disso, essas características contribuem para uma menor capacidade de armazenamento de água no solo (SOSBAI, 2014; RODRIGUES, 2015; MAAS, 2016).

2.1.2 Rotação de culturas em terras baixas

Os sucessivos cultivos de arroz irrigado em áreas de terras baixas ocasionaram uma elevação nos custos de produção, devido a maior incidência de doenças sendo a principal a brusone (*Pyricularia oryzae*). Esse monocultivo também favorece o aumento da infestação de plantas daninhas, na qual se destaca o arroz vermelho que possui sementes capazes de permanecerem viáveis no solo por longos períodos dificultando o seu controle e causando reduções na produtividade do arroz (SOSBAI, 2014; SILVA et al., 2017).

A introdução de culturas de sequeiro em rotação com o arroz irrigado é uma alternativa para sucesso desses sistemas produtivos, pois auxilia no controle de doenças, com a quebra dos ciclos, possibilita a ciclagem de nutrientes através dos diferentes enraizamentos e reduz a infestação de plantas daninhas devido a utilização de diferentes grupos químicos de herbicidas (VERNETTI JR et al., 2009; SHOENFELD, 2010; KALSING et al., 2013; FARACO et al., 2016). A rotação é o método mais eficiente para o controle do arroz vermelho, visto que, na utilização de milho ou soja é possível utilizar cultivares “RR” resistentes ao herbicida glifosato, facilitando assim o controle do arroz vermelho (SILVA et al., 2017).

A soja e o milho são as principais culturas utilizadas na rotação com o arroz irrigado, sendo que o sorgo e algumas forrageiras de estação fria também podem fazer parte do sistema dependendo da necessidade do produtor (SILVA et al., 2017).

A soja, mesmo sendo sensível ao excesso hídrico durante todo o seu ciclo é a cultura mais utilizada na rotação com o arroz. Essa ampla utilização se deve inicialmente a possível utilização de cultivares resistentes ao herbicida glifosato, que facilitou o controle das plantas daninhas (SOSBAI, 2014; SILVA et al., 2017). Atualmente, vem-se buscando um melhoramento genético para um bom desenvolvimento da cultura no ambiente de terras baixas, sendo lançada em 2013 a cultivar TECIRGA 6070 RR (LANGE et al., 2013), com o propósito de ser resistente a períodos de excesso hídrico.

A cultura do milho, assim como a da soja, também é sensível ao excesso hídrico em especial durante a fase inicial do seu desenvolvimento (EMBRAPA, 2013), a escolha de áreas com alguma declividade auxilia na drenagem superficial, visto que, os solos característicos das terras baixas possuem baixa condutividade hidráulica, o que dificulta a infiltração de água (SILVA et al., 2017).

2.1.3 Cultura do milho

A produção de milho representa um papel muito importante na agricultura global, sendo uma commodity utilizada na produção de rações e biocombustíveis (ALI et al., 2018). Para atender a demanda por alimentos global a produção de milho deverá aumentar 35% entre os anos de 2016 e 2050 (TILMAN et al., 2011). Para atingir esse aumento na produção, os efeitos do déficit hídrico devem ser minimizados, pois podem causar uma redução de produtividade de grãos de até 85% para a cultura (GREAVES; WANG, 2017).

Para a utilização do milho no contexto das terras baixas, fazem-se necessárias técnicas de manejo que propiciem um ambiente favorável para o desenvolvimento das plantas, a fim de minimizar os efeitos de excesso e déficit hídrico (SARTORI et al., 2015; GIACOMELI et al., 2016). A utilização de um sistema de drenagem eficiente é fundamental para o estabelecimento da cultura, sendo que a cultura do milho é sensível ao excesso hídrico, especialmente nos estágios iniciais do desenvolvimento (EMBRAPA, 2013; MAASS, 2016).

O milho necessita de 400 a 648 mm de água durante o seu ciclo de desenvolvimento, embora o estado do Rio Grande do Sul não apresente uma estação seca definida, as chances de ocorrer déficit hídrico durante o ciclo de

desenvolvimento do milho são altas (MATZANAUER et al., 2002; BERGAMASCHI et al., 2006), sendo o período entre os estádios de desenvolvimento pendoamento e início do enchimento de grãos o mais sensível ao déficit (SERPA et al., 2012). Desse modo, faz-se necessário o uso da irrigação para evitar possíveis reduções na produtividade e fornecer maior confiabilidade ao sistema produtivo (EMBRAPA, 2013).

2.1.4 Alternativas para o uso do solo

O método convencional de cultivo em áreas de arroz irrigado, vem sendo revisto devido a sua estabilização na produtividade, a infestação de plantas daninhas, a subutilização das áreas em pousio e as sucessivas operações de gradagens para o preparo do solo geraram uma camada compactada em subsuperfície, a qual provoca um aumento da densidade do solo dificultando a passagem de água, o que, para o arroz irrigado é benéfico, pois reduz a demanda de água e diminui a lixiviação de nutrientes (PINTO et al., 2004). Porém, a presença dessa camada compactada somada a baixa declividade geralmente encontrada nessas áreas dificulta a infiltração e o escoamento da água, com isso a camada superficial do solo permanece saturada por um período maior, reduzindo a aeração e dificultando o estabelecimento de culturas de sequeiro (GOMES et al., 2006).

A escarificação do solo é uma alternativa para romper a camada compactada em subsuperfície, no entanto, sua utilização deve ser avaliada dentro do sistema de produção da propriedade, pois a escarificação do solo pode resultar em um consumo excessivo de água na cultura do arroz irrigado (BAMBERG et al., 2017). Para Marchesan et al. (2013), o uso da escarificação do solo para romper a camada compactada proporcionou um melhor desenvolvimento do sistema radicular e uma absorção de nutrientes mais eficiente. O manejo do solo deve intervir na condição atual do solo de modo a produzir um ambiente propício para o desenvolvimento do sistema radicular das culturas, promovendo a aeração do solo de forma rápida mesmo em condições de precipitações elevadas.

O uso de camalhões de base larga pode ser uma alternativa para áreas muito planas, onde a largura pode variar até 20 metros sendo geralmente adequada a largura dos implementos de modo a facilitar as operações mecanizadas, entre os

camalhões é feito um dreno, o qual serve tanto para auxiliar a drenagem da área quanto para o manejo da irrigação (PARFIT et al., 2017).

O sistema de cultivo em microcamalhões, segundo Fiorin et al. (2009), favorece a drenagem superficial devido a formação de um caminho preferencial para o escoamento da água. Esse sistema é adequado para cultivos em linha, a declividade do sulco deve ser de 0,1% a 0,4% para evitar a erodibilidade do solo na ocorrência de precipitações elevadas. Quando utilizado os sulcos para a irrigação não se recomenda aplicar vazões maiores que 3,0 L s^{-1}, sendo usual vazões próximas a 0,5 L s^{-1} (PARFIT et al., 2017).

2.2 SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE

Na irrigação por superfície a água é conduzida diretamente pela superfície do solo, necessitando de alguma declividade para o seu escoamento. A irrigação por superfície pode ser realizada de três maneiras: via inundação, por faixas e por sulcos. Esses tipos de irrigação não devem ser utilizados quando o relevo do terreno é desuniforme e a declividade é acentuada, o microrelevo dentro da área a ser irrigada deve ser uniforme para evitar a falta ou acúmulo de água (BERNARDO et al., 2009; AZEVEDO NETTO, 2010).

A irrigação por superfície possui quatro fases que são: avanço, reposição, depleção e recessão. A fase de avanço é caracterizada a partir do momento em que a água é aplicada no início da parcela e termina quando a água chega no fim da parcela, o tempo no qual a água demora para percorrer a distância do início ao fim da parcela é denominado de tempo de avanço (DAKER, 1988; BERNARDO et al., 2009).

2.2.1 Irrigação por sulcos

O sistema de irrigação por superfície mais conhecido é o por sulcos, o mesmo adapta-se a praticamente todas as culturas e tem como limitações apenas solos muito permeáveis, devido a elevadas perdas por percolação e terrenos muito acidentados sem uma declividade preferencial (DAKER, 1988). Neste sistema a água não molha toda a superfície do solo, dependendo do espaçamento entre os

sulcos o perímetro molhado varia de 30 a 80% da superfície do solo. A medida com que a água avança ao longo do sulco ocorre a infiltração no fundo e nas laterais do sulco (KLAR, 2000; TESTESLAF, 2017). Aliado a técnica da irrigação por sulcos, a fertirrigação é uma alternativa viável, a eficiência da aplicação dos fertilizantes depende da distribuição ao longo do sulco, quando mal projetada pode causar lixiviação de nutrientes como nitrato e fósforo (EBRAHIMIAN et al., 2014).

A irrigação por sulcos é o método que exige maior demanda de mão de obra por unidade de área, e também necessita da experiência do irrigante de forma a manter a vazão derivada ao sulco constante. O custo de instalação e do sistema de irrigação por sulcos é inferior aos sistemas pressurizados, e é amplamente utilizado em culturas cultivadas em fileiras (CHEN; FENG, 2013). Como a água é conduzida sob a superfície do solo e a favor da declividade a pressão de serviço é baixa e a quantidade de tubulações utilizadas é pequena (TERTO et al., 2018).

A derivação da água dos canais de distribuição aos sulcos de irrigação pode ser feita, com o uso de sifões para derivar a água do canal principal ao sulco ou com o uso de tubos ou politubos equipadas com comportas ajustáveis. Esses métodos facilitam o controle da vazão de entrada necessária as irrigações, podendo ajustar-se o diâmetro das aberturas e sifões (BERNARDO et al., 2009). A máxima vazão que pode ser aplicada ao sulco sem que ocorra a erodibilidade do solo é descrita pela equação (1), a qual leva em consideração a textura do solo e a declividade do projeto.

$$Q_{max} = \frac{c}{S_0^a} \tag{1}$$

Onde:

Q_{max} = vazão máxima não-erosiva (L s^{-1});
S_0 = declividade do sulco (%);
c e *a* = parâmetros em função do tipo de solo.

A Tabela 1 apresenta os valores indicados para a e c de acordo com a granulometria de cada tipo de solo.

Tabela 1 – Valores dos coeficientes *c* e *a* para diferentes tipos de solos

Textura	*c*	*a*
Muito fina	0,892	0,937
Fina	0,988	0,550
Média	0,613	0,733
Grossa	0,644	0,704
Muito Grossa	0,665	0,548

Fonte: Adaptado de Bernardo et al. (2009)

Sistemas de irrigação por sulcos de modo geral apresentam uma baixa eficiência de aplicação, com valores de aproximadamente 45% quando é utilizado o método de irrigação convencional (LIMA FILHO, 2015). No entanto, quando mal dimensionados a eficiência pode atingir valores de apenas 30% (KIFLE; GEBRETSADIKAN, 2016). A quantificação da infiltração de água no solo é fundamental para o dimensionamento da irrigação por sulcos (MATTAR et al., 2015; YASSIN et al., 2016). Assim como, a análise do terreno onde os sistemas de irrigação por sulcos serão instalados, de modo a evitar que o micro relevo ao longo do sulco influencie durante a aplicação de água, seja pelo aumento na declividade ou pela elevação do fundo do sulco reduzindo o deslocamento da água (TERTO et al., 2018).

Gebramarian et al. (2018) pesquisando alternativas de manejo da irrigação por sulcos para aumentar a eficiência sem comprometer a produtividade desenvolveram um experimento utilizando a cultura da batata com diferentes lâminas de irrigação por sulcos, no qual encontraram que uma irrigação deficitária em 30% não prejudicou o rendimento da cultura e aumentou a eficiência do uso da água. Em estudo semelhante Kifle e Gebramarian (2016) encontraram que uma irrigação deficitária em 25% não afetou o rendimento da cultura e salientam a importância dessa melhoria na eficiência de uso da água, na redução do desperdício e possibilidade de aumentar a área irrigada com o mesmo volume utilizado em irrigações por sulcos convencionais.

Ebrahimian (2014) trabalhando em um solo franco arenoso com a cultura do milho testou três manejos da irrigação por sulcos, visando uma melhor eficiência e,

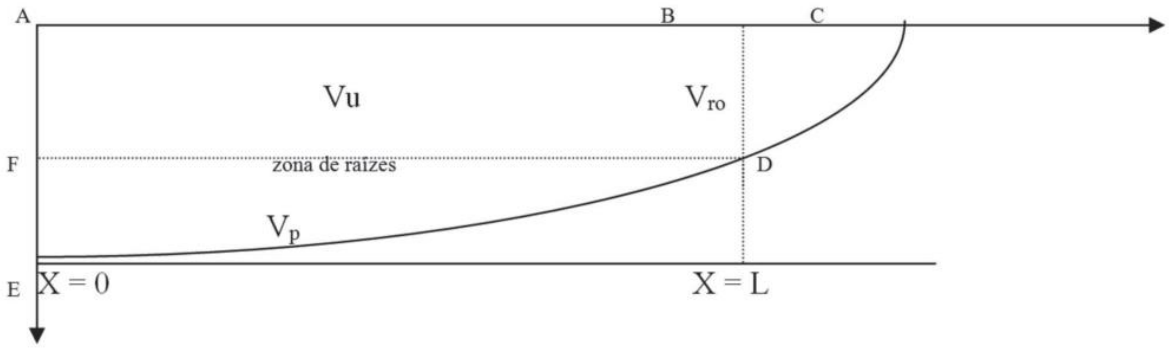
consequentemente uma economia de água. Na comparação entre dois métodos de irrigação por sulcos alternados com o convencional, os resultados do estudo indicam que as duas técnicas alternativas reduzem o escoamento no final da área irrigada.

A utilização de uma vazão intermitente de entrada de água no sulco é recomendada por González et al. (2014) como um método de irrigação vantajosa, pois quando comparada a irrigação por sulcos convencional apresentou uma economia de água, tempo de aplicação e energia.

A utilização de reduções da vazão máxima não erosiva após a chegada da água ao final do sulco de irrigação é uma alternativa para reduzir as perdas com escoamento (FLORES-GALLARDO et al., 2014). Para a redução da vazão de entrada, a resultante deve ser capaz de manter uma lâmina de água ao longo de todo o comprimento do sulco.

O tempo necessário para a aplicação completa da lâmina de irrigação necessária é dado pela soma do tempo em que a água leva para chegar do início ao final do sulco e o tempo para repor a quantidade de água necessária ao final do sulco (BERNARDO et al., 2009; TESTESLAF, 2017). Variações nos tempos de aplicação de água, são causadas principalmente por oscilações no tempo de avanço da água no solo. A Figura 1 ilustra o perfil de infiltração de água no solo ao longo do sulco, sendo a zona radicular da cultura totalmente irrigada ao final da parcela, atingindo uma eficiência de armazenamento e uniformidade de distribuição de 100% (CARVALHO et al., 2004).

Figura 1 – Curva de avanço da água no solo com suprimento completo ao final do sulco



Fonte: Adaptado de Lima Filho, (2015).

Onde:

V_u = Volume útil;

V_p= Volume percolado;

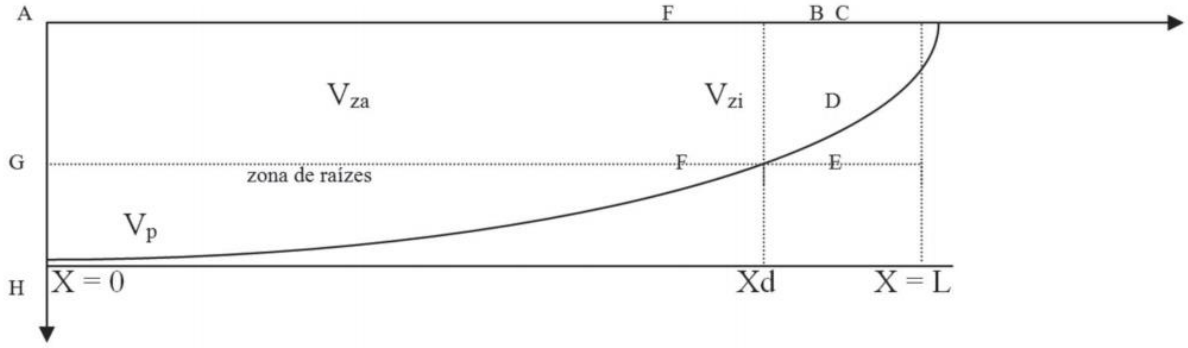
V_{ro}= Volume ao final do sulco;

X = Início do sulco;

L = Final do sulco.

A Figura 2 ilustra o perfil de infiltração de água no solo com suprimento de água deficitário a partir de um determinado comprimento (Xd) do sulco. Essa redução do volume de água disponível ao final da parcela de irrigação pode causar prejuízos ao desenvolvimento das culturas (LIMA FILHO, 2015). Variações no tempo de avanço ou alternativas de manejo da irrigação com reduções no tempo de reposição podem causar déficit hídrico as culturas no terço final dos sulcos, no entanto esses manejos incrementam a eficiência da aplicação de água (PAZ et al., 2000).

Figura 2 – Curva de avanço da água no solo com déficit no suprimento de água ao final do sulco



Fonte: Adaptado de Lima Filho, (2015).

Onde:

V_{za} = Volume infiltrado adequadamente;

V_p = Volume percolado;

V_{zi} = Volume infiltrado inadequadamente;

X_d = Distancia que define o começo da área inadequadamente irrigada;

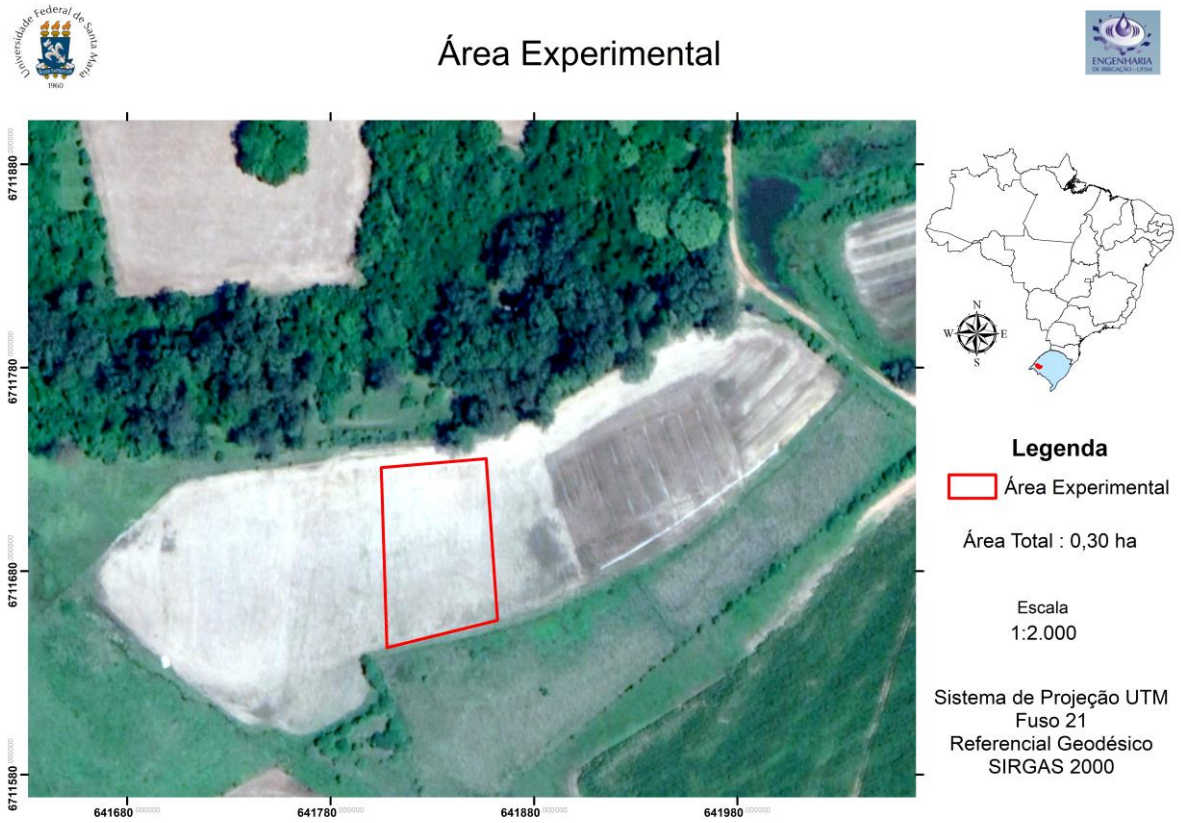
X = Início do sulco;

L = Final do sulco

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido durante a safra 2017/18, na área experimental de terras baixas (Figura 3) do Instituto Federal Farroupilha – Campus Alegrete, na região fisiográfica da Fronteira Oeste, do estado do Rio Grande do Sul.

Figura 3 – Imagem aérea da área experimental do Instituto Federal Farroupilha – Campus Alegrete, RS, 2018



Fonte: Flores, (2019).

A área experimental localiza-se a uma altitude de 90 metros, latitude 29°42’57,43” S e longitude 55°31’54,10” O. O clima da região, segundo a classificação de KÖEPPEN (MORENO, 1961) é do tipo cfa-subtropical úmido, sem estação seca e com temperaturas médias em 14,3°C no período do inverno e 26,3°C no período do verão, com precipitação anual média de 1400 mm. O solo da área experimental é classificado como Gleissolo Melânico típico (EMBRAPA, 2006) e na profundidade de 0 a 20 centímetros possui uma granulometria apresentada na

Tabela 2, a qual é classificada como Franco siltosa de acordo com a metodologia de classificação do triângulo textural.

Tabela 2 – Granulometria do solo da área experimental do Instituto Federal Farroupilha, Alegrete RS, 2017

Posição	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Classe textural
Início	4,25	63,80	31,95	Franco Siltosa
Meio	5,01	63,41	31,58	
Fim	2,50	63,70	33,80	
Média	3,92	63,64	32,44	

O experimento foi desenvolvido em um delineamento em blocos ao acaso com arranjo bifatorial e três repetições. Avaliou-se, como primeiro fator a influência de diferentes lâminas de irrigação, determinadas pelos tempos de reposição de água no solo ao final de cada unidade experimental: D1: 0%, o qual é constituído apenas pelo tempo de avanço da água no sulco, D2: 25%; D3: 50%; D4: 100% do tempo necessário para repor a lâmina necessária até capacidade de campo ao final da unidade experimental, e tratamento testemunha, sem irrigação (N.I.). O segundo fator avaliado foi a posição em relação ao começo do sulco de irrigação: A1: início (zero metros); A2: meio (25 metros); A3: fim (50 metros), sendo as coletas realizadas o mais próximo possível dessas distâncias. Os sulcos foram construídos com declividade de 0,1% e as unidades experimentais eram constituídas de 3 m de largura e 50 m de comprimento, totalizando 150 m^2.

3.1 ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO

Os atributos físico-hídricos do solo foram avaliados após à semeadura, a fim de caracterizar a área em estudo. As determinações de densidade, macroporosidade, microporosidade, porosidade total foram realizadas conforme descrito nos procedimentos para coleta e análise de solos (EMBRAPA, 2011). A Tabela 3 apresenta os valores médios dos atributos físico-hídricos para o início, meio e fim da área experimental, coletados sobre os camalhões.

Tabela 3 – Atributos físico-hídricos do solo da área experimental do Instituto Federal Farroupilha, Alegrete RS, 2017

Posição	Densidade ($g.cm^3$)	Porosidade Total (%)	Macroporos (%)	Microporos (%)
Início	1,47	44,16	34,88	65,12
Meio	1,58	40,22	38,34	61,66
Fim	1,56	40,41	36,70	63,30
Média	1,54	41,60	36,64	63,36

A infiltração de água no solo foi determinada pelo método do infiltrômetro de duplo anel (Figura 4), conforme metodologia descrita por Sato et al. (2012). Para a determinação da infiltração, o conjunto dos anéis concêntricos foi colocado sobre os camalhões na linha de semeadura, no inicio, meio e fim da unidade experimental. A avaliação foi realizada após a semeadura da cultura do milho, com o sistema de sulcos e camalhões já formados.

Figura 4 – Ensaio de infiltração de água no solo após a formação dos camalhões, Alegrete RS, 2017

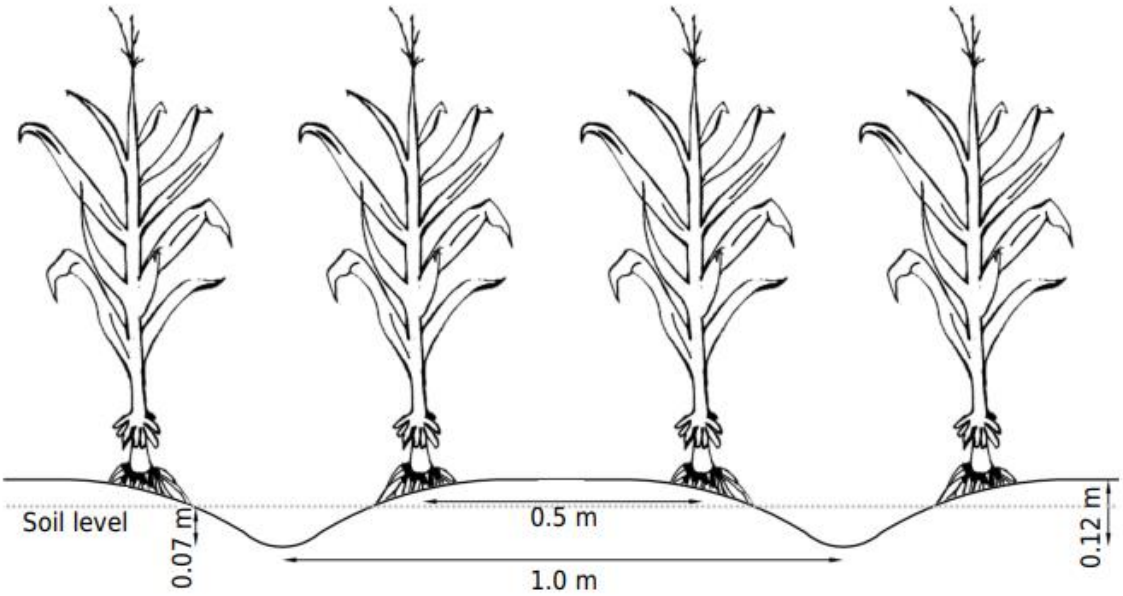
Fonte: Chaiben (2019).

Para determinar a curva de retenção de água no solo, foram coletadas amostras indeformadas de solo e com a utilização da câmara de Richards as mesmas foram submetidas aos potenciais -1, -6, -100, -1000 e -1500 kPa. As umidades volumétricas para cada potencial matricial foram de 0,42 0,31 0,27 0,17 e 0,10 (m^3 m^{-3}) respectivamente, sendo o volume de água armazenado na capacidade de campo de 0,31 (m^3 m^{-3}) e o volume no ponto de murcha permanente de 0,10 (m^3 m^{-3}), a capacidade de água disponível para as plantas é de 0,21 (m^3 m^{-3}).

3.2 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

A confecção dos sulcos e camalhões foram realizadas concomitantemente à semeadura com auxílio de uma semeadora-adubadora camalhoneira, que realiza as três operações simultâneas conforme a Figura 6. A semeadora é composta por 6 hastes sulcadoras nas linhas de semeadura para a deposição do adubo e possui 3 mecanismos de aivecas, responsáveis pela formação dos sulcos e camalhões. A Figura 5 ilustra a configuração dos camalhões, onde cada um possui uma altura de aproximadamente 0,12 metros, espaçamento entre cristas de 1 metro de largura e comporta duas linhas da cultura espaçadas a 0,5 metros.

Figura 5 – Representação em corte dos sulcos/camalhões e das linhas de semeadura



Fonte: Adaptado Giacomelli et al., (2017)

Para a distribuição de água nos sulcos irrigados foi utilizado um politubo de 250 mm de diâmetro e espessura do material de 254 micrômetros equipada com um conjunto de comportas. Durante a fase de avanço da água no sulco foi utilizado uma

comporta de 1 polegada de diâmetro e durante a fase de reposição da lâmina de irrigação foi utilizado uma comporta de ¾ de polegada.

O monitoramento do conteúdo de água no solo durante o período de cultivo foi realizado com sensores de capacitância 10HS, os dados foram armazenados por um datalogger ao longo do ciclo da cultura, os sensores monitoraram a umidade presente na camada de 5 a 15 cm de profundidade. Como critério de irrigação foi adotado como referência o limite médio de umidade do solo da camada 0,0-0,2 m de 60% do limite superior de disponibilidade de água no solo. A lâmina de irrigação a ser reposta foi calculada com base na diferença de umidade média do solo na camada 0,0-0,2 m no início, meio e fim da unidade experimental.

Figura 6 – Semeadura e confecção dos sulcos e camalhões, Alegrete RS, 2017

Fonte: Chaiben, (2019).

Para determinar a vazão máxima durante a fase de avanço foram realizados ensaios com diferentes vazões até chegar em uma condição que não causasse erosão ao longo do sulco. Após os testes a vazão utilizada foi de 0,8 L s^{-1} durante a fase de avanço da água no sulco, e após essa fase, reduzida em 50% mantendo

uma lâmina em todo o comprimento do sulco. A quantidade de água aplicada durante as irrigações foi calculada através da razão entre a vazão adotada e o tempo necessário para repor a lâmina de irrigação, sendo que, no tratamento D1 o fornecimento de água foi suspenso ao final da fase de avanço. Já os tratamentos D2, D3 e D4 receberam água durante a fase de avanço e mais 25%, 50% e 100% respectivamente, do tempo de reposição da lâmina necessária no final do sulco. O volume de água excedente foi quantificado com auxílio de uma calha de fundo plano, previamente calibrada, instalada no final dos sulcos. O volume de água excedente foi calculado pela equação (2) abaixo:

$$Q_f=0,3488.h^{1,1651} \quad (2)$$

Onde:

Q_f = Vazão de saída (L min^{-1})
h = Altura da lâmina de água (cm)

O tempo de avanço da água no sulco para a declividade adotada no estudo foi determinado através da quantificação do tempo necessário para que a água aplicada no início do sulco de irrigação chegasse ao final do mesmo, em condição de umidade de 60% do limite superior de disponibilidade de água no solo. As medições foram realizadas a cada 10 metros de comprimento. Com esses dados foi determinada a curva ou equação de avanço, conforme metodologia proposta por Bernardo et al. (2009).

A eficiência de aplicação foi determinada a partir da relação entre a quantidade de água armazenada na camada de 0,0 - 0,20 m após os eventos de irrigação e a quantidade total de água aplicada na irrigação. A quantidade de água armazenada foi quantificada a partir da determinação da umidade do solo nessa camada.

A uniformidade de aplicação reflete a efetividade da infiltração ao longo do sulco e foi estimada através da lâmina infiltrada no início e no final do sulco, conforme metodologia descrita por Bernardo et al. (2009).

3.3 VARIÁVEIS RELACIONADAS AS PLANTAS

A semeadura do milho foi realizada no dia 7 de dezembro de 2017, utilizando o híbrido Agroceres AG 8780 VT PRO3, de ciclo precoce, com uma densidade de semeadura de 70.000 plantas por hectares. A adubação de base foi realizada a partir do laudo de análise do solo, o qual apresentou as seguintes características: pH = 4,5; P = 12,9 mg dm^{-3}; K = 40 mg dm^{-3}; Ca = 0,8 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg = 0,5 $cmol_c$ dm^{-3}; e MO = 1,4%. Com a qual foi realizada uma recomendação de 140 kg ha^{-1} de Nitrogênio (N), 150 kg ha^{-1} de Fósforo (P) e 140 kg ha^{-1} de Potássio (K). O fertilizante aplicado na base possuía a formulação 5:20:20 e foram distribuídos 400 kg ha^{-1} na linha de semeadura. O restante necessário para atender a recomendação foi aplicado em cobertura, sendo o Nitrogênio fracionado em duas aplicações de 90 kg ha^{-1} cada, nos estádios V3 e V6. Os demais tratos culturais foram realizados conforme recomendações técnicas para cultura (EMBRAPA, 2013).

As análises de planta foram realizadas no início, meio e fim de cada unidade experimental. O índice de área foliar (IAF) e massa seca da parte aérea foram avaliados nos estádios V6, V10 e VT, sendo coletadas 5 plantas em cada ponto de análise na unidade experimental. O IAF foi determinado medindo o comprimento (C) e a largura (L) de todas as folhas com 50% de sua área verde e calculada através da equação (3) (STICKLER et al., 1961). sendo utilizado a média das 5 plantas analisadas para calcular a área foliar total. As mesmas plantas foram utilizadas para determinar o diâmetro do colmo e a altura de planta, a qual foi medida desde o solo até a altura de inserção da última folha com a lígula definida. Após as avaliações as plantas de milho foram levadas a estufa com circulação de ar a 65 ºC até atingirem peso constante, sendo posteriormente pesadas em balança de precisão.

$$A = C.L.0,75 \quad (3)$$

Onde:

A = Área foliar (cm^2)

Para avaliar os componentes de rendimento de grãos foram coletadas as espigas de uma área de 5 m² nos três pontos já mencionados. Após a colheita foi realizada a trilha retirando as impurezas, realizando-se as medições do diâmetro das espigas, número de grãos por espiga e a pesagem dos grãos, corrigindo-se a umidade dos grãos para 13%.

A eficiência do uso da água foi calculada pela equação (4), para os diferentes tratamentos através da razão entre o rendimento de grãos de milho e o volume de água total recebido pela cultura ao longo do ciclo de cultivo.

$$EUA = \frac{\text{Produtividade } (Kg.m^{-2})}{\text{Lâmina total (mm)}} \quad (4)$$

3.4 AVALIAÇÕES ESTATÍSTICAS

Os dados obtidos foram submetidos ao teste das pressuposições do modelo matemático (normalidade e homogeneidade das variâncias). A análise da variância foi realizada através do teste F a 5 % de probabilidade de erro. As diferenças entre as médias foram comparadas pelo teste de Tukey para os parâmetros de planta. As diferenças nas médias dos parâmetros de irrigação foram comparadas pelo teste t a 5% de probabilidade de erro.

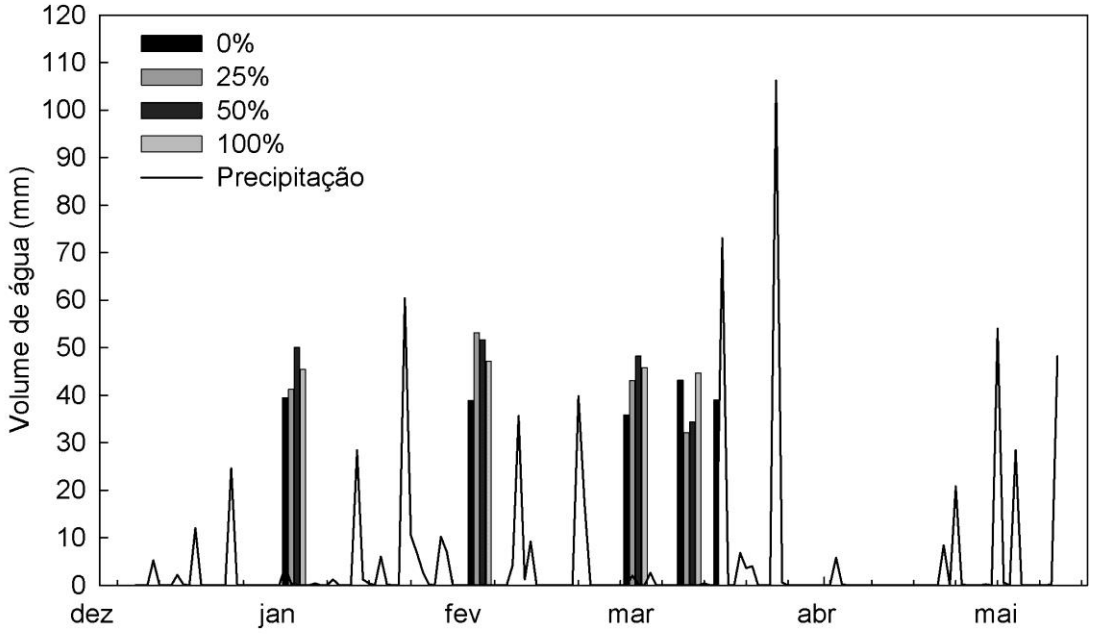
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos após a execução do experimento de forma a avaliar a o uso da cultura do milho irrigado por sulcos em áreas de terras baixas.

4.1 COMPONENTES DE CRESCIMENTO DO MILHO

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos durante o decorrer do experimento para as avaliações de altura de planta, diâmetro de colmo, índice de área foliar (IAF), massa seca da parte aérea. A Figura 7 mostra a distribuição das precipitações e irrigações ao longo do crescimento da cultura do milho.

Figura 7 – Distribuição das precipitações e irrigações durante a safra 2017/2018



Fonte: Chaiben (2019)

As irrigações ocorreram aos 26, 57, 83, 92 e 95 dias após a semeadura, sendo a última irrigação aplicada apenas ao tratamento sem a fase de reposição (0%).

Para os componentes de crescimento o delineamento de blocos foi efetivo, pois a maioria dos parâmetros avaliados apresentaram diferença significativa, as lâminas de reposição e as posições ao longo da unidade experimental não apresentaram interação para os parâmetros avaliados.

A Tabela 4 apresenta o resultado das coletas realizadas aos 34, 54 e 76 dias após a semeadura (DAS). O diâmetro do colmo não foi influenciado pelas irrigações ao longo do crescimento da cultura. A altura das plantas e massa seca da parte aérea apresentaram um melhor desempenho para os tratamentos irrigados apenas na última coleta aos 76 DAS, não havendo diferença entre os tratamentos com irrigação. Corroborando com os resultados obtidos nesse estudo Gollo (2016) em experimento conduzido em um Planossolo avaliando o efeito do uso da irrigação por sulcos na cultura do milho, não encontrou diferença entre os tratamentos durante o período de crescimento vegetativo para os componentes altura de plantas e diâmetro de colmo.

O índice de área foliar (IAF) obteve um melhor desempenho para os tratamentos com irrigação nas três análises realizadas durante o período de crescimento da cultura do milho. Fiorin et al. (2009) em experimento conduzido em duas safras sob influência do fenômeno *El Nino* obteve valores de IAF próximos para os tratamentos em camalhões com e sem irrigação. Já no presente estudo, o IAF foi influenciado pelas irrigações, devido a má distribuição das precipitações ao longo da estação de crescimento ocorreu um período entre os 18 e 38 DAS sem precipitações durante a fase inicial do estabelecimento da cultura.

Tabela 4 – Componentes de crescimento da cultura do milho em função das lâminas de irrigação, Alegrete RS, 2017

Tratamentos (%)	Altura de planta (cm)	Diâmetro de colmo (cm)	IAF	Massa seca ($t.ha^{-1}$)
		34 DAS		
0	57,10 ns*	1,77 ns	0,35 a	0,70 ns
25	52,50	1,75	0,33 ab	0,64
50	54,04	1,68	0,32 ab	0,67
100	54,83	1,78	0,33 ab	0,68
N.I**	54,97	1,65	0,23 b	0,62
CV (%)***	9,37	11,71	24,94	19,65
		54 DAS		
0	166,20 ns	2,05 ns	2,10 a	3,43 ns
25	157,91	2,02	2,05 a	3,70
50	158,26	2,03	2,09 a	3,70
100	157,20	2,07	2,08 a	3,73
N.I**	156,97	2,14	1,62 b	3,74
CV (%)***	5,76	4,41	10,34	13,26
		76 DAS		
0	200,34 ab	1,99 ns	3,10 a	10,00 ab
25	204,02 a	2,00	3,22 a	10,07 ab
50	198,26 ab	2,06	3,20 a	10,15 ab
100	199,85 ab	1,97	2,87 a	10,29 a
N.I**	190,75 b	1,90	2,03 b	8,97 b
CV (%)***	4,43	6,99	10,64	9,12

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente na coluna; * médias não diferem significativamente; ** não irrigado; *** coeficiente de variação.

A posição ao longo da unidade experimental apresentou diferença apenas para massa seca na primeira coleta de dados (Tabela 5), sendo a seção do início a qual apresentou a menor massa seca, essa redução pode ter sido causado por excesso hídrico durante a irrigação em algum dos tratamentos, visto que a cultura do milho é sensível a esse estresse principalmente durante sua fase inicial de crescimento (EMBRAPA, 2013).

O regime das precipitações durante o período vegetativo da cultura do milho favoreceu o crescimento do tratamento sem irrigação, pois logo após as irrigações para os 4 tratamentos ocorreram precipitações que elevaram o volume de água armazenado no solo, com isso o crescimento das plantas não foi afetado por déficit hídrico, o que justifica os tratamentos com irrigação não apresentarem um melhor desenvolvimento. Em condições de escassez no fornecimento de água a cultura deve-se priorizar um adequado fornecimento de água durante o período reprodutivo do milho, por ser esse o mais sensível ao déficit hídrico causando severas reduções na produtividade de grãos (BAUMHARDT et al., 2013; BENJAMIN et al., 2015).

Tabela 5 – Componentes de crescimento da cultura do milho de acordo com a posição ao longo da unidade experimental, Alegrete RS, 2017

Tratamentos	**Altura de planta (cm)**	**Diâmetro de colmo (cm)**	**IAF**	**Massa seca ($t.ha^{-1}$)**
		34 DAS		
Início	53,76 ns*	1,67 ns	0,29 ns	0,59 b
Meio	55,28	1,78	0,34	0,73 a
Fim	55,02	1,75	0,31	0,66 ab
CV (%)**	9,37	11,71	24,94	19,65
		54 DAS		
Início	152,48 b	2,03 ns	1,89 ns	3,41 ns
Meio	163,64 a	2,09	2,06	3,78
Fim	161,8 a	2,07	2,00	3,80
CV (%)**	5,76	4,41	10,34	13,26
		76 DAS		
Início	194,36 ns	1,97 ns	2,86 ns	9,50 ns
Meio	200,21	1,98	2,77	9,96
Fim	201,37	2,02	3,01	10,22
CV (%)**	4,43	6,99	10,64	9,12

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente na coluna; * médias não diferem significativamente; ** coeficiente de variação.

4.2 COMPONENTES DE RENDIMENTO DO MILHO

Os componentes de rendimento (Tabela 6), número de grãos por espiga e índice de colheita apresentaram diferença significativa para as lâminas de irrigação, quando comparadas ao não irrigado. Para as posições ao longo da unidade experimental não houve diferença entre os tratamentos. No entanto, os resultados apresentam uma diferença 677 (kg ha^{-1}) entre as posições do meio e final da unidade experimental, esse decréscimo de produtividade à nível de produtor deve ser considerado no planejamento das lavouras.

Maas et al. (2015) em trabalho desenvolvido na safra 2013/14 com 4 híbridos de milho e dois tipos de sistemas de irrigação (aspersão e sulcos), na cidade de Cachoerinha na Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul em um Gleissolo Háplico típico, encontraram diferença nos componentes de rendimento entre os tratamentos não irrigados e irrigado.

Tabela 6 – Componentes de rendimento, diâmetro de espiga, número de grãos por espiga, índice de colheita e produtividade de grãos de milho para a safra 2017/2018. Alegrete, RS

Tratamentos	**Diâmetro da espiga (cm)**	**Número de grãos (espiga)**	**Índice de colheita**	**Produtividade ($kg.ha^{-1}$)**
		Lâminas de irrigação		
0	5,130 ns*	456,81 a	0,485 a	7.917.80 a
25	5,055	460,48 a	0,492 a	7.570,13 a
50	5,058	459,63 a	0,488 a	7.914,28 a
100	5,134	451,75 a	0,477 a	7.481,18 a
N.I**	4,980	400,57 b	0,404 b	5.166,22 b
CV (%)***	2,84	7,59	6,33	18,51
		Posição na unidade experimental		
Início	5,055 ns	452,83 ns	0,463 ns	7.214,50 ns
Meio	5,099	446,71	0,470	7.546,34
Fim	5,061	438,02	0,476	6.868,93
CV (%)	2,84	7,29	6,33	18,51

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente na coluna; * médias não diferem significativamente; ** não irrigado; *** coeficiente de variação.

O tratamento irrigado por sulcos obteve uma média de 518 grãos por espiga para os quatro híbridos testados, já o tratamento sem a utilização de irrigação o número de grãos por espiga foi de apenas 182. os resultados obtidos neste estudo para os tratamentos irrigados foram semelhantes aos autores supracitados, no entanto, para a testemunha sem irrigação o resultado foi 2,20 vezes superior ao obtido pelos autores.

Faraco et al. (2016) em experimento com irrigações por sulcos e por inundação e três posições ao longo da parcela com declividade de 0,08 % não encontrou diferença significativa para os componentes de rendimento para as analises realizadas ao longo da unidade experimental para o manejo de irrigação por sulcos, já o tratamento com irrigação por inundação o final da parcela apresentou uma redução da produtividade de grãos significativa. Os resultados encontrados por Faraco et al. (2016) e MAAS et al. (2015) são coerentes com os encontrados neste estudo, onde a posição ao longo da parcela não influenciou nos componentes de rendimento do milho, e o uso de técnicas de irrigação resultou em um incremento dos mesmos.

Zheng et al. (2019) realizaram um levantamento global de dados publicados desde 1970 até 2018 para a cultura do milho. Este banco de dados contou com 1490 observações de campo em 21 países, sendo os dados dos experimentos foram divididos em irrigado e não irrigados. Como resultados da pesquisa os autores encontraram um incremento significativo de 14,90%, 8,34% e 8,43% no número de grãos por espiga, diâmetro de espiga e índice de colheita, respectivamente, para os tratamentos com o uso de irrigação. Esses resultados corroboram com o presente estudo, onde o incremento no número de grãos por espiga e no índice de colheita foi de 14,03%, 14,95%, 14,74%, 12,77% e 20,00%, 21,78%, 20,79%, 18,06%, respetivamente, para os tratamentos com 0, 25%, 50% e 100% do tempo de reposição da lâmina necessária. Para o diâmetro de espiga o resultado foi inferior ao citado e não apresentou diferença significativa entre os tratamentos testados.

A produtividade por hectare teve diferença entre o tratamento não irrigado e os tratamentos irrigados, os quais obtiveram um incremento de produtividade de 53,26%, 46,53%, 53,19% e 44,81% para os respectivos tratamentos com 0, 25, 50 e 100% do tempo necessário para a reposição da lâmina de irrigação. Para Zheng et al. (2019) a irrigação complementar ao longo do desenvolvimento da cultura do milho

com uma lâmina de 146 mm contribuiu para um incremento de 30,35% na produtividade de grãos. O incremento de produtividade foi superior neste estudo, no entanto, a lâmina de irrigação aplicada em todos os tratamentos irrigados foi superior ao citado pelos autores supracitados.

4.3 COMPONENTES DA IRRIGAÇÃO

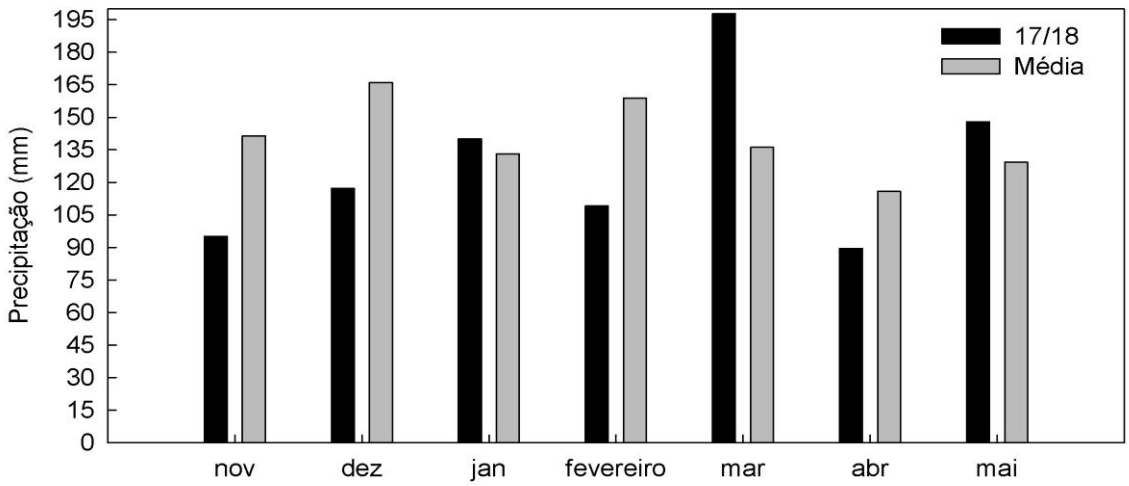
Durante o período do experimento de 7 de dezembro de 2017 e 10 de abril de 2018 ocorreu uma precipitação de 497 mm conforme estação meteorológica instalada próxima a área experimental do Instituto Federal Farroupilha (IFFar). A Figura 8 mostra as precipitações mensais durante o experimento e as médias mensais dos anos de 2007 a 2017 para a mesma estação meteorológica.

O volume de precipitação ocorrido durante o cultivo do milho é suficiente para um bom desenvolvimento da cultura, no entanto a distribuição irregular das precipitações, demanda evaporativa elevada e a baixa capacidade de armazenamento de água dos solo de terras baixas, podem causar períodos de déficit hídrico na cultura do milho, fazendo-se necessário o uso da irrigação para suprimir esse déficit (GOMES et al., 2006).

De acordo com Millar (1978), o volume precipitado não infiltra completamente no solo, uma vez que, parte dele é escoado superficialmente devido a capacidade de infiltração ser menor que determinadas intensidades de precipitações. Para as condições de tipo de solo e declividade da área experimental o volume escoado superficialmente é de 30%. Com isso, a precipitação efetiva durante o período de cultivo do milho foi de 348 mm. Esse volume é 14,95% inferior ao mínimo recomendado para um bom desenvolvimento da cultura (MATZANAUER et al., 2002; BERGAMASCHI et al., 2006).

Na safra 2017/2018 foram necessárias 4 irrigações para os tratamentos com 25, 50 e 100% da reposição da lâmina necessária, enquanto para o tratamento sem tempo de reposição (0%) foram necessárias 5 irrigações.

Figura 8 – Precipitação mensal da safra 2017/18 e precipitação mensal média de 10 anos. Alegrete.RS



Fonte: Chaiben (2019).

As Figuras 9, 10, 11 e 12 ilustram o volume de água armazenado no solo (m^3 m^{-3}) nas posições do início, meio e fim da unidade experimental, dos tratamentos com 0%, 25%, 50% e 100% do tempo de reposição da lâmina de irrigação, respectivamente. Em cada gráfico os tratamentos são comparados com a testemunha sem irrigação. Os dados das umidades do solo foram coletados na profundidade de 5 a 15 centímetros a cada 5 minutos e armazenados em um datalogger, sendo que os dados apresentados nas figuras a seguir são as médias diárias durante o período de cultivo.

Durante o condução do experimento é possível observar um menor volume de água armazenada na camada de 0 a 20 cm no final das unidades experimentais. Esse menor volume pode ser causado por uma menor retenção de água, visto que, de acordo com a Tabela 2 o terço final das unidades experimentais possuem 2,5 (g cm^{-3}) de argila e 33,80 (g cm^{-3}) de areia, sendo essa quantidade de argila inferior e a de areia superior as quantidades encontradas nas posições do início e meio das parcelas.

Figura 9 – Umidades volumétricas durante o período de cultivo do milho na profundidade de 0 a 20 cm para o tratamento com 0% do tempo de reposição da lâmina de irrigação

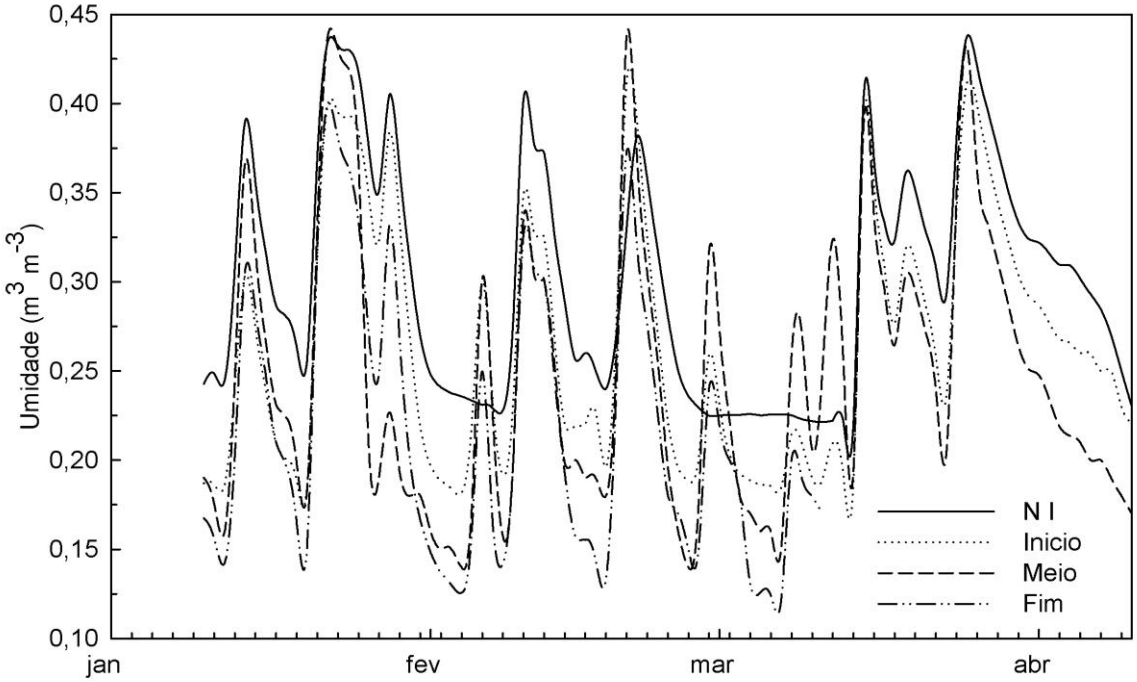


Figura 10 – Umidades volumétricas durante o período de cultivo do milho na profundidade de 0 a 20 cm para o tratamento com 25% do tempo de reposição da lâmina de irrigação

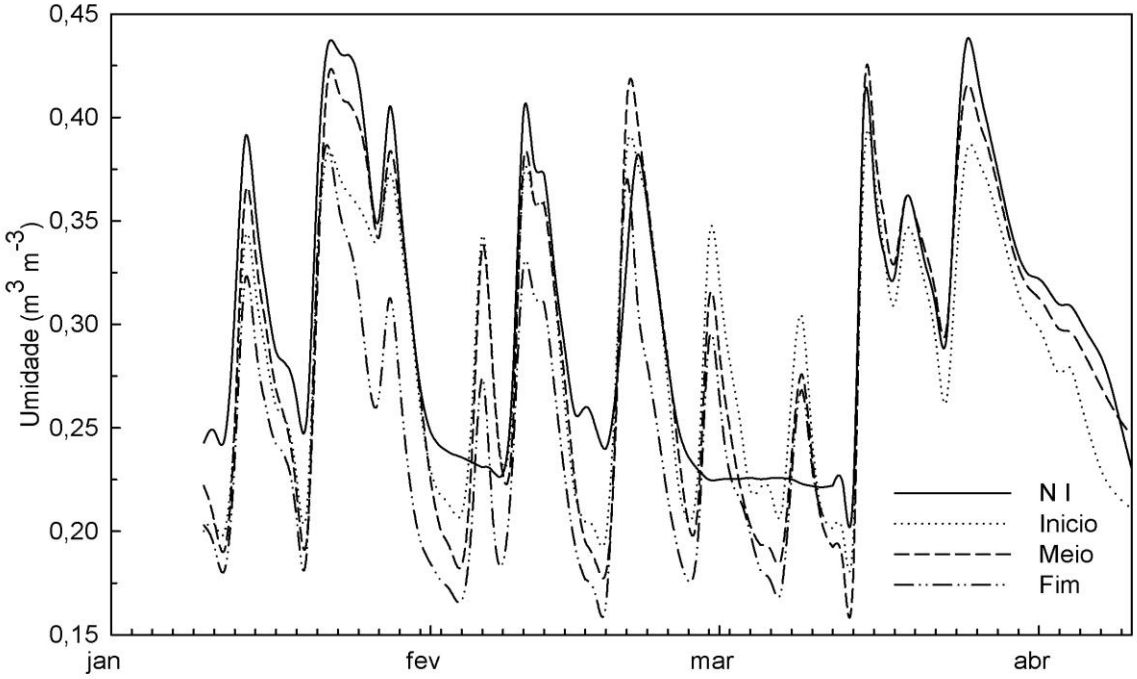


Figura 11 – Umidades volumétricas durante o período de cultivo do milho na profundidade de 0 a 20 cm para o tratamento com 50% do tempo de reposição da lâmina de irrigação

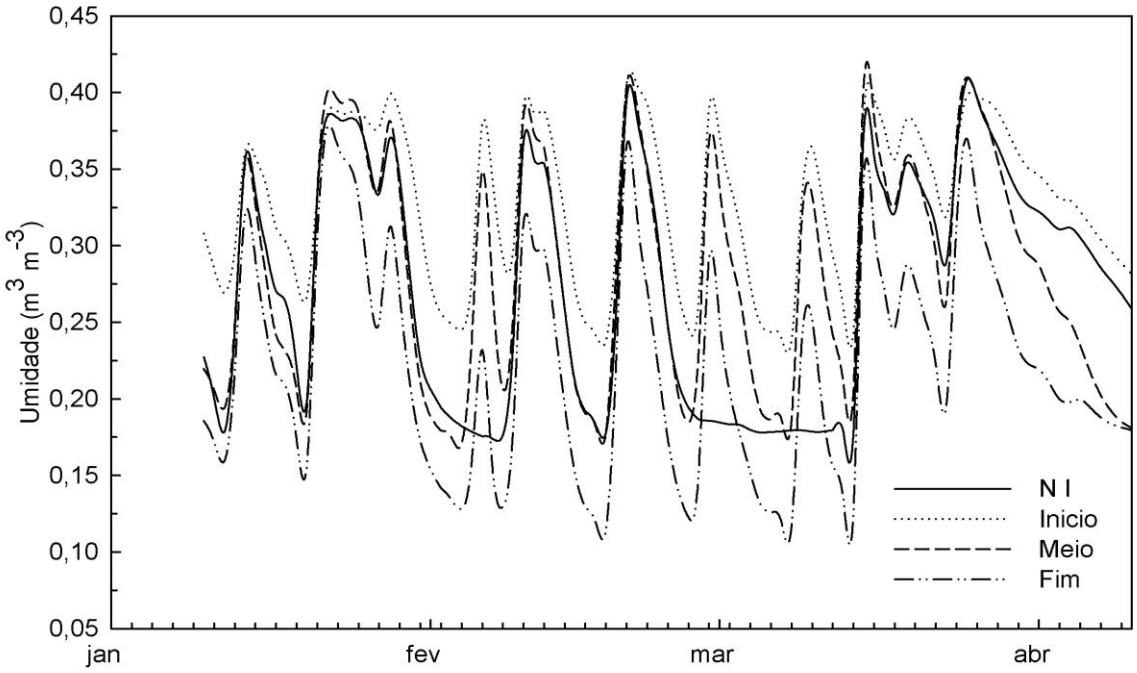
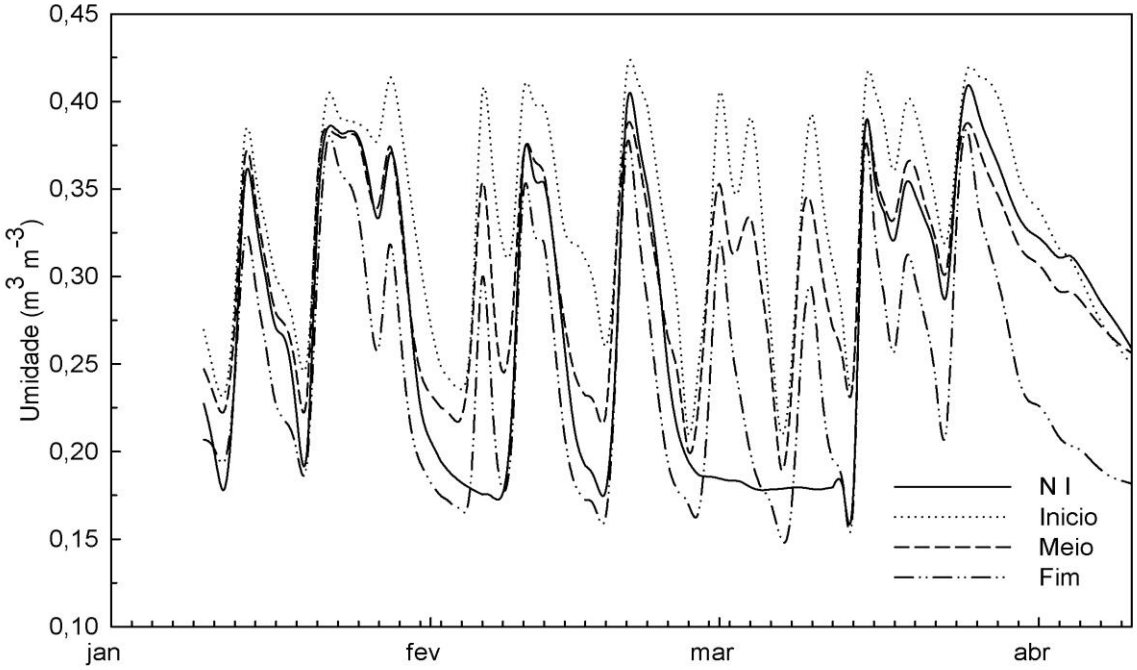


Figura 12 – Umidades volumétricas durante o período de cultivo do milho na profundidade de 0 a 20 cm para o tratamento com 100% do tempo de reposição da lâmina de irrigação



Com a análise das figuras é possível observar a ocorrência de um período de aproximadamente 20 dias sem precipitação, durante a ocorrência desse déficit hídrico a cultura do milho estava em seu estágio mais sensível a esse estresse (SERPA et al., 2012), sendo a irrigação nessa fase fundamental para obter-se uma maior produtividade.

O manejo da irrigação não influenciou na eficiência do uso da água e na eficiência do uso da água de irrigação (Tabela 7), o volume de água total recebido para a cultura não apresentou diferença entre os tratamentos irrigados, já a eficiência de aplicação apresentou diferença, sendo os tratamentos com 50 e 100% do tempo de reposição os que obtiveram respectivamente os resultados inferiores.

Para Marouelli et al. (2012), a irrigação por sulcos plena com 100% do tempo de reposição da lâmina de irrigação apresenta uma eficiência geralmente próxima a 50% a qual é considerada baixa. Paz et al. (2000) atribui uma eficiência é ainda menor, com valores próximos a 45% para esses sistemas de irrigação, e salienta a importância do desenvolvimento de novos manejos com o intuito de melhorar a eficiência de aplicação nesses sistemas. Corroborando com esses autores o presente trabalho obteve resultado semelhante onde a eficiência de aplicação foi 50,71% para o manejo da irrigação com 100% de reposição da lâmina.

Tabela 7 – Lâmina total (LT), Lâmina média das irrigações (LMI), eficiência do uso da água (EUA), eficiência do uso da água da irrigação (EUAI) e eficiência da aplicação (EA). Alegrete, RS.

Tratamentos	**L.T (mm)**		**L.M.I (mm)**	**E.U.A (kg ha^{1},m^{3})**		**E.A (%)**	
0	505,33	a	39,00	1,58	ns*	89,46	a
25	517,40	a	42,00	1,51		81,66	a
50	532,16	a	46,00	1,48		69,01	b
100	530,73	a	46,00	1,41		50,71	c
N.I**	347,90	b		1,50			
CV (%)***	5,13			13,52		6,99	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente na coluna; * médias não diferem significativamente; ** coeficiente de variação.

A busca por manejos que melhorem a eficiência da irrigação por sulcos vem mobilizando pesquisadores, na China a utilização de irrigação por sulcos alternados, onde em cada irrigação um lado do sistema radicular da planta é irrigado, tem-se mostrado como uma alternativa para melhorar a eficiência da irrigação quando comparada a irrigação por sulcos plena (LIU et al., 2019).

Flores-Gallardo et al. (2014) buscando alternativas no manejo da irrigação para melhorar as baixas eficiências dos sistemas de irrigação por sulcos no distrito de Rio Forte em Sinaloa, México, desenvolveu um experimento com a cultura do milho para avaliar diferentes técnicas de manejo da irrigação, as quais foram: sulcos alternados, redução de vazão e irrigação convencional. As técnicas alternativas a convencional (irrigação plena) obtiveram um bom retorno, atingindo uma eficiência de aplicação superior a 80% para o manejo com redução de vazão e 90,18% para sulcos alternados, resultando em uma possível economia de água de até 40%.

As melhores eficiências de aplicação obtidas neste trabalho foram de 89,46% e 81,66% para os tratamento com 0% e 25% do tempo de reposição de água respectivamente, chegando a uma economia de água de 38,75% e 30,95%, além da importância ambiental de se economizar água esses manejo mais eficientes são alternativas para o melhor uso da água, pois como o presente estudo tem o foco de intensificar as áreas de pousio em rotação com a cultura do arroz irrigado, na qual o consumo de água é elevado a redução do consumo nas áreas de rotação é fundamental para que não falte água para ambas as culturas.

5 CONCLUSÃO

Diante do presente estudo, levando-se em consideração as condições de clima, tipo de solo, fertilidade do solo, regime de precipitações, manejo da irrigação pode-se concluir que:

Os manejos da irrigação com 0% e 25% do tempo necessário para repôr a lâmina de irrigação obtiveram as melhores eficiências de aplicação respectivamente. A eficiência do uso da água e a eficiência do uso da água da irrigação foram equivalentes para todos os tratamentos.

Os componentes de rendimento responderam positivamente ao uso dos manejos de irrigação, para a produtividade de grãos o incremento de produção dos tratamentos irrigados para o não irrigado variou de 44,81 a 53,26% para os tratamentos com 100 e 0% do tempo de reposição da lâmina, respectivamente.

Para os manejos de irrigação utilizados neste trabalho as posições avaliadas no início, meio e fim das unidades experimentais não apresentaram diferença para os componentes de crescimento das plantas e rendimento da cultura para o tamanho das parcelas testadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, S. et al. Soil amendments strategies to improve water-use efficiency and productivity of maize under different irrigation conditions. **Agricultural Water Management**, v. 210, p. 88-95, 2018.

ARANTES, K. R. et al. Otimização econômica da fase de reposição em irrigação por sulcos. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v.9, n.1, p.37-52, 2011.

AZEVEDO NETTO, J. M. et al. **Manual de Hidráulica**. São Paulo: 8. ed. 8. re.2010. 669 p.

BAMBERG, A. L. et al. Plantio direto. In: EMYGDIO, B. M.; DA ROSA, A. P. S. A.; OLIVEIRA, A. C. B. (Editoras). **Cultivo de soja e milho em terras baixas do Rio Grande do Sul**. 1. Ed. Embrapa. Cap. 4, p. 79-103.

BAUMHARDT, R. Louis et al. Efeitos do manejo de resíduos no uso da água e no rendimento do milho irrigado por déficit. **Revista Agronomia** , v. 105, n. 4, p. 1035-1044, 2013.

BENJAMIN, J. G. et al. Cumulative deficit irrigation effects on corn biomass and grain yield under two tillage systems. **Agricultural water management**, v. 159, p. 107-114, 2015.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de Irrigação. Viçosa: Ed. UFV, 8. ed., 2009. 625p.

BERGAMASCHI, H. et al. Déficit Hídrico e Produtividade na Cultura do Milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 2, p. 243-249, 2006.

BUSO, W. H. D.; ARNHOLD, E. Evaluation of corn hybrids under contrasting water availability conditions. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 4, p. 927-934, 2016.

CASTRO, N. Apostila de Irrigação: apostila. Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul Instituto de Pesquisas Hidráulicas. 2003. 57 p.

CHEN, L.; FENG, Q. Soil water and salt distribution under furrow irrigation of saline water with plastic mulch on ridge. **Journal of Arid Land**, v. 5, n. 1, p. 60-70, 2013.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: grãos,V.5 – Safra 2017/18 – N.6 - sexto levantamento, Maio 2018. Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, 2013. ISSN 2318-6852

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: grãos,V.5 – Safra 2017/18 – N.8 - oitavo levantamento, Maio 2018b. Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, 2013. ISSN 2318-6852

DAKER, A. **Irrigação e drenagem:** A água na agricultura, Rio de Janeiro: 3 vol. 7.ed. 1988, 543 p.

EBRAHIMIAN, Hamed. Soil infiltration characteristics in alternate and conventional furrow irrigation using different estimation methods. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 18, n. 6, p. 1904-1911, 2014.

EBRAHIMIAN, H; KESHAVARZ, M. R.; PLAYÁN, J. E. Surface fertigation: a review, gaps and needs. Spanish **Journal of Agricultural Research**. v.12. 2014. 820-837 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul – Safras 2013/1014 e 2014/2015. 1. ed. Brasília, 2013. 125 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2011. 230 p.

FARACO 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**, edição especial, grandes culturas, p. 274-290, 2016.

FIORIN, T. T. et al. Produção de silagem de milho sobre camalhões em solos de várzea. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v. 2, p. 147-153, 2009.

FLORES-GALLARDO, H. et al. Técnicas de conservación del agua en riego por gravedad a nivel parcelario. **Revista mexicana de ciencias agrícolas**, v. 5, n. 2, p. 241-252, 2014.

GEBREMARIAM, H. L., WELDE, K., KAHSAY, K. D., Optimizing yield and water use efficiency of furrow-irrigated potato under different depth of irrigation water levels. **Sustainable Water Resources Management**. Vol.4, n.4, p 1043-1049, 2018 https://doi.org/10.1007/s40899-018-0238-4

GOLLO, E. A**. Sistemas de implantação e irrigação por superfície para o cultivo de milho em áreas de arroz irrigado.** 2016. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

GOMES, A. da et al. Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase às áreas de várzea do Rio Grande do Sul. **Embrapa Clima Temperado-Documentos (INFOTECA-E)**, 2006.

GONZÁLEZ, M. R. et al. Mejoramiento de riego por surcos, continuo e intermitente, en suelo ferralítico rojo lixiviado en el sistema productivo Banao. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, v. 23, n. 1, p. 56-59, 2014.

GREAVES, G. E.; WANG, Y. Effect of regulated deficit irrigation scheduling on water use of corn in southern Taiwan tropical environment. **Agricultural Water Management**, v. 188, p. 115-125, 2017.

IKEDA, Fernanda Satie. Resistência de plantas daninhas em soja resistente ao glifosato. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 34, n. 276, p. 0-00, 2013.

KALSING A. et al. Oportunidade da rotação de culturas para a sustentabilidade do manejo do arroz-vermelho. Seminário Latino Americano sobre Arroz Vermelho (2. : 2013 : Porto Alegre, RS).

KIFLE, M; GEBRETSADIKAN, T. G. Rendimento e eficiência no uso da água da batata irrigada por sulcos sob irrigação com défice regulado, Atsibi-Wemberta, norte da Etiópia. **Agricultural Water Management** , v. 170, p. 133-139, 2016.

KLAR, A. E. Critérios para escolha do método de irrigação. **Irriga**, v. 5, n. 1, p. 52-82, 2000.

KLERING, E. V. et al. Estimativa de área cultivada com arroz irrigado para o estado do Rio Grande do Sul a partir de imagens Modis. **Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM Ciência e Natura**, Santa Maria, ISSN: 2179-460X, v. 35 n. 2 dezembro, p. 126-135, 2013.

LANGE, C. E. et al. Nova cultivar de soja TECIRGA 6070 RR foi desenvolvida para o cultivo em solos arrozeiros gaúchos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 8., 2013, Santa Maria. **Anais**...Santa Maria: Ed. da UFSM, Sociedade Sul–Brasileira de Arroz Irrigado, 2013. v.2 p.1076-1079.

LIMA FILHO A. F. Determinação analítica da performance da irrigação por sulcos abertos e em declive. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n.3, p. 251-258, mai-jun, 2015. http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201562030004.

LIU, Yuan et al. Reducing water use by alternate-furrow irrigation with livestock wastewater reduces antibiotic resistance gene abundance in the rhizosphere but not in the non-rhizosphere. **Science of The Total Environment**, v. 648, p. 12-24, 2019. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.101.

MAASS M. B. **Desempenho agronômico de híbridos de milho cultivados num Gleissolo em função de métodos de irrigação**. 2016. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), Brasil, 2016.

MAASS, M. B. et al. Desempenho agronômico de milho em áreas de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 9., 2015, Pelotas, **Anais**. Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, 2015. p. 834-838.

MARCHESAN, E. et al. **Resposta de sistemas de implantação na resistência mecânica do solo a penetração e na produtividade de soja em área de várzea**. Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, VIII, Santa Maria, RS, 2013.

MARRENJO, G. J. et al. Impactos do cultivo por longo tempo de arroz inundado em Gleissolos, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**., Brasília, v.51, n.8, p.967-977, ago. 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000800009.

MATZENAUER, R. et al., Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: **Fepagro,** 2002. 105p. (Fepagro. Boletim, 10).

MATTAR, M. A.; ALAZBA, A. A.; EL-ABEDIN, TK Zin. Forecasting furrow irrigation infiltration using artificial neural networks. **Agricultural Water Management**, v. 148, p. 63-71, 2015. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.09.015.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Tomateiro para processamento industrial: irrigação e fertirrigação por gotejamento. **Circular Técnica**, 2012.

MILLAR, A. A. **Drenagem de terras agrícolas**: bases agronômicas. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, LTDA., 1978, 276 p.

MOURA, E. G. et al. CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO (Zea mays L.) SUBMETIDO A VÁRIOS INTERVALOS DE IRRIGAÇÃO, NA REGIÃO DA PRÉ-AMAZÔNIA. **Irriga**, v. 11, n. 2, 2006.

MORENO, J. A. 1961.Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, 42p. 1961.

OLIVEIRA, C. F. de. Censo da lavoura de arroz irrigado do Rio Grande do Sul – safra 2004-05. Porto Alegre: IRGA, 2006. 122 p.

PARFIT, J. M. B. et al., Irrigação e drenagem para o cultivo de soja e milho. In: EMYGDIO, B. M.; DA ROSA, A. P. S. A.; OLIVEIRA, A. C. B. (Editoras). **Cultivo de soja e milho em terras baixas do Rio Grande do Sul**. 1. Ed. Embrapa. Cap. 3, p. 45-78.

PAZ, V. P. da S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. 2000.

PINTO, L. F. S.; LAUS NETO, J. A.; PAULETTO, E.A. Solos de várzea do sul do Brasil. In: GOMES A. da S.; MAGALHÂES JUNIOR, A. M. (Ed.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.75-95.

PINTO, L. F. S.; MIGUEL, P; PAULETO E. A., Solos de várzea e terras baixas. In: EMYGDIO, B. M.; DA ROSA, A. P. S. A.; OLIVEIRA, A. C. B. (Editoras). **Cultivo de soja e milho em terras baixas do Rio Grande do Sul**. 1. Ed. Embrapa. 2017 Cap. 2, p. 45-78.

RODRIGUES F. A. **Avaliação de sistemas de implantação de Soja em áreas típicas de cultivo de Arroz irrigado**, 2015, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

RODRIGUES J. F. **Manejo da água na cultura do milho em Gleissolo Háplico distrófico típico.** 2015. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), Brasil, 2015b.
.
RUBIN R. S. et al. Habilidade competitiva relativa de arroz irrigado com arroz-vermelho suscetível ou resistente ao herbicidaimazapyr + imazapic. **Arq. Inst. Biol**., São Paulo, v.81, n.2, p. 173-179, 2014.

SANGOI, L. et al. Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos. Lages: Graphel, 2010. 87 p.

SARTORI, G. M. S. et al. Germinação de arroz irrigado e de biótipos de arroz-vermelho submetidas a diferentes temperaturas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 2, p. 319-326, abr-jun, 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, dez. 2015.

SATO, J. H. et al. Matéria orgânica e infiltração da água em solo sob consórcio milho e forrageiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.2, p.189–193, 2012.

SCHOENFELD, R. **Sistemas de rotação arroz e soja em sucessão a plantas de coberturas em planossolo haplico,** 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

SERPA M. da S. et al. Densidade de plantas em híbridos de milho semeados no fnal do inverno em ambientes irrigados e de sequeiro. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.47, n.4, p.541-549, abr. 2012.

SILVA, C. A. S. et al. Sistema sulco/camalhão para irrigação e drenagem em áreas de várzea. Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, 2008. 4 p. (Comunicado Técnico, 165).

SILVA, P. R. F.; MARCHESAN E.; SCHOENFELD, R., Rotação e sucessão de culturas. In: EMYGDIO, B. M.; DA ROSA, A. P. S. A.; OLIVEIRA, A. C. B. (Editoras). **Cultivo de soja e milho em terras baixas do Rio Grande do Sul**. 1. Ed. Embrapa. 2017 Cap. 12, p. 267-284.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Bento Gonçalves, RS: SOSBAI, 2014. 192p.

SOUZA, C. P.; BACARIN, M. A.; PINTO, J. J. O. Crescimento de espécies bioindicadoras do residual do herbicida (imazethapyr+imazapic), semeadas em

rotação com arroz Clearfield®. **Planta daninha**, vol.30 nº.1 Viçosa Jan./Mar. 2012. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582012000100012.

STRECK, E. V. et al., **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: Emater: Ascar, 2008. 222 p.

STICKLER, F. C.; WERDEN, S.; PAULI, A.W. Leaf área determination in grain sorghum**. Agronomy Lournal**, v.53, p. 197-188, 1961.

TERTO, R. S. et al., Espacialização de canais de irrigação por sulcos com auxilio de softwares. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 2, p. 53-59, Edição Especial Winotec, 2018. http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2018v1n2p53-59

TESTEZLAF, Roberto. **Irrigação: Métodos, sistemas e aplicações.** Campinas. SP. Unicamp/FEAGRI, 2017 p. 215.

THEISEN, G. Conjuntura e diagnóstico do problema do arroz vermelho nos principais países produtores de arroz do mundo. Seminário Latino Americano sobre Arroz Vermelho (2. : 2013 : Porto Alegre, RS).

TILMAN, D. et al. A demanda global por alimentos e a intensificação sustentável da agricultura. **Anais da Academia Nacional de Ciências** , v. 108, n. 50, p. 20260-20264, 2011.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892-898, 1980.

VERNETTI JUNIOR, F. de J.; GOMES, A. da S. e SCHUCH, L. O. B. Sustentabilidade de sistemas de rotação e sucessão de culturas em solos de várzea no Sul do Brasil. **Ciência Rural [online].** 2009, vol.39, n.6, pp. 1708-1714. EpubJune 05, 2009. ISSN 0103-8478.

VIAN, A. L. et al. Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.46, n.3, p.464-471, mar, 2016 dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20150539

VIZZOTO, V. R. **Desempenho de mecanismos sulcadores de semeadora-adubadora sobre os atributos físicos do solo em várzea no comportamento da cultura da Soja**, 2014, Tese (Doutor em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014

ZHENG, H. et al. Irrigation leads to greater maize yield at higher water productivity and lower environmental costs: a global meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 273, p. 62-69, 2019. https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.12.009.

YASSIN, M. A.; ALAZBA, A. A.; MATTAR, M. A. A new predictive model for furrow irrigation infiltration using gene expression programming. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 122, p. 168-175, 2016.

APÊNDICE

Apêndice A – Análise da variância para altura de planta aos 34, 54 e 76 DAS.

34 DAS

Causas da Variação	Graus de liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	Pr>Fc
Bloco	2	79,27	39,63	1,51	0,2384
Posição	2	19,89	9,94	0,379	0,6881
Tratamento	4	100,13	25,03	0,954	0,4481
Posição*Tratamento	8	187,89	23,48	0,895	0,534
Erro	28	735,08	26,25		
Total corrigido	44	1122,28			
CV (%)	9,37				
Média geral	54,69		Nº de observações		45

54 DAS

Causas da Variação	Graus de liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	Pr>Fc
Bloco	2	1350,72	675,36	8,029	0,0018
Posição	2	1074,46	537,23	6,387	0,0052
Tratamento	4	544,14	136,03	1,617	0,1976
Posição*Tratamento	8	385,96	48,24	0,574	0,7905
Erro	28	2355,09	84,11		
Total corrigido	44	5710,39			
CV (%)	5,76				
Média geral	159,31		Nº de observações		45

76 DAS

Causas da Variação	Graus de liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	Pr>Fc
Bloco	2	565,94	282,97	3,649	0,0391
Posição	2	423,89	211,94	2,733	0,0824
Tratamento	4	862,27	215,56	2,78	0,0461
Posição*Tratamento	8	291,27	36,48	0,47	0,8664
Erro	28	2117,45	77,55		
Total corrigido	44				
CV (%)	4,43				
Média geral	198,65		Nº de observações		45

Apêndice B – Análise da variância para o diâmetro do colmo aos 34, 54 e 76 DAS.

34 DAS

Causas da Variação	Graus de liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	Pr>Fc
Bloco	2	82,29	41,15	10,011	0,0005
Posição	2	9,43	4,71	1,148	0,3319
Tratamento	4	11,51	2,87	0,700	0,5984
Posição*Tratamento	8	28,27	3,54	0,860	0,5604
Erro	28	115,08	4,11		
Total corrigido	44				
CV (%)	11,37				
Média geral	17,31		Nº de observações		45

54 DAS

Causas da Variação	Graus de liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	Pr>Fc
Bloco	2	3,74	1,87	2,251	0,1241
Posição	2	3,04	1,52	1,834	0,1785
Tratamento	4	8,57	2,14	2,581	0,0589
Posição*Tratamento	8	9,32	1,65	1,403	0,2386
Erro	28	23,26	0,83		
Total corrigido	44	47,95			
CV (%)	4,41				
Média geral	20,64		Nº de observações		45

76 DAS

Causas da Variação	Graus de liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	Pr>Fc
Bloco	2	11,62	5,81	3,006	0,0657
Posição	2	2,25	1,12	0,583	0,5648
Tratamento	4	12,50	3,12	1,615	0,1982
Posição*Tratamento	8	11,30	1,41	0,731	0,6637
Erro	28	54,15	1,93		
Total corrigido	44				
CV (%)	6,99				
Média geral	19,88		Nº de observações		45

Apêndice C – Análise da variância para o índice de área foliar aos 34, 54 e 76 DAS.

34 DAS

Causas da Variação	Graus de liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	Pr>Fc
Bloco	2	0,0885	0,0442	7,254	0,0029
Posição	2	0,0180	0,0091	1,475	0,2459
Tratamento	4	0,0746	0,0186	3,058	0,0329
Posição*Tratamento	8	0,0296	0,0037	0,676	0,7644
Erro	28	0,1709	0,0061		
Total corrigido	44	0,3819			
CV (%)	24,94				
Média geral	0,313		Nº de observações		45

54 DAS

Causas da Variação	Graus de liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	Pr>Fc
Bloco	2	0,1452	0,0726	1,717	0,1979
Posição	2	0,2255	0,1127	2,667	0,0870
Tratamento	4	1,5233	0,3808	9,009	0,0001
Posição*Tratamento	8	0,2990	0,0373	0,884	0,5419
Erro	28	1,1837	0,0422		
Total corrigido	44				
CV (%)	10,34				
Média geral	1,987		Nº de observações		45

76 DAS

Causas da Variação	Graus de liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	Pr>Fc
Bloco	2	0,4891	0,2295	2,437	0,1058
Posição	2	0,4374	2,2132	2,322	0,1167
Tratamento	4	8,8529	0,2187	23,492	0,0000
Posição*Tratamento	8	0,7411	0,0926	0,983	0,4694
Erro	28	2,6379	0,0942		
Total corrigido	44				
CV (%)	10,64				
Média geral	2,883		Nº de observações		45

Apêndice D – Análise da variância para Massa seca da parte aérea aos 34, 54 e 76 DAS.

34 DAS

Causas da Variação	Graus de liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	Pr>Fc
Bloco	2	0,0159	0,0079	0,473	0,6278
Posição	2	0,1306	0,0653	3,867	0,0329
Tratamento	4	0,0353	0,0088	0,523	0,7193
Posição*Tratamento	8	0,0483	0,0060	0,358	0,9338
Erro	28	0,4730	0,0168		
Total corrigido	44				
CV (%)	19,65				
Média geral	0,6615		Nº de observações		45

54 DAS

Causas da Variação	Graus de liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	Pr>Fc
Bloco	2	1,3041	0,6520	2,765	0,0802
Posição	2	1,3847	0,6923	2,936	0,0696
Tratamento	4	0,5840	0,1460	0,619	0,6525
Posição*Tratamento	8	1,3002	0,1625	0,689	0,6975
Erro	28	6,6025	0,2358		
Total corrigido	44				
CV (%)	13,26				
Média geral	3,661		Nº de observações		45

76 DAS

Causas da Variação	Graus de liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	Pr>Fc
Bloco	2	11,792	5,896	7,244	0,0029
Posição	2	3,939	1,969	2,420	0,1073
Tratamento	4	10,086	2,521	3,098	0,0313
Posição*Tratamento	8	12,333	1,541	1,894	0,1011
Erro	28	22,789	0,813		
Total corrigido	44				
CV (%)	9,12				
Média geral	9,896		Nº de observações		45

Apêndice E – Análise da variância para o diâmetro de espiga.

Causas da Variação	Graus de liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	Pr>Fc
Bloco	2	5,92	2,96	1,432	0,2559
Posição	2	1,75	0,87	0,423	0,659
Tratamento	4	17,48	3,62	1,748	0,1675
Posição*Tratamento	8	11,04	1,38	0,667	0,7157
Erro	28	57,98	2,07		
Total corrigido	44	91,19			
CV (%)	2,84				
Média geral	50,71		Nº de observações		45

Apêndice D – Análise da variância para o número de grãos por espiga.

Causas da Variação	Graus de liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	Pr>Fc
Bloco	2	5584,04	2792,02	2,642	0,0889
Posição	2	1663,04	831,52	0,787	0,4651
Tratamento	4	23484,20	5871,05	5,555	0,002
Posição*Tratamento	8	8056,86	1007,11	0,953	0,491
Erro	28	29595,02	1056,96		
Total corrigido	44	68383,18			
CV (%)	7,29				
Média geral	445,85		Nº de observações		45

Apêndice E – Análise da variância para o índice de colheita.

Causas da Variação	Graus de liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	Pr>Fc
Bloco	2	0,0062	0,0031	3,513	0,435
Posição	2	0,0012	0,0006	0,682	0,5139
Tratamento	4	0,0490	0,0122	13,880	0
Posição*Tratamento	8	0,0037	0,0004	0,525	0,8278
Erro	28	0,0247	0,0008		
Total corrigido	44	0,0848			
CV (%)	6,33				
Média geral	0,469		Nº de observações		45

Apêndice F – Análise da variância para a produtividade de grãos.

Causas da Variação	Graus de liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	Pr>Fc
Bloco	2	24888180	12444090	6,984	0,0035
Posição	2	3442089,9	1721044,9	0,966	0,3929
Tratamento	4	48395327	12098832	6,791	0,0006
Posição*Tratamento	8	82914041	1036425,6	0,582	0,7841
Erro	28	49888176	1781720,6		
Total corrigido	44	134905178			
CV (%)	18,51				
Média geral	7209,92		Nº de observações		45

Apêndice G – Análise da variância para a lâmina total de água.

Causas da Variação	Graus de liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	Pr>Fc
Bloco	2	1605,257	802,62	1,097	0,3792
Tratamento	3	81812,86	20453,21	27,967	0,0001
Erro	6	5850,602	731,325		
Total corrigido	11	89268,717			
CV (%)	5,47				
Média geral	494,58		Nº de observações		12

Apêndice H – Análise da variância para a eficiência da aplicação.

Causas da Variação	Graus de liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	Pr>Fc
Bloco	2	39,878	19,939	0,771	0,5035
Tratamento	3	2586,259	862,086	33,329	0,0004
Erro	6	155,194	25,865		
Total corrigido	11	2781,332			
CV (%)	6,99				
Média geral	72,76		Nº de observações		12

Apêndice I – Análise da variância para a eficiência do uso da água.

Causas da Variação	Graus de liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	Pr>Fc
Bloco	2	0,4747	0,2373	5,874	0,0269
Tratamento	3	0,0191	0,0047	0,118	0,9722
Erro	6	0,3233	0,0404		
Total corrigido	11	0,8172			
CV (%)	13,61				
Média geral	1,477		Nº de observações		12

Apêndice J – Análise da variância para a eficiência do uso da água da irrigação.

Causas da Variação	Graus de liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	Pr>Fc
Bloco	2	0,8036	0,4018	0,848	0,4740
Tratamento	3	0,1578	0,0526	0,111	0,9506
Erro	6	2,8445	0,474		
Total corrigido	11	3,8059			
CV (%)	48,13				
Média geral	1,43		Nº de observações		12