

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

DESEMPENHO AGRONÔMICO DE HÍBRIDOS DE MILHO CULTIVADOS NUM
GLEISSOLO EM FUNÇÃO DE MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO

Matheus Barreto Maass
Engenheiro Agrônomo/UFRGS

Dissertação apresentada como um dos requisitos
à obtenção do grau de Mestre em Fitotecnia
Ênfase Fisiologia e Manejo Vegetal

Porto Alegre (RS), Brasil
Maio de 2016

CIP - Catalogação na Publicação

Maass, Matheus Barreto
DESEMPENHO AGRONÔMICO DE HÍBRIDOS DE MILHO
CULTIVADOS NUM GLEISSOLO EM FUNÇÃO DO MÉTODO DE
IRRIGAÇÃO / Matheus Maass. -- 2016.

69 f.

Orientador: Paulo Regis Ferreira da Silva.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS,
2016.

1. Zea Mays L. 2. Irrigação. 3. Gleissolo. I. Silva,
Paulo Regis Ferreira da, orient. II. Título.

MATHEUS BARRETO MAASS
Engenheiro Agrônomo - UFRGS

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

MESTRE EM FITOTECNIA

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

Aprovado em: 06.05.2016
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 16.09.2016
Por

PAULO REGIS FERREIRA DA SILVA
Orientador - PPG Fitotecnia

SIMONE MUNDSTOCK JAHNKE
Coordenadora do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia

CHRISTIAN BREDEMEIER
PPG Fitotecnia/UFRGS

ENIO MARCHESAN
PPG Agronomia/UFSM

LUÍS SANGOI
PPG Agronomia
UDESC/SC

PEDRO ALBERTO SELBACH
Diretor da Faculdade de
Agronomia

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e à toda a minha família,
pelo incentivo constante para o
cumprimento de mais essa etapa.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Paulo Regis pela orientação, dedicação, amizade e exemplo de profissionalismo.

Aos colegas Joaquim Faraco Rodrigues, Natan Henrique Ferrari Pagliarini, Laís Miozzo, José Antônio Severo Celestino Alves e Andrei Jose Marafon e ao bolsista de iniciação científica Cristian Richetti, pela ajuda na realização do trabalho e pela amizade.

Aos meus pais Leonar Maass e Carla Maria Barreto Maass e ao meu irmão Leonardo Barreto Maass, pelo incentivo, amor e, acima de tudo, compreensão.

Aos colegas de pós-graduação do Departamento de Plantas de Lavoura, pela amizade e apoio.

À Estação Experimental do Arroz, do Instituto Rio Grandense do Arroz, pela viabilização de realização desse trabalho a campo.

Aos técnicos e demais funcionários do Instituto Riograndense do Arroz, pelo auxílio na realização do trabalho.

Ao técnico de laboratório Fábio e aos professores do Departamento de Plantas de Lavoura, em especial ao professor Christian Bredemeier.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

DESEMPENHO AGRONÔMICO DE HÍBRIDOS DE MILHO CULTIVADOS NUM GLEISSOLO EM FUNÇÃO DE MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO¹

Autor: Matheus Barreto Maass

Orientador: Paulo Regis Ferreira da Silva

RESUMO

No estado do Rio Grande do Sul existem áreas de cultivo de arroz irrigado em pousio, em parte com a presença de Gleissolo, onde culturas de sequeiro como o milho poderiam ser cultivadas como alternativa de rotação com o arroz, desde que a disponibilidade hídrica seja adequada. Porém, ainda há carência de informações sobre estratégias para evitar estresses, seja por excesso ou por deficiência hídrica, e sobre se há diferenças entre híbridos de milho, de alto potencial produtivo, na adaptação a este tipo de ambiente entre híbridos de milho. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho agrônomo e econômico da cultura do milho em Gleissolo em função de método de irrigação. O experimento foi conduzido em Cachoeirinha-RS, nos anos agrícolas 2013/14 e 2014/15. Os tratamentos consistiram de dois métodos de irrigação (aspersão e por sulco) e uma testemunha sem irrigação e de quatro híbridos de milho. O milho foi conduzido no sistema de microcamalhões, com 15 cm de altura, e a irrigação foi realizada sempre que necessária, com a umidade do solo sendo monitorada pelo equipamento Hidrofarm. A quantidade final de água utilizada nos dois sistemas de irrigação foi a mesma, com a utilização de uma lâmina de água de 30 mm. Foram avaliadas as características relacionadas ao desenvolvimento da planta, o rendimento de grãos, os componentes do rendimento e a eficiência de uso da água. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, dispostos em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Os resultados obtidos em dois anos evidenciaram que a cultura do milho é viável técnica e economicamente em gleissolo sob condições não limitantes de irrigação e drenagem. Em anos com ocorrência de períodos de intenso déficit hídrico, o método de irrigação por sulco é agrônomo e economicamente mais vantajoso em relação ao com irrigação por aspersão. Mesmo em anos com menor ocorrência de estiagens no período mais crítico do milho, a utilização de irrigação é economicamente vantajosa, independentemente de método de irrigação utilizado. Todos os híbridos avaliados apresentam adequada capacidade de adaptação a solos hidromórficos, sob condições adequadas de irrigação e drenagem.

¹Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil (69 p.) Maio, 2016.

AGRONOMIC PERFORMANCE OF HYBRIDS MAIZE GROWN IN GLEY SOIL AS A FUNCTION OF IRRIGATION METHOD¹

Author: Matheus Barreto Maass

Advisor: Paulo Regis Ferreira da Silva

ABSTRACT

In the state of Rio Grande do Sul, Brazil, there are several fallow areas of flooded rice crop, partially with the presence of Gley soil, where dry farming, like maize crop could be cultivated as a crop rotation alternative to flooded rice, as long as the hydric availability is adequate. However, there is still the need for information about strategies to avoid stress, whether it is due to hydric excess or deficiency, and also whether there are differences between maize hybrids, with high productive potential, in regarding to their adaptation to this type of environment. In this context, the main goal of this research work was to evaluate the agronomic and economic performance of maize as a function of irrigation method, grown in a Gley soil. The experiment was carried out in Cachoeirinha – RS, in two growing seasons, 2013/14 and 2014/15. The treatments consisted of two irrigation methods (aspersion and furrow) and a check without irrigation and of four maize hybrids. Maize was cultivated in 15 cm high micro ridges. Irrigation was applied when necessary, with the soil moisture being monitored by the Hidrofarm equipment. The final amount of water used in both irrigation systems was the same, with a blade of water of 30 mm. The characteristics related to plant development measured were, grain yield, yield components and water use efficiency. The trial design used was the randomized blocks arranged in split-plot, with four replications. The results obtained in two years indicated that the introduction of maize is technically and economically viable in Gley soil under non-limiting irrigation and draining conditions. In a year of occurrence of periods of intense water deficit, it was shown that the furrow irrigation method is technical and economically more advantageous when compared to the aspersion method. Even in the second year, with lower drought occurrence in the most critical period of maize, the use of irrigation is financially advantageous, regardless of the method of irrigation that was applied. All evaluated hybrids showed adequate capacity of adaptation to hydromorphic soils under proper irrigation and drainage conditions.

¹Master of Science Dissertations in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil (69 p.) May 2016.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 A cultura do milho	5
2.2 Características gerais de áreas com solos hidromórficos	7
2.3 Rotação de culturas em área de arroz irrigado	9
2.4 Irrigação na cultura do milho.....	11
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.1 Local de execução do estudo	13
3.2 Tratamentos e delineamento experimental	14
3.3 Manejo e determinações na cultura do milho.....	15
3.4 Determinações.....	19
3.4.1 Balanço hídrico	19
3.4.2 Duração dos subperíodos de desenvolvimento	20
3.4.3 Estatura de planta e altura de inserção de espiga.....	20
3.4.5 Diâmetro de colmo.....	21
3.4.6 Rendimento de grãos e componentes do rendimento	21
3.4.7 Eficiência de uso da água (EUA)	21
3.4.8 Análise econômica.....	22
3.5 Análise estatística	24
4 RESULTADOS.....	25
4.1 Experimento 1 - Ano agrícola 2013/14.....	25
4.1.1 Balanço hídrico	25
4.1.2 Rendimento de grãos e outras características agronômicas	28
4.1.3 Análise econômica.....	32
4.2 Experimento 2 - Ano agrícola 2014/15.....	34
4.2.1 Balanço hídrico	34
4.2.2 Rendimento de grãos e outras características agronômicas	36
4.2.3 Análise econômica.....	41
5 DISCUSSÃO	42
5.1 Experimento 1 - Ano agrícola 2013/14.....	42
5.2 Experimento 2 - Ano agrícola 2014/15.....	48
5.2.1 Rendimento de grãos e outras características agronômicas	48

	Página
5.3 Análise econômica.....	49
6 CONCLUSÕES.....	51
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
8 APÊNDICES.....	57

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Coeficiente da cultura do milho (Kc) para a região da Depressão Central do RS, de acordo com Bergamaschi <i>et al.</i> (1992).....	20
2. Custos fixos e variáveis para produção de milho em função do método de irrigação e no tratamento sem irrigação, ano agrícola 2013/14. Cachoeirinha-RS.....	23
3. Custos fixos e variáveis para produção de milho em função do método de irrigação e no tratamento sem irrigação, ano agrícola 2014/15. Cachoeirinha-RS.....	24
4. Rendimento de grãos de quatro híbridos de milho em função do método de irrigação, em Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2013/14.....	28
5. Duração dos subperíodos emergência-pendoamento e pendoamento-espigamento de quatro híbridos de milho, com e sem irrigação, em Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2013/14.....	30
6. Número de grãos por espiga de quatro híbridos de milho em função de métodos de irrigação, em Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2013/14.....	30
7. Características agronômicas do milho em função do método de irrigação, em Gleissolo, na média de quatro híbridos. Cachoeirinha – RS, 2013/14.....	31
8. Peso do grão de quatro híbridos de milho em função de métodos de irrigação, em Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2013/14.....	32
9. Estatura de planta de híbridos de milho em função de métodos de irrigação, em Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2013/14.....	32
10. Receita bruta, custo de produção e margem bruta obtidos com o cultivo de milho em função de método de irrigação, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.	33

11. Rendimento de grãos de quatro híbridos de milho em função de métodos de irrigação, em gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2014/15.....	37
12. Duração dos subperíodos emergência-pendoamento e pendoamento-espigamento, em quatro híbridos de milho, com e sem irrigação em Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2014/15.	38
13. Características agronômicas de quatro híbridos de milho, em Gleissolo, na média dos métodos de irrigação. Cachoeirinha-RS, 2014/15	39
14. Número de espigas por metro quadrado de híbridos de milho em função de métodos de irrigação, em Gleissolo. Cachoeirinha – RS, 2014/15	39
15. Peso de grãos de híbridos de milho em função de métodos de irrigação, em Gleissolo. Cachoeirinha – RS, 2014/15.....	40

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Perfil transversal do microcamalhão (a) e construção de microcamalhões com uma camalhoneira (b). Cachoeirinha – RS.....	15
2. Irrigação por sulco (a) e por aspersão (b). Cachoeirinha – RS	17
3. Curva de retenção de um Planossolo Háplico Eutrófico Solódico da camada superficial do solo (0-0,2m) coletado em áreas cultivadas com arroz irrigado no município de Pelotas-RS (Silva, 2009).....	18
4. Precipitação, irrigação e evapotranspiração potencial (mm), teor de umidade no solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e ¹ estádios fenológicos da cultura do milho, segundo a escala de Ritchie <i>et al.</i> (1993), durante o ano agrícola 2013/14, Cachoeirinha-RS.. ..	26
5. Área experimental 24 horas após a ocorrência de 124 mm de precipitação. Cachoeirinha-RS, 2013/14.....	27
6. Precipitação, irrigação e evapotranspiração potencial (mm), teor de umidade no solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e ¹ estádios fenológicos da cultura do milho, segundo a escala de Ritchie <i>et al.</i> (1993), durante o ano agrícola 2014/15, Cachoeirinha-RS	35
7. Precipitação pluvial por decêndio nos meses de outubro a fevereiro referente aos anos agrícolas 2013/14 e 2014/15 e à normal climatológica do período de 1970 a 2000. Porto Alegre -RS.....	36

1 INTRODUÇÃO

No estado do Rio Grande do Sul (RS) há significativa presença de solos de caráter hidromórfico. Cerca de 20% da área do estado, é constituída por solos hidromórficos, tradicionalmente cultivados com arroz irrigado. A cultura do arroz irrigado tem grande importância nesse estado, pois contribui com cerca de 69,5% da produção brasileira (IRGA, 2015). No entanto, a ocorrência de plantas daninhas resistentes a herbicidas, devido à monocultura e à utilização dos mesmos princípios ativos de herbicidas, tornou-se um problema frequente nessas áreas, comprometendo a produtividade e, até mesmo, inviabilizando o cultivo contínuo de arroz irrigado nas mesmas áreas. Além disto, a grande oscilação do preço do arroz verificada nos últimos anos afeta diretamente o retorno econômico da atividade.

Uma alternativa para estas áreas é a rotação de culturas. Com a inserção de outras espécies há automaticamente a rotação de herbicidas, resultando em controle mais eficiente de espécies de plantas daninhas no arroz irrigado. Com a introdução de novas culturas há também diversificação na fonte de renda, o que determina menor dependência do produtor às oscilações de preço do arroz. Outra vantagem da rotação de culturas é a quebra de ciclo de pragas e doenças presentes na cultura do arroz.

O estado do RS possui cerca de 5,4 milhões de hectares com potencial para cultivo de arroz irrigado. Isso corresponde ao redor de 20 % de sua área total, sendo que 3,0 milhões de hectares dessa área possuem infraestrutura de irrigação e drenagem (Pinto *et al.*, 2004). Na safra 2014/15 foi cultivado 1,125 milhão de hectares com arroz irrigado e 284.127 mil hectares com soja em terras baixas (IRGA, 2015). Assim, observa-se que a utilização da soja em rotação com arroz irrigado já é uma realidade, representada pelo seu uso crescente em terras baixas nos últimos anos, devido principalmente à estabilidade de mercado e ao alto valor comercial.

No entanto, a soja tem sido a única alternativa de rotação utilizada até o momento. A cultura do milho também pode ser uma alternativa interessante para essas áreas. A sua inserção em áreas de arroz irrigado poderá promover maior sustentabilidade econômica, agrônômica e ambiental, visto que a cultura tem alto potencial de aporte de carbono ao solo e pode contribuir para a menor utilização de defensivos na cultura do arroz na mesma área. A sustentabilidade da própria propriedade pode ser um benefício, pois o milho é muito utilizado na alimentação humana e animal. Com a inserção da cultura do milho há a utilização de herbicidas com outros princípios ativos, como, por exemplo, atrazine e tembotrione. Por propiciar a utilização de diferentes princípios ativos, a rotação com milho pode ser, também, uma estratégia para prevenir o surgimento de plantas daninhas resistentes ao glifosato, que é intensamente utilizado em dessecações nas culturas do arroz e da soja.

Em áreas de arroz irrigado, a produção vegetal para alimentação animal tem grande importância, pois essas áreas tradicionalmente estão em sucessão à atividade pecuária durante o outono-inverno. Desta maneira, a cultura do milho

pode contribuir como fonte de grande produção de alimento, com alta qualidade nutritiva para os animais durante períodos de menor disponibilidade forrageira.

Porém, a cultura do milho é muito sensível a estresses hídricos. Com isso, dois principais pré-requisitos devem ser priorizados para se atingir altos tetos produtivos: evitar o déficit hídrico, com uso de irrigação, e o excesso hídrico, dotando a área com eficiente sistema de drenagem. O déficit hídrico torna-se ainda mais importante nas regiões tradicionais de cultivo de arroz irrigado no RS, onde há uma possibilidade de 60% de ocorrência, ou seja, a cada 10 anos em seis anos ocorre deficiência hídrica durante o ciclo de desenvolvimento do milho (Matzenauer *et al.*, 2002).

Em relação à irrigação, toda estrutura de canais e de armazenamento de água já se faz presente nas regiões produtoras de arroz irrigado, além da experiência acumulada pelos orizicultores em irrigação. Porém, ainda não se dispõe de informações sobre o método de irrigação mais adequado, técnica e economicamente, para a cultura do milho nessas áreas.

Por outro lado, o excesso hídrico também é importante, pois os solos das áreas de arroz irrigados são, na grande maioria, hidromórficos, ou seja, apresentam má drenagem. Nesse ambiente hidromórfico é possível que a capacidade de adaptação de diferentes híbridos de milho seja diferenciada, refletindo-se em diferenças em características agronômicas e no potencial de rendimento de grãos. Com efeito, no cultivo da soja em área de arroz irrigado já estão disponíveis resultados de pesquisa que evidenciam diferenças entre cultivares em resposta ao excesso hídrico, tendo inclusive sido lançada uma cultivar mais adaptada a essas condições.

A construção de microcamalhões é uma maneira de controlar a irrigação e drenagem na área. Além de ser uma forma de viabilizar a irrigação através da construção de sulcos, pode ser uma ferramenta importante para evitar o estresse por excesso hídrico, visto que a semeadura do milho é realizada na parte superior do microcamalhão e a concentração de água no solo ocorre no sulco formado entre os microcamalhões.

Diante do exposto, elaboraram-se as seguintes hipóteses de trabalho para a presente pesquisa:

- A. É possível atingir-se altas produtividades de milho, com rentabilidade, sob condições adequadas de drenagem e irrigação em gleissolo.
- B. O milho é uma alternativa para a rotação de culturas em área de arroz irrigado.
- C. A eficiência de uso da água, o rendimento de grãos e a rentabilidade do cultivo do milho em gleissolo variam de acordo com o método de irrigação utilizado.
- D. Os híbridos de milho diferem em sua capacidade de adaptação a solos hidromórficos.

Dessa forma, os objetivos do trabalho foram:

- a. Avaliar a viabilidade técnica e econômica da cultura do milho cultivado num gleissolo.
- b. Avaliar o efeito de métodos de irrigação sob o desempenho técnico e econômico de milho cultivados num gleissolo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura do milho

O milho (*Zea mays L.*) é uma cultura importante em todo o mundo em termos de produção de grãos, pois pode ser consumido por seres humanos, diretamente ou após o processamento e, na maioria das vezes, é o principal componente da ração animal, além de produzir óleo vegetal, xarope de açúcar e biocombustível (FAO, 2012). Além de multifuncionalidade, a cultura apresenta alto potencial produtivo quando cultivado com alto nível de manejo.

Além dos benefícios diretos, a inclusão da cultura do milho em sistemas de rotação de culturas resulta na melhoria da fertilidade do solo, devido ao elevado aporte de carbono ao sistema e à reciclagem de nutrientes móveis, como nitrogênio e potássio.

Em experimentos conduzidos com irrigação foram atingidas produtividades de 17,40 Mg ha⁻¹ e 18,60 Mg ha⁻¹, respectivamente em Eldorado do Sul-RS (Menegati *et al.*, 2012) e em Lages-SC (Schimitt *et al.*, 2012). No entanto, essas elevadas produtividades, não são observadas em lavouras comerciais na região sul do Brasil, onde a média de produtividade na safra 2014/15 foi 5,36 Mg ha⁻¹ (CONAB, 2015). Vários fatores determinam essa baixa produtividade, como a não utilização de um manejo adequado (irrigação,

utilização de híbridos, adubação, arranjo de plantas adequado e tratamentos fitossanitários). Destes fatores, a deficiência hídrica é o que mais frequentemente limita a obtenção de altos rendimentos de grãos no Brasil (Sangoi *et al.*, 2010). Nas condições climáticas brasileiras, devido à ocorrência de déficit hídrico, a produção de milho teve reduções significativas nas safras 1990/91, 1995/96, 1996/97, 1998/99, 1999/00, 2003/04, 2004/05 e 2011/12 (Bergamaschi & Matzenauer, 2014). Embora o estado do Rio Grande do Sul não apresente período de seca definido, como na região do cerrado brasileiro, há uma possibilidade de 60% de ocorrência de déficit hídrico para a cultura, demonstrando a necessidade da utilização de sistemas de irrigação para maior estabilidade da produtividade (Matzenauer *et al.*, 2002).

Essa redução de produtividade na cultura do milho ocorre pelo fato do déficit hídrico impactar diretamente o desenvolvimento da planta, reduzindo, deste modo, sua área foliar e, em consequência, a fotossíntese e os processos fisiológicos da planta (Bergamaschi, 1992). Como resultado do déficit hídrico ocorre decréscimo no acúmulo de matéria seca nas plantas e no índice de área foliar (França *et al.*, 1999), fatores fundamentais para se alcançar altos tetos produtivos.

No entanto, a intensidade de redução da produtividade com a deficiência hídrica varia conforme o momento de sua ocorrência. Quando ocorre no período reprodutivo do milho, pode reduzir em até 51% o rendimento de grãos (Matzenauer *et al.*, 1986). O efeito do déficit hídrico no período crítico da planta (pendoamento-espigamento), se manifesta, principalmente, nos componentes do rendimento, número de espigas por planta e o número de grãos por espiga (Bergamaschi *et al.*, 2004). O número de grãos por espiga é resultado do número

de fileiras de grãos na espiga e do número de grãos na fileira (comprimento da espiga). O número de fileiras de grãos na espiga é, principalmente, determinado pelo genótipo, ou seja, a redução do número de grãos por espiga devido à deficiência hídrica deve-se, principalmente, ao decréscimo no comprimento da espiga e não à redução do número de fileiras de grãos (Nielsen, 2007).

No entanto, a adaptação da cultivar ao ambiente de desenvolvimento, ou seja, às condições edafoclimáticas locais, tem grande importância no rendimento de grãos, pois pode interferir em 50% do rendimento final (Cruz *et al.*, 2004). Os híbridos simples são potencialmente mais produtivos em relação aos híbridos triplos, duplos e variedades de polinização aberta, desde que o manejo seja adequado (Viegas & Miranda Filho, 1987). A magnitude da diferença de rendimento entre híbridos e variedades de polinização aberta aumenta com o incremento no nível de manejo (Silva *et al.*, 2004).

2.2 Características gerais de áreas com solos hidromórficos

Em condições naturais, solos hidromórficos apresentam-se saturados por água permanente ou temporariamente e apresentam capacidade de drenagem muito limitada (Streck *et al.*, 2008).

Nas áreas com solos com caráter hidromórfico basicamente utilizadas para produção de arroz irrigado no Rio Grande do Sul, encontram-se as seguintes classes de solos: Planossolos, a mais representativa (56% do total da área), Chernossolos (16,1%), Neossolos (11,6%), Plintossolos (8,3%), Gleissolos (7,1%) e Vertissolos (0,9%). Essas classes representam 5,4 milhões de hectares com potencial para cultivo de arroz irrigado, dos quais 3,0 milhões de hectares possuem infraestrutura de irrigação e drenagem (Pinto *et al.*, 2004).

Grande parte dessas áreas apresenta alta infestação de arroz vermelho e outras plantas daninhas, o que compromete sua produtividade. O uso da rotação de culturas é uma estratégia eficiente para controle de plantas daninhas, além de propiciar a quebra de ciclos de doenças e pragas da cultura do arroz irrigado (Verneti Junior *et al.*, 2009).

Os solos hidromórficos apresentam baixa condutividade hidráulica e baixa velocidade de infiltração, o que confere aos mesmos lenta drenagem (Gomes *et al.*, 2006). Deste modo, o sistema de drenagem projetado deve ser eficiente, pois a planta de milho é extremamente sensível ao excesso hídrico, especialmente em seus primeiros estádios de desenvolvimento, em que o meristema apical se encontra abaixo do nível do solo (Sangoi *et al.*, 2010).

Como alternativa para evitar o estresse por excesso hídrico, o uso do sistema com microcamalhão é promissor. Além de beneficiar a drenagem, o uso de microcamalhão pode reduzir a compactação do solo, aumentar a macroporosidade, visto que há revolvimento do solo para formação do microcamalhão (Choudhary *et al.*, 2011). Uma possibilidade que surge com a construção de microcamalhão é a utilização da irrigação, pois a construção do microcamalhão implica na formação de drenos superficiais que podem atuar como sulcos de irrigação.

Desde 1980 o milho já é cultivado em áreas de arroz irrigado, estimando-se que 50 mil hectares foram cultivados na safra de 1999/2000 (Parfitt, 2000). Mais de uma década depois, essa área não se expandiu significativamente, tendo inclusive diminuído, apesar dos potenciais benefícios do cultivo do milho nesse ambiente.

Recentemente, foram apresentados resultados de pesquisa com a cultura do milho em áreas com solos hidromórficos que reforçam os benefícios da utilização do sistema de microcamalhão, em relação à drenagem (Rodrigues, 2015), assim como em relação à irrigação e aos parâmetros físicos do solo no ambiente radicular (Giacomelli, 2015).

2.3 Rotação de culturas em área de arroz irrigado

Os problemas que surgem devido à monocultura do arroz irrigado fazem com que os produtores busquem, alternativas capazes de aumentar o potencial produtivo de suas áreas, de reduzir os custos de produção e os riscos de impacto ao ambiente. Para alcançar este objetivo, princípios conservacionistas, como a rotação de cultura e a utilização de plantas de cobertura, surgem como alternativas promissoras.

O uso da rotação de culturas, juntamente com plantas de cobertura, a atividade radicular, os fatores relacionados à dinâmica da matéria orgânica e todas as inter-relações entre esses fatores aumentam a complexidade do sistema solo-planta, fazendo com que surjam diversas propriedades que emergem do solo. Dentre elas, está o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC), que influi na dinâmica de nutrientes no solo (Anghinoni, 2007).

Neste contexto, Anghinoni (2009) visualizou dois sistemas: 1) Arroz em rotação e/ou sucessão de culturas e 2) Arroz em sistemas integrados de produção agropecuária. Apesar da distinção estabelecida, estes dois sistemas são complementares e fundamentais na construção da fertilidade do solo, pois atuam em processos que determinam a qualidade do solo e permitem o surgimento de propriedades emergentes, como a CTC, que influi na dinâmica de cátions do solo.

A utilização do sistema conservacionista de cultivo permite recuperar a fertilidade em solos degradados e de baixa fertilidade natural e sua manutenção em solos naturalmente férteis. Constitui-se em uma das principais estratégias para se obter maior potencial produtivo dos solos, principalmente nos intemperizados, devido ao aumento dos teores de matéria orgânica e de nutrientes em função da adição de resíduos.

O aumento do teor de matéria orgânica se reflete em maior capacidade de troca de íons, que é uma das propriedades do solo essencial para a ciclagem e para a redução de perdas de nutrientes. Em consequência, obtém-se maior rendimento de grãos de soja cultivada em rotação (Lange *et al.*, 2013).

No entanto, em áreas de arroz irrigado o sistema de cultivo plantio direto, associado a sistemas de rotação e sucessão de culturas, é muito pouco utilizado, ocupando, aproximadamente, 5% da área cultivada anualmente com arroz (SOSBAI, 2012).

Além da rotação de culturas, o cultivo de espécies forrageiras de outono-inverno adaptadas a áreas de arroz irrigado, como o azevém (*Lolium multiflorum*), permite a formação de pastagens hibernais e a terminação de bovinos durante o período de menor disponibilidade forrageira. Em trabalho realizado em Santa Maria – RS, foram obtidos valores médios de 3.300 e 4.500 kg ha⁻¹ de feno de azevém, respectivamente, com cortes no florescimento e no enchimento de grãos durante dois anos agrícolas (Ferreira, 2012).

Desta maneira, a rotação de culturas surge como alternativa, pois, além de propiciar o controle do arroz vermelho, que é a principal planta daninha na cultura do arroz irrigado, pela utilização de herbicidas com diferentes princípios

ativos, contribui para o aumento da produtividade do arroz irrigado cultivado em sucessão (Montealegre & Vargas, 1989; Pauletto *et al.*, 1991).

2.4 Irrigação na cultura do milho

A necessidade de irrigação na cultura do milho, em especial no estado do RS, fica evidente para se obter altos rendimentos de grãos e estáveis ao longo dos anos. No entanto, a irrigação não atua somente para evitar o estresse por déficit hídrico, sendo uma ferramenta que pode ser utilizada no manejo da adubação, aumentando sua eficiência de uso pela planta. A aplicação de uma lâmina de água de 10 a 20 mm por aspersão após a adubação nitrogenada reduz as perdas de nitrogênio por volatilização da amônia (Kissel *et al.*, 2004; Menezes, 2015).

Na cultura do milho em terras altas, o método de irrigação por aspersão mais utilizado é o sistema de pivô central, porém existem outros métodos como irrigação por sulcos, gotejamento e subirrigação. A irrigação por sulco se mostra mais eficiente, devido as menores perdas de água, como constatado por Dagdelen *et al.* (2006), que testaram diferentes quantidades de água aplicada por irrigação em um solo franco-argiloso, resultando em aumento de rendimento de grãos conforme o incremento na dose de irrigação.

No entanto, as culturas de grãos devem apresentar uma capacidade de converter eficientemente os recursos hídricos em matéria seca, ou seja, apresentar boa eficiência do uso da água. Nesse sentido, a cultura do milho mostra-se extremamente eficiente nessa conversão, desde que haja água disponível em quantidade suficiente (Sangoi *et al.*, 2010). Quando utilizada irrigação por aspersão na cultura do milho, a irrigação deve ser otimizada, ou

seja, caso não haja água suficiente para todo o ciclo, há a necessidade de direcionar a irrigação para os períodos críticos (Bergamaschi *et al.*, 2004). Nesse sentido, diferentes conceitos de eficiência do uso da água podem ser usados. Em situações de abastecimento de água limitado, não somente a eficiência do uso da água (eficiência da irrigação e da absorção de água pela planta) deve ser observada, mas também o uso eficiente da água (uso racional da água na agricultura), ou seja, a otimização da água disponível deve ser priorizada (Blum, 2009).

Nesse contexto, a relação entre quantidade de água utilizada e produtividade é um fator a ser analisado. Avaliando experimentos com a cultura do milho irrigado pelo sistema de sulcos, Kang *et al.* (2000) definiram a eficiência do uso da água como a quantidade de quilogramas de grãos produzidos por metro cúbico irrigado, tendo obtidos valores de até 5,7 kg m⁻³. No entanto, esta avaliação não leva em consideração a água proveniente de precipitações que, apesar de não ser aplicada intencionalmente no experimento, é utilizada pela planta. Deste modo, os resultados não demonstram a eficiência do uso da água total, mas a eficiência do uso da água irrigada.

Essa dependência e a capacidade de resposta da cultura do milho à irrigação para obtenção de altos rendimentos também são observadas em áreas com presença de solos hidromórficos tradicionalmente cultivados com arroz irrigado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de execução do estudo

O experimento foi conduzido a campo durante dois anos agrícolas (2013/14 e 2014/15), na Estação Experimental do Arroz, do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), no município de Cachoeirinha, região arrozeira da Depressão Central, do estado do Rio Grande do Sul, situada a 29°55'30" de latitude sul e 50°58'21" de longitude oeste e altitude de 7 m acima do nível do mar.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como subtropical úmido, sendo considerado como de transição entre os tipos Cfa1 (isoterma anual inferior a 18 °C) e Cfa2 (isoterma anual superior a 18 °C). A temperatura mínima média do ar é de 9,8 °C no mês mais frio (julho) e a máxima média é de 31,6 °C no mês mais quente (janeiro). A precipitação pluvial média anual é de 1438 mm e a disponibilidade de radiação solar máxima é de 502 cal cm⁻² dia⁻¹, no mês de dezembro (INMET, 2015).

O solo da área experimental é classificado como Gleissolo Háplico Distrófico típico. Este tipo de solo é caracterizado por apresentar má drenagem, baixa condutividade hidráulica, saturação de bases inferior a 50% e baixo teor de argila (Streck *et al.*, 2008).

A análise de solo da área do primeiro ano apresentou os seguintes resultados: 12 g kg⁻¹ de MO, 140 g kg⁻¹ de argila, 9 mg dm⁻³ de P (Mehlich-1), 34

mg dm⁻³ de K (Mehlich-1) e 5,8 cmol dm⁻³ de CTC pH 7,0 e pH (água) 6,0, segundo metodologia proposta por Tedesco *et al.* (1995). No segundo ano, foram obtidos os seguintes resultados: 14 g kg⁻¹ de MO, 210 g kg⁻¹ de argila, 6 mg dm⁻³ de P, 46 mg dm⁻³ de K, 7,3 cmol dm⁻³ de CTC pH 7,0 e pH (água) 6,0.

No primeiro ano, a área estava em pousio durante o período de outono-inverno e, no segundo ano, a área foi cultivada com nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) como cobertura de solo neste período.

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos constaram de quatro híbridos simples de milho, pertencentes a quatro empresas distintas e posicionados para terras baixas, DKB 240 PRO RR2 (Dekalb), de ciclo superprecoce, Dow 30A37PW (Dow Agrosiences), Pioneer 30F53 (Dupont Pioneer) YHR e Status TL TG (Syngenta), de ciclo precoce, todos com eventos transgênicos Bt e RR, e de dois métodos de irrigação (aspersão e sulcos) e de uma testemunha sem irrigação. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, dispostos em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas principais foram locados os métodos de irrigação e a testemunha sem irrigação e, nas subparcelas, os híbridos.

O experimento foi implantado com o sistema de microcamalhão (Figura 1a;b), com 15 cm de altura e espaçamento de 1,00 m de um cume a outro, construídos utilizando semeadora camalhoneira antes da semeadura do milho, no primeiro ano, e antes da semeadura do nabo forrageiro, no segundo ano. Em cada microcamalhão, o milho foi semeado em duas linhas pareadas, com distância entre si de 0,40 m.



FIGURA 1. Perfil transversal do microcamalhão (a) e construção de microcamalhões com camalhoneira (b). Cachoeirinha – RS.

3.3 Manejo e determinações na cultura do milho

No primeiro ano, o milho foi semeado em 15 de outubro de 2013, utilizando semeadora manual (saraquá), objetivando a densidade de 8,0 plantas m^{-2} . A área estava em pousio e foi previamente dessecada com glifosato. A emergência ocorreu no dia 20 de outubro de 2013. No segundo ano, o milho foi semeado em 24 de outubro de 2014, objetivando densidade de 9,0 plantas m^{-2} . A emergência ocorreu no dia 30 de outubro de 2014. Neste ano, foi cultivado nabo forrageiro durante o outono-inverno como cobertura de solo. O nabo foi semeado no dia 20 de abril de 2014. O rendimento de massa seca na dessecação foi considerado baixo ($1,5 Mg ha^{-1}$).

Nos dois anos, as sementes foram tratadas com inseticida Cropstar (imidacloprid i.a. $150 g L^{-1}$ + thiodicarb i.a. $450 g L^{-1}$) e fungicida Carben 500 SC (carbendazim i.a. $500 g L^{-1}$). O desbaste manual foi realizado aos 14 dias após emergência das plântulas, objetivando assegurar a densidade de plantas desejada em cada ano.

Nos dois anos, a adubação na semeadura foi baseada na análise de solo, com o objetivo de atingir alto rendimento de grãos (acima de 12,0 Mg ha⁻¹) e constituiu-se de 20, 85 e 135 kg ha⁻¹, respectivamente de N, P₂O₅ e K₂O, aplicados na fórmula NPK 04-17-27. A adubação nitrogenada de cobertura constou da aplicação de 300 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia com inibidor de urease, para minimizar as perdas por volatilização de amônia. No primeiro ano, a dose foi parcelada em quatro épocas de aplicação, sendo 40, 110, 75 e 75 kg ha⁻¹, correspondentes aos estádios de desenvolvimento V₄, V₆, V₈ e V₁₁ (da escala de Ritchie *et al.*, 1993). Já no segundo ano, a dose foi parcelada em três épocas de aplicação, sendo de 60, 120 e 120 kg ha⁻¹ de N, correspondendo aos estádios V₄, V₈ e V₁₁, respectivamente. Após cada época de aplicação, o N aplicado foi incorporado ao solo com irrigação caso não houvesse previsão de precipitação na sequência da aplicação.

A irrigação foi realizada sempre que necessário. O sistema de irrigação foi composto por moto-bomba de 7,0 cv, instalada conjuntamente com um hidrômetro, com vazão nominal de 60 m³ h⁻¹, vazão mínima de 1,5 m³ h⁻¹ e diâmetro de 100 mm, com o objetivo de quantificar precisamente o volume de água utilizado em cada irrigação. No método de irrigação por sulco, a água foi fornecida através dos sulcos obtidos na formação dos microcamalhões (Figura 2a). Já no método de irrigação por aspersão, o fornecimento de água se deu por um conjunto de aspersores instalados na área experimental (Figura 2b).

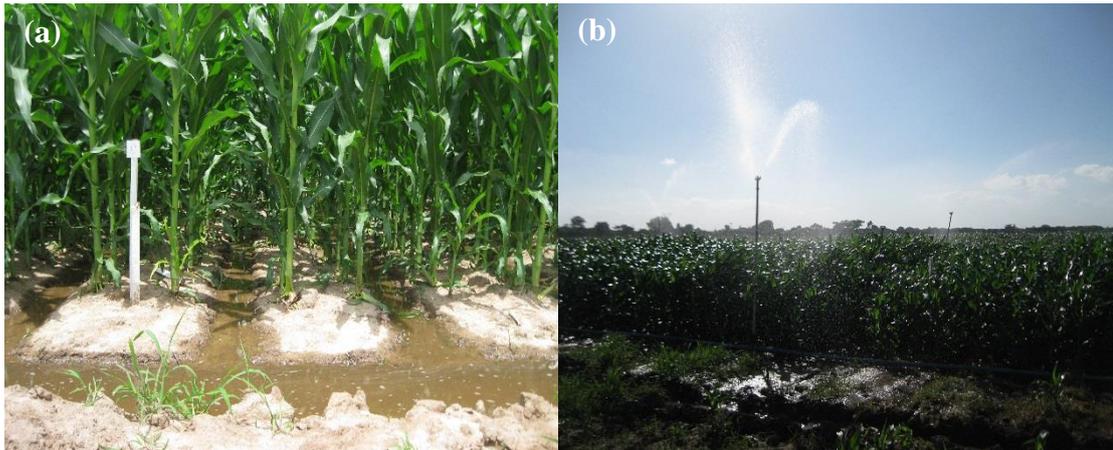


FIGURA 2. Irrigação por sulco (a) e por aspersão (b). Cachoeirinha – RS.

A frequência das irrigações foi determinada com base no monitoramento da umidade volumétrica do solo, através do sensor Hidrofarm, que utiliza a tecnologia ISAF (Impedância do solo em alta frequência) (Gomes *et al.*, 2013). Considerou-se a umidade volumétrica de 20% como limite inferior, ou seja, efetuou-se a irrigação sempre que foi atingido este valor nos sensores. O objetivo de manter a umidade do solo acima de 20% na camada de 0-20 cm foi estabelecido para que ao longo do dia e da noite o teor de umidade no solo não ficasse inferior ao limite hídrico inferior da cultura (0,05 Mpa), conforme definição de Vittum *et al.* (1963), que corresponde a 18% de umidade para este solo. Para que a umidade volumétrica ficasse entre o limite hídrico inferior da cultura (0,05 Mpa 18 %) e a capacidade de campo (0,006 Mpa – 30%), relatada por Macedo *et al.* (2002) para um Planossolo Háplico (Figura 3), foi utilizada dose bruta de irrigação de 30 mm, uniforme para os dois métodos.

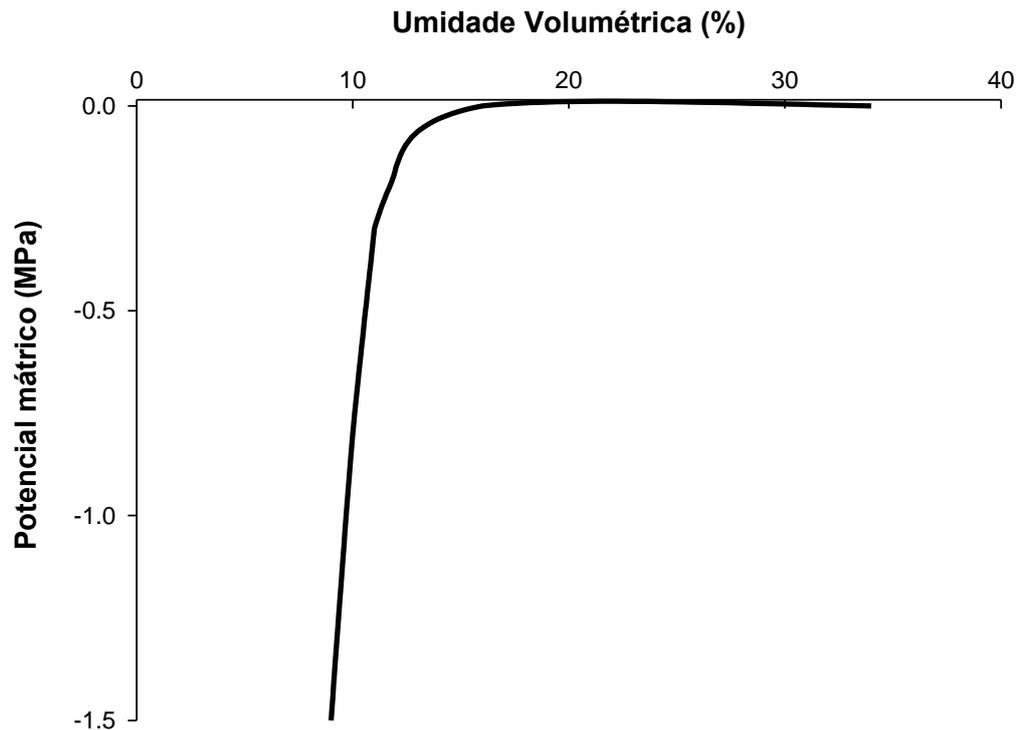


FIGURA 3. Curva de retenção de um Planossolo Háplico Eutrófico solódico da camada superficial do solo (0-0,2 m) coletado em áreas cultivadas com arroz irrigado no município de Pelotas-RS (Silva, 2009).

A dose de 30 mm foi definida através de duas equações. Calculou-se, primeiro, a dose líquida (Equação 1) e, posteriormente, a dose bruta (Equação 2).

$$DL = (\theta_{cc} - \theta_{hlc}) * z \quad (1)$$

A dose líquida é representada como DL (em mm), θ_{cc} é a umidade volumétrica correspondente à capacidade de campo, θ_{hlc} é o limite hídrico inferior da cultura e z é a profundidade de maior atuação das raízes (considerada 200 mm neste trabalho). A partir da divisão da DL pela eficiência do sistema de irrigação (ESI), obteve-se a dose bruta (DB). Atribuiu-se o valor de 80% à ESI, pelo fato do solo em questão ter baixa condutividade hidráulica e do tamanho da área irrigada ser relativamente pequeno.

$$DB = \frac{DL}{ESI} \quad (2)$$

3.4 Determinações

3.4.1 Balanço hídrico

Para cálculo do balanço hídrico, foi mensurada a precipitação pluvial, a umidade volumétrica do solo e a evapotranspiração. A precipitação e a umidade volumétrica foram obtidas, respectivamente, através de leituras diárias em pluviômetros e em sensores de umidade do solo Hidrofarm instalados na área experimental. Para cálculo da evapotranspiração foi utilizado o software SMAI (Sistema para Manejo da Agricultura Irrigada). Este software facilita o cálculo da evapotranspiração de referência diária (ET_o), através do método Penman-Monteith FAO (Equação 3) (Mariano *et al.*, 2011).

$$ET_o = (0,408\Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900}{(T_a + 273)} u_2 (e_s - e_a)) / (\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)) \quad (3)$$

Onde,

Δ - gradiente da curva de pressão de vapor vs temperatura, kPa °C⁻¹;

Rn – Radiação solar líquida disponível, MJ m⁻²d⁻¹;

G – Fluxo de calor no solo, MJ m⁻²d⁻¹;

γ – Constante psicrométrica, kPa °C⁻¹;

u_2 – Velocidade do vento a 2 m, m s⁻¹;

e_s – Pressão de saturação de vapor de água atmosférico, kPa;

e_u – Pressão atual de vapor de água atmosférico, kPa;

T_a – Temperatura média diária, °C.

A evapotranspiração da cultura (Equação 4) é o produto da multiplicação da evapotranspiração de referência (ET_o), calculada no software, e o coeficiente

da cultura do milho (K_c), estabelecido por Bergamaschi *et al.* (1992) para diferentes estádios de desenvolvimento (Tabela 1).

$$ET_c = ETo K_c \quad (4)$$

TABELA 1. Coeficiente da cultura do milho (K_c) para a região da Depressão Central do RS, de acordo com Bergamaschi *et al.* (1992).

Subperíodo	K_c
Semeadura - emergência Duração média: 6 dias	0,50
Emergência - 30 dias após a emergência Duração média: 30 dias	0,70
30 dias após a emergência - pendoamento Duração média: 31 dias	1,10
Pendoamento - maturação leitosa Duração média: 17 dias	1,25
Maturação leitosa - maturação fisiológica Duração média: 38 dias	1,00

3.4.2 Duração dos subperíodos de desenvolvimento

A duração dos subperíodos emergência-pendoamento e pendoamento-espigamento foi determinada, respectivamente, pelo número de dias decorridos entre a emergência (exteriorização do coleóptilo acima da superfície do solo) e o pendoamento (exteriorização do pendão em 50 % das plantas) e entre o pendoamento e o espigamento (estigmas com 1,0 cm de comprimento nas espigas de 75 % das plantas da parcela).

3.4.3 Estatura de planta e altura de inserção de espiga

Foram determinadas no estágio R_1 (espigamento), em cinco plantas por unidade experimental, com uso de uma mira, com comprimento de 4,0 m, e uma régua de 150 cm.

3.4.5 Diâmetro de colmo

Medido com paquímetro, por ocasião da maturação de colheita. A medição foi efetuada no segundo entrenó acima da superfície do solo, em cinco plantas por unidade experimental.

3.4.6 Rendimento de grãos e componentes do rendimento

O rendimento de grãos foi obtido pela extrapolação da produção obtida na área útil da subparcela (10,0 m²) para um hectare, corrigindo-se a umidade para 130 g kg⁻¹.

O número de espigas por metro quadrado foi determinado pela razão entre o número de espigas colhidas na unidade experimental pela área útil colhida. O peso do grão foi obtido pela contagem manual de 200 grãos de cada unidade experimental, com posterior pesagem e correção de umidade para 130 g kg⁻¹, e dividindo-se a massa obtida por 200. Já o número de grãos por espiga foi calculado, indiretamente, da seguinte forma: foi obtido inicialmente o número de grãos das plantas da área útil pela razão entre o peso de grãos da área útil e o peso do grão. Após, foi feita a divisão deste valor pela área útil, obtendo-se o número de grãos por metro quadrado. Por fim, o número de grãos por espiga foi obtido pela razão entre o número de grãos por metro quadrado e o número de espigas por metro quadrado.

3.4.7 Eficiência de uso da água (EUA)

A EUA foi calculada pela fórmula adaptada de Kang *et al.* (2000):

$$EUA = \frac{RF}{VT} \quad (4)$$

Onde RF é o rendimento de grãos obtido nos tratamentos com utilização da irrigação e VT é a soma da quantidade de água aplicada na irrigação e a precipitada ao longo do ciclo da cultura, em m³, extrapolada para um hectare. A EUA foi expressa em quilogramas de grãos produzidos por metro cúbico de água utilizado.

3.4.8 Análise econômica

Para comparação entre os dois métodos de irrigação (sulco e aspersão) e o tratamento não irrigado, a metodologia utilizada foi baseada naquela descrita por Minetto (2003). Por este método, foi obtida a margem bruta, ou seja, a diferença entre a receita bruta e o desembolso efetuado em cada tratamento, não considerando juros sobre desembolso, remunerações às construções, às instalações (inclusive o valor de aquisição de um pivô central) e à terra. A margem bruta foi calculada considerando R\$ 26,62 o preço do saco de 60 kg de milho. Este valor corresponde à média dos preços dos últimos 10 anos, registrados pelo site AGROLINK e corrigido pelo Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP/DI), avaliado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV).

Para a análise, os custos considerados em todos os tratamentos foram: sementes (milho e nabo forrageiro, especificamente no segundo ano), adubos, produtos fitossanitários, transporte de insumos, semeadura, colheita e transporte da produção, fornecidos pela Cooperativa Agropecuária e Industrial de Não-Me-Toque – RS (Cotrijal). Além disso, foram levados em consideração os custos operacionais (gradagem, nivelamento e irrigação), fornecidos pelo IRGA. No custo de sementes de milho considerou-se o valor médio dos custos dos quatro híbridos utilizados.

No tratamento com irrigação por aspersão, também foi considerado o custo de consumo de energia elétrica, visto que o objetivo do tratamento foi simular um sistema de irrigação com pivô central. Os custos são referentes a um pivô de porte médio (para 50 hectares), com vida útil de 20 anos e com fonte de água próxima. Os valores utilizados foram fornecidos pela empresa Fockink.

Desta maneira, os custos de produção encontram-se descritos nas Tabelas 2 e 3, respectivamente para o primeiro e segundo anos.

TABELA 2. Custos fixos e variáveis para produção de milho em função do método de irrigação e no tratamento sem irrigação, ano agrícola 2013/14. Cachoeirinha-RS.

Itens de custo	Irrigação por sulco	Irrigação por aspersão	Sem irrigação
	R\$ ha ⁻¹		
Semeadura	113,00	113,00	113,00
Irrigação	193,00	480,00	0,00
Colheita (8 % da produtividade)	414,00	338,00	103,00
Transporte da produção (2 % da produtividade)	104,00	85,00	26,00
Gradagem pré-nivelamento	121,00	121,00	121,00
Sementes de milho	705,00	705,00	705,00
Adubo base (fórmula 04.17.27)	490,00	490,00	490,00
Adubo de cobertura	38,00	38,00	38,00
Adubação nitrogenada	893,00	893,00	893,00
Pulverização	20,00	20,00	20,00
Herbicidas (Primatop 4L + Glifosato 6L)	133,00	133,00	133,00
Transporte de insumos	4,00	4,00	4,00
Soma total dos custos	3228,00	3420,00	2646,00

TABELA 3. Custos fixos e variáveis para produção de milho em função do método de irrigação e no tratamento sem irrigação, ano agrícola 2014/15. Cachoeirinha-RS.

Itens de custo	Irrigação por sulco	Irrigação por aspersão	Sem irrigação
	R\$ ha ⁻¹		
Semeadura	113,00	113,00	113,00
Irrigação	193,00	226,00	0,00
Colheita (8 % da produtividade)	434,00	443,00	374,00
Transporte da produção (2 % da produtividade)	108,00	111,00	93,00
Gradagem pré-nivelamento	121,00	121,00	121,00
Sementes de nabo forrageiro (20 kg ha ⁻¹)	60,00	60,00	60,00
Adubo base nabo (MAP 250 kg ha ⁻¹)	397,00	397,00	397,00
Sementes de milho	705,00	705,00	705,00
Adubo base (fórmula 04.17.27)	490,00	490,00	490,00
Adubo de cobertura	38,00	38,00	38,00
Adubação nitrogenada	893,00	893,00	893,00
Pulverização	20,00	20,00	20,00
Herbicidas (Primatop 4L + Glifosato 6L)	133,00	133,00	133,00
Transporte de insumos	4,00	4,00	4,00
Soma total dos custos	3709,00	3754,00	3441,00

3.5 Análise estatística

Para a análise de variância foi considerada a significância de $p < 0,05$ para os efeitos principais e de $p < 0,25$ para as interações, segundo descrito por Percin & Filho (2008). Quando significativo, foi realizada a comparação de médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4 RESULTADOS

Para melhor compreensão, a apresentação dos resultados será feita, separadamente, considerando cada ano agrícola como um experimento. Em cada experimento, serão apresentados, em sequência, os resultados relativos ao balanço hídrico, rendimento de grãos, componentes do rendimento e outras características agronômicas, eficiência do uso da água (EUA) e análise econômica.

4.1 Experimento 1 - Ano agrícola 2013/14

4.1.1 Balanço hídrico

No primeiro ano de condução do experimento, o total de precipitação pluvial durante o ciclo de desenvolvimento do milho foi de 480 mm, dos quais 124 mm ocorreram em apenas um evento no mês de novembro, quando as plantas estavam no estágio V₄. Para complementação das necessidades hídricas da cultura foram efetuadas 12 irrigações de 30 mm, totalizando 360 mm ao longo do ciclo, nos dois métodos de irrigação. Neste ano, a evapotranspiração potencial do milho (ET_c) variou entre 0,48 e 8,34 mm dia⁻¹, perfazendo um total de 518 mm (Figura 4). Nos tratamentos irrigados, o teor de umidade no solo foi mantido sempre superior ao limite hídrico da cultura (18%).

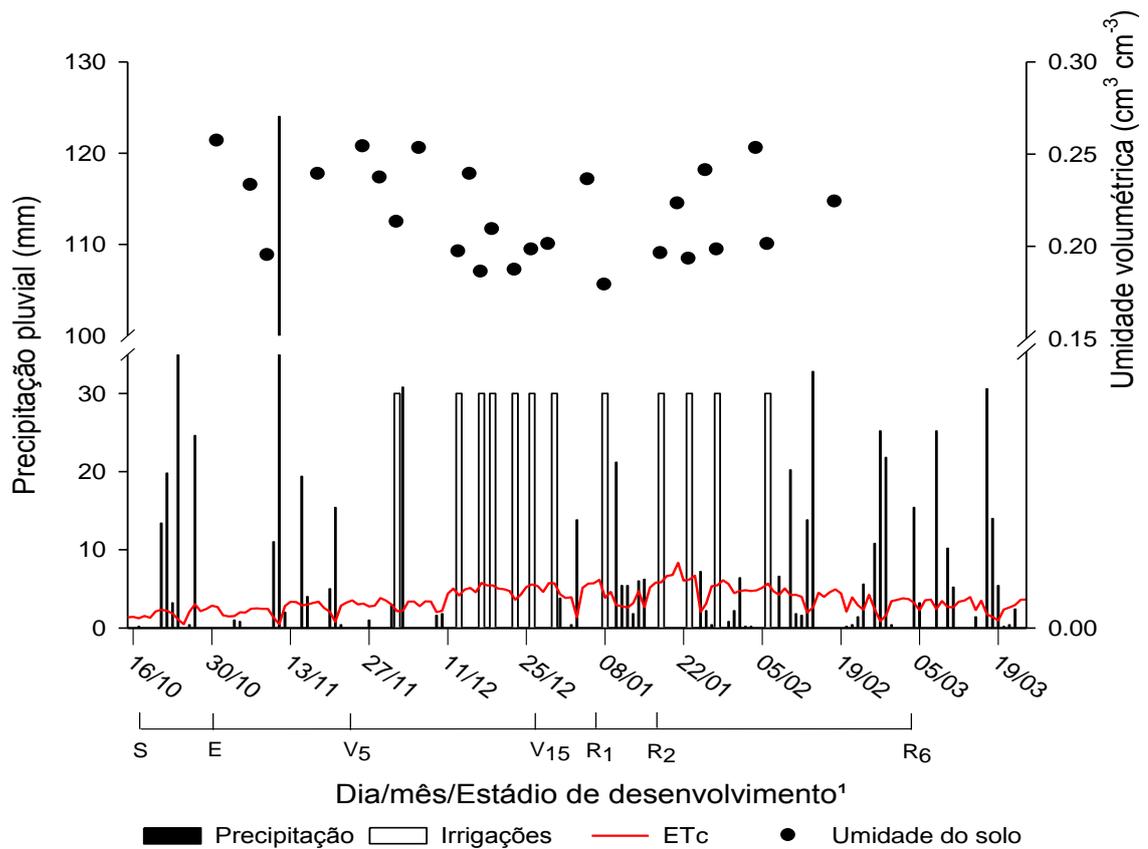


FIGURA 4. Precipitação pluvial, irrigação e evapotranspiração potencial (mm), teor de umidade no solo (cm³ cm⁻³) e ¹estádios fenológicos da cultura do milho, segundo a escala de Ritchie *et al.* (1993), durante o ano agrícola 2013/14, Cachoeirinha-RS.

Neste ano, pode-se notar a irregularidade da distribuição da precipitação (Figura 4). Houve excesso hídrico no início do ciclo, com ocorrência de alta precipitação (124 mm em 24 horas), no início de novembro, quando as plantas estavam no estágio V₄. Apesar da incidência dessa intensa precipitação, o sistema de microcamalhão mostrou-se eficiente para drenagem da área, pois não ocorreu morte de plantas após este evento (Figura 5).



FIGURA 5. Área experimental 24 horas após a ocorrência de 124 mm de precipitação. Cachoeirinha-RS, 2013/14.

Devido à irregularidade pluviométrica, ocorreu déficit hídrico no período entre o início do primeiro decêndio de dezembro de 2013 e o fim do primeiro decêndio de janeiro de 2014 (Figura 4), correspondendo aos estádios V_{10} até R_2 , períodos em que foram realizadas a maioria das irrigações. Segundo a estação do INMET, localizada em Porto Alegre – RS, a normal climatológica da precipitação de uma série histórica de 30 anos (período de 1970 a 2000) para os meses de dezembro e janeiro é de 110 mm (Figura 7). No entanto, neste primeiro ano, a precipitação foi baixa nos meses de dezembro e janeiro, sendo de 48 e 75 mm, respectivamente. Na Figura 4, pode-se observar que este período com baixa precipitação também abrangeu o subperíodo pendoamento-espigamento, que é considerado o mais crítico do milho em relação ao déficit hídrico. Esta deficiência hídrica refletiu-se na obtenção de baixos rendimentos de grãos nos tratamentos

não irrigados (2,91 Mg ha⁻¹, na média de quatro híbridos) em relação aos irrigados.

4.1.2 Rendimento de grãos e outras características agronômicas

Para rendimento de grãos, não houve interação significativa dos fatores métodos de irrigação e híbridos, tendo sido significativo apenas o efeito principal de métodos de irrigação (Apêndice 1). O rendimento de grãos variou de 2,20 Mg ha⁻¹ a 12,56 Mg ha⁻¹, obtidos, respectivamente, com o híbrido Dow 30A37 PW, no tratamento não irrigado, e com o híbrido Dekalb 240 PRO RR 2, no tratamento com irrigação por sulco (Tabela 4).

O rendimento de grãos foi 75,1 e 69,5% menor nos tratamentos sem irrigação em relação aos tratamentos com irrigação por sulco e por aspersão (Tabela 4). Embora não tenha havido diferença significativa entre os métodos de irrigação por aspersão e por sulco, numericamente o rendimento de grãos foi 22,0% superior no tratamento com irrigação por sulco, na média dos híbridos (Tabela 4).

TABELA 4. Rendimento de grãos de quatro híbridos de milho em função do método de irrigação, em Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2013/14.

Híbrido	Irrigação por sulco	Irrigação por aspersão	Test. sem irrigação	Média
-----Rendimento de grãos - Mg ha ⁻¹ -----				
Dekalb 240 PRO RR 2	12,56	9,66	3,03	8,10 ^{ns}
Dow 30A37 PW	11,19	10,03	2,20	7,80
Pioneer 30F53 YHR	11,31	9,48	3,71	8,16
Syngenta Status TL TG	11,65	8,96	2,70	7,77
Média	11,67 a*	9,53 a	2,91 b	
CV ¹ (%)	20,3			

¹Coeficiente de variação; *Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05); ^{ns}: não significativo (p > 0,05) na coluna.

Nos tratamentos sem irrigação, a duração dos subperíodos emergência-
pendoamento e pendoamento-espigamento foi maior do que nos tratamentos
irrigados por sulco e por aspersão (Tabela 5). O híbrido Dekalb 240 PRO RR 2,
de ciclo superprecoce, foi o que apresentou menor duração do subperíodo
pendoamento-espigamento.

Em todos os híbridos, o número de grãos por espiga foi menor no
tratamento sem irrigação em relação aos irrigados (Tabela 6). Esse componente
não diferiu entre híbridos de milho, nos dois métodos de irrigação e no tratamento
sem irrigação.

Nos tratamentos não irrigados, o número de espigas por metro quadrado
foi 23,7 e 17,1% menor em relação, respectivamente, aos irrigados por sulco e
por aspersão, na média de quatro híbridos (Tabela 7).

Para o componente peso do grão também houve interação de métodos de
irrigação e híbridos (Tabela 8). Com exceção do Pioneer 30F53 YR, todos os
demais híbridos reduziram o peso do grão no tratamento sem irrigação em
relação aos com irrigação, especialmente no método por sulco. Nos tratamentos
com irrigação por sulco, os híbridos Dekalb 240 PRO RR 2 e Syngenta Status TL
TG apresentaram, respectivamente, incrementos de 17 e 19% no peso do grão
em relação aos tratamentos não irrigados.

Na média de métodos de irrigação, os híbridos de milho testados não
diferiram quanto ao rendimento de grãos (Tabela 4).

TABELA 5. Duração dos subperíodos emergência-pendoamento e pendoamento-espigamento de quatro híbridos de milho, com e sem irrigação, em Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2013/14.

Híbrido	Duração dos subperíodos (dias)			
	Emergência - pendoamento		Pendoamento – espigamento	
	Irigado ¹	Não irrigado	Irigado	Não irrigado
Dekalb 240 PRO RR 2	64	68	4	8
Pioneer 30F53 YHR	68	71	6	9
Syngenta Status TL TG	68	71	6	9
Dow 30A37 PW	71	73	5	7

¹Média dos tratamentos com irrigação por aspersão e por sulco.

TABELA 6. Número de grãos por espiga de quatro híbridos de milho em função de métodos de irrigação, em Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2013/14.

Híbrido	Irrigação por sulco	Irrigação por aspersão	Test. sem irrigação
-----Grãos espiga ⁻¹ - N ^o -----			
Dekalb 240 PRO RR 2	A 574 a*	A 520 a	A 189 b
Pioneer 30F53 YHR	A 483 a	A 482 a	A 249 b
Syngenta Status TL TG	A 555 a	A 491 a	A 165 b
Dow 30A37 PW	A 461 a	A 540 a	A 123 b
CV ¹ (%)	18,3		

¹Coeficiente de variação; *Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

TABELA 7. Características agrônômicas do milho em função do método de irrigação, em Gleissolo, na média de quatro híbridos. Cachoeirinha – RS, 2013/14.

Característica	Irrigação por sulco	Irrigação por aspersão	Test. sem irrigação	CV ¹ (%)
Espigas m ⁻² (N ^o)	7,6 a*	7,0 ab	5,8 b	19,2
Altura de inserção da espiga (cm)	112 ^{ns}	106	103	4,8
Diâmetro de colmo (cm)	2,43 ^{ns}	2,46	2,43	8,9
EUA (kg m ⁻³)	1,44 ^{ns}	1,15	-	13,8

¹Coeficiente de variação; *Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), ^{ns}: não significativo ($p > 0,05$) na linha.

Das características relacionadas ao desenvolvimento da planta, observou-se efeito da deficiência hídrica apenas na estatura de planta (Tabela 9), já que a altura de inserção da espiga e o diâmetro de colmo não foram influenciados (Tabela 7). Nos tratamentos sem irrigação, a estatura de planta reduziu-se em 18,8 e 16,4 % em relação, respectivamente, aos tratamentos irrigados por sulco e por aspersão.

Os híbridos Syngenta Status TL TG e Dow 30A37 PW apresentaram maior resposta à irrigação em relação à estatura de planta, sendo 29 e 27 % superiores nos tratamentos irrigados por sulco quando comparados ao tratamento não irrigado, respectivamente (Tabela 9).

Embora não significativo estatisticamente, o valor numérico da EUA no tratamento com irrigação por sulco foi 25 % maior que o verificado no tratamento com irrigação por aspersão (Tabela 7).

TABELA 8. Peso do grão de quatro híbridos de milho em função de métodos de irrigação, em Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2013/14.

Híbrido	Irrigação por sulco	Irrigação por aspersão	Test. sem irrigação
----- Peso do grão – mg -----			
Dekalb 240 PRO RR 2	A 295 a*	A 255 ab	A 252 b
Pioneer 30F53 YHR	A 287 a	A 296 a	A 267 a
Syngenta Status TL TG	A 301 a	A 262 ab	A 252 b
Dow 30A37 PW	A 313 a	A 260 b	A 284 ab
CV ¹ (%)	7,9		

¹Coeficiente de variação; *Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

TABELA 9. Estatura de planta de híbridos de milho em função de métodos de irrigação, em Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2013/14.

Híbrido	Irrigação por sulco	Irrigação por aspersão	Test. sem irrigado
-----Estatura de planta – m-----			
Dekalb 240 PRO RR 2	B 2,41 ab	AB 2,45 a	A 2,10 b
Pioneer 30F53 YHR	B 2,49 a	A 2,52 a	A 2,05 b
Syngenta Status TL TG	A 2,69 a	A 2,50 a	A 2,07 b
Dow 30A37 PW	B 2,42 a	B 2,25 a	A 1,90 b
CV ¹ (%)	4,8		

¹Coeficiente de variação; *Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

4.1.3 Análise econômica

Nesse primeiro ano agrícola, a margem bruta obtida na testemunha sem irrigação foi negativa, resultando no prejuízo de R\$ 1355,00 ha⁻¹ (Tabela 10). Neste ano, a precipitação ocorrida durante o ciclo do milho foi de 480 mm, portanto insuficiente para atender à demanda de 600 mm durante todo o ciclo de desenvolvimento (Matzenauer *et al.*, 2002). Além disto, a precipitação foi distribuída de maneira desuniforme ao longo do ciclo da cultura (Figura 4).

Ao se comparar os dois métodos de irrigação, observou-se que a margem bruta obtida com o método de irrigação por sulco (R\$1950,00 ha⁻¹) foi 141% superior à margem bruta com o método por aspersão (R\$808,00 ha⁻¹) (Tabela 10).

Para o tratamento com irrigação por aspersão, o custo de irrigação foi considerado como o custo de funcionamento de um pivô central, visto que o objetivo era simular a utilização do mesmo. Como neste ano foram realizadas 12 irrigações, somando 360 mm, o custo da irrigação por aspersão foi alto (R\$ 3420,00 ha⁻¹).

TABELA 10. Receita bruta, custo de produção e margem bruta obtidos com o cultivo de milho em função de método de irrigação, em dois anos agrícolas. Cachoeirinha-RS.

Tratamento	Receita bruta ¹	Custo de produção	Margem bruta ²
	R\$ ha ⁻¹		
Ano agrícola 2013/14			
Irrigação por sulco	5178,00	3228,00	1950,00
Irrigação por aspersão	4228,00	3420,00	808,00
Sem irrigação	1291,00	2646,00	-1355,00
Ano agrícola 2014/15			
Irrigação por sulco	5422,00	3709,00	1713,00
Irrigação por aspersão	5537,00	3754,00	1783,00
Sem irrigação	4672,00	3441,00	1231,00

¹Preço de comercialização do saco de 60 kg de milho: R\$26,62; ²Diferença entre receita bruta e custo de produção.

4.2 Experimento 2 - Ano agrícola 2014/15

4.2.1 Balanço hídrico

No segundo ano de condução do experimento, o acumulado de precipitações pluviais durante o ciclo da cultura foi mais elevado (620 mm). Além disso, a precipitação foi distribuída de maneira mais regular ao longo do ciclo (Figura 6). Não foram registradas precipitações intensas, que causassem excesso hídrico no início do ciclo da cultura, diferentemente do observado no primeiro ano. Também, devido à maior regularidade da distribuição das precipitações neste ano, a necessidade de irrigação foi inferior à do ano anterior. Foram realizadas seis irrigações, perfazendo um total de 170 mm de água, correspondendo a apenas 47,2% da quantidade de água utilizada na irrigação no ano anterior.

A evapotranspiração potencial do milho manteve-se entre 0,63 e 7,58 mm dia⁻¹, resultando num total de 536 mm durante o ciclo da cultura. Como no primeiro ano, nos tratamentos irrigados o teor de umidade no solo foi mantido sempre superior ao limite hídrico da cultura (18%).

Neste ano agrícola, não se verificou deficiência hídrica no período mais crítico da cultura, correspondendo ao subperíodo pendoamento-espigamento, diferentemente do que foi observado no ano anterior, pois nos meses de dezembro e janeiro o total de precipitações foi de 125 e 183 mm, respectivamente. Esses valores são considerados elevados, já que foram, respectivamente, 13,6 e 66,3% maiores em relação à normal climatológica. Essa maior disponibilidade hídrica nos meses de dezembro e janeiro justifica o fato dos rendimentos de grãos nos tratamentos sem irrigação terem sido bem mais elevados nesse segundo ano (10,53 Mg ha⁻¹, na média de quatro híbridos).

O segundo ano de condução do experimento pode ser considerado um ano atípico, pois não ocorreu déficit hídrico no período mais crítico do milho (Figura 6). Ocorreu apenas um pequeno período sem precipitações (10 dias) no mês de fevereiro, quando as plantas se encontravam no estágio R₄. Neste estágio, as plantas de milho, especialmente do híbrido mais precoce (DKB 240 PRO RR 2), já não estavam mais no período mais crítico à deficiência hídrica.

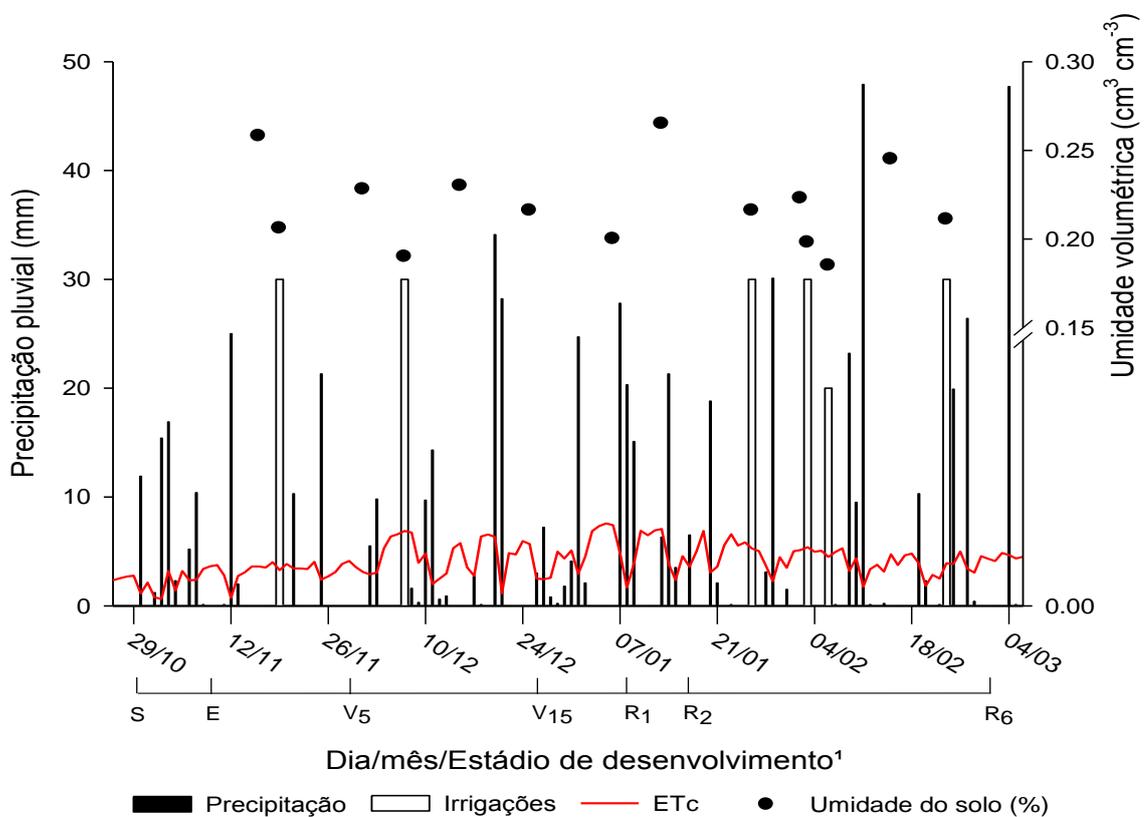


FIGURA 6. Precipitação pluvial, irrigação e evapotranspiração potencial (mm), teor de umidade no solo (cm³ cm⁻³) e ¹estádios fenológicos da cultura do milho, segundo a escada de Ritchie *et al.* (1993), durante o ano agrícola 2014/15, Cachoeirinha-RS.

Similarmente ao que ocorreu no primeiro ano, foi observado que o controle da umidade do solo pela utilização de sensores de umidade e a aplicação da dose de irrigação de 30 mm, nos dois métodos de irrigação, constituíram-se

em estratégias eficientes para evitar o estresse por déficit hídrico, em solo classificado como Gleissolo. Em relação ao estresse por excesso hídrico, a utilização do sistema de microcamalhão também demonstrou ser uma prática eficiente.

A grande variabilidade que há na precipitação pluvial na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul, é evidenciada quando os dados dos dois anos agrícolas são comparados aos da normal climatológica (Figura 7). Essa variação se deve tanto à quantidade quanto à distribuição da precipitação pluvial ao longo da estação de crescimento do milho.

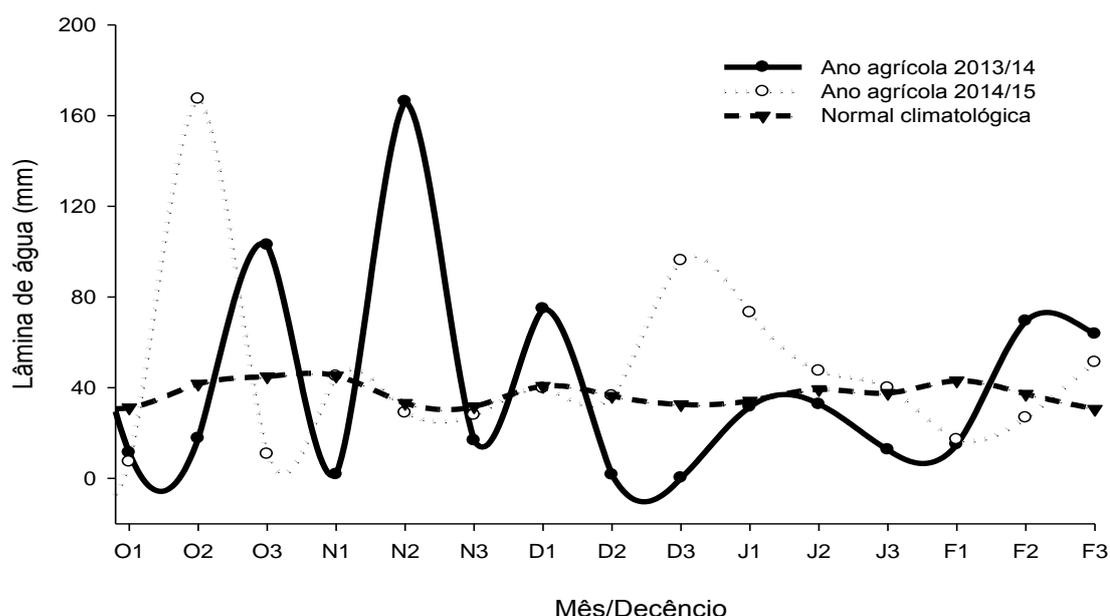


FIGURA 7. Precipitação pluvial por decêndio nos meses de outubro a fevereiro referente aos anos agrícolas 2013/14 e 2014/15 e à normal climatológica do período de 1970 a 2000. Porto Alegre - RS. Fontes: Bergamaschi *et al.* (2003) e INMET (2015).

4.2.2 Rendimento de grãos e outras características agronômicas

No segundo ano, a variação do rendimento de grãos em função de método de irrigação foi bem menor em relação ao primeiro ano (Tabela 11). O

rendimento de grãos variou de 10,42 Mg ha⁻¹ a 13,37 Mg ha⁻¹, obtidos, respectivamente, com o híbrido Dow 30A37 PW, no tratamento não irrigado, e com o híbrido Dekalb 240 PRO RR 2, no tratamento com irrigação por aspersão. Nesse segundo ano foi obtido maior teto produtivo (13,37 Mg ha⁻¹) em relação ao primeiro ano.

Para rendimento de grãos, não houve resposta à irrigação, tendo sido significativo apenas o efeito principal de híbridos (Tabela 11). Na média de métodos de irrigação, o híbrido Dekalb 240 PRO RR 2 foi mais produtivo do que o Pioneer 30F53 YHR, mas não diferiu dos demais híbridos testados. No entanto, novamente todos os híbridos demonstraram adequada capacidade de adaptação ao solo, o que se refletiu em altas produtividades de todos os híbridos testados.

TABELA 11. Rendimento de grãos de quatro híbridos de milho em função de métodos de irrigação, em Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2014/15.

Híbrido	Irrigação por sulco	Irrigação por aspersão	Test. sem irrigação	
----- Rendimento de grãos - Mg ha ⁻¹ -----				
Dekalb 240 PRO RR 2	12,72	13,37	12,95	13,01 A*
Dow 30A37 PW	12,79	12,56	10,58	11,97 AB
Pioneer 30F53 YHR	10,42	11,66	12,23	11,43 B
Syngenta Status TL TG	12,98	12,34	10,78	12,03 AB
Média	12,22 ^{ns}	12,48	10,53	
CV ¹ (%)	12,01			

¹Coeficiente de variação; *Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), ^{ns}: não significativo ($p > 0,05$).

A duração do subperíodo pendramento-espigamento não variou em função da irrigação (Tabela 12). Isso se deve ao fato de que, a partir do primeiro decêndio de dezembro até o terceiro decêndio de janeiro, não ocorreu déficit

hídrico (Figura 7), correspondendo justamente ao período de maior exigência hídrica da cultura (estádio V₁₅ até R₂) (Figura 6).

TABELA 12. Duração dos subperíodos emergência-pendoamento e pendoamento-espigamento, em quatro híbridos de milho, com e sem irrigação em Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2014/15.

Híbrido	Duração dos subperíodos (dias)			
	Emergência - pendoamento		Pendoamento - espigamento	
	Irrigado ¹	Não irrigado	Irrigado	Não irrigado
Dekalb 240 PRO RR 2	60	60	3	3
Pioneer 30F53 YHR	63	63	3	3
Syngenta Status TL TG	63	63	3	5
Dow 30A37 PW	63	63	5	5

¹Média dos tratamentos irrigados por sulco e por aspersão.

Assim como o rendimento de grãos, dois dos três componentes do rendimento (número de grãos por espiga e peso do grão) não foram influenciados pelo método de irrigação (Tabelas 13,14 e 15).

Para número de grãos por espiga houve apenas efeito principal de híbridos (Tabela 13). O híbrido Dekalb 240 PRO RR 2 foi o que produziu o maior número de grãos por espiga.

TABELA 13. Características agronômicas de quatro híbridos de milho, em Gleissolo, na média dos métodos de irrigação. Cachoeirinha-RS, 2014/15.

Característica	Híbrido				CV ¹ (%)
	Dekalb 240 PRO RR 2	Pioneer 30F53 YHR	Syngenta Status TL TG	Dow 30A37 PW	
Grãos espiga ⁻¹ (Nº)	455 a	371 b	348 b	369 b	12,9
Estatura de planta (m)	2,66 ^{ns}	2,64	2,65	2,60	2,6
Altura de inserção da espiga (cm)	122 ^{ns}	122	123	125	5,2
Diâmetro de colmo (cm)	2,20 ^{ns}	2,08	2,06	2,14	8,4
EUA (kg m ⁻³)	1,54 a	1,31 b	1,50 ab	1,50 ab	9,9

¹ Coeficiente de variação; *Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), ^{ns}: não significativo ($p > 0,05$).

O número de espigas por metro quadrado não variou em função de método de irrigação, exceto para o híbrido Syngenta Status TLTG, que apresentou menor número com irrigação por aspersão (Tabela 14). Esse componente não variou em função de híbridos, independentemente de método de irrigação.

TABELA 14. Número de espigas por metro quadrado de híbridos de milho em função de métodos de irrigação, em Gleissolo. Cachoeirinha – RS, 2014/15.

Híbrido	Irrigação		
	Por sulco	Por aspersão	Test. sem irrigação
	-----Espigas m ⁻² - N ^o -----		
Dekalb 240 PRO RR 2	A 8,4 a*	A 8,6 a	A 8,5 a
Pioneer 30F53 YHR	A 7,9 a	A 8,3 a	A 8,1 a
Syngenta Status TL TG	A 9,6 a	A 8,0 b	A 9,9 a
Dow 30A37 PW	A 9,2 a	A 8,5 a	A 8,5 a
CV ¹ (%)	12,9		

¹ Coeficiente de variação; *Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O componente peso do grão também não variou entre os tratamentos com e sem irrigação, exceto no híbrido Syngenta Status TL TG, que apresentou menor peso do grão no tratamento sem irrigação (Tabela 15). Além disso, os híbridos Syngenta Status TL TG e Dow 30A37 PW apresentaram valores superiores aos demais híbridos quando irrigados. Estes mesmos híbridos, na média dos métodos de irrigação, também apresentaram menor número de grãos por espiga, demonstrando a plasticidade das plantas em compensar o menor número de grãos na espiga.

TABELA 15. Peso do grão de híbridos de milho em função de métodos de irrigação, em Gleissolo. Cachoeirinha-RS, 2014/15.

Híbrido	Irrigação por sulco	Irrigação por aspersão	Test. sem irrigação
-----Peso do grão – mg-----			
Dekalb 240 PRO RR 2	B 329 a*	B 337 a	A 346 a
Pioneer 30F53 YHR	AB 357 a	AB 365 a	A 354 a
Syngenta Status TL TG	A 399 a	A 401 a	A 347 b
Dow 30A37 PW	A 389 a	A 384 a	A 358 a
CV ¹ (%)	6,5		

¹Coeficiente de variação; *Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Da mesma forma, as características relacionadas ao desenvolvimento da planta (estatura de planta, altura de inserção da espiga e diâmetro de colmo) e a EUA não variaram em função de métodos de irrigação (Tabela 13). Houve déficit hídrico a partir de fevereiro com duração de 10 dias, do qual o híbrido Dekalb 240 PRO RR 2 foi o menos afetado, por ser um híbrido de ciclo superprecoce. Sendo assim, na média dos métodos de irrigação, o híbrido Dekalb 240 PRO RR 2 apresentou novamente a maior EUA (1,54 kg m⁻³). O híbrido Pioneer 30F53 YHR,

devido a menor produtividade nos tratamentos irrigados neste ano, apresentou o menor valor, $1,31 \text{ kg m}^{-3}$, apesar de diferir estatisticamente somente do híbrido Dekalb 240 PRO RR 2.

4.2.3 Análise econômica

Nesse ano agrícola, a margem bruta obtida foi positiva, tanto no tratamento sem irrigação ($\text{R\$ } 1231,00 \text{ ha}^{-1}$) quanto nos tratamentos irrigados por aspersão ($\text{R\$ } 1783,00 \text{ ha}^{-1}$) e por sulco ($\text{R\$ } 1713,00 \text{ ha}^{-1}$) (Tabela 10). Neste ano, a precipitação pluvial ao longo do ciclo foi de 620 mm, distribuídos de maneira mais regular do que no primeiro ano, sem a ocorrência de estiagem nos períodos críticos da cultura, sendo necessárias apenas seis irrigações, totalizado 170 mm (Figura 6).

Nos tratamentos com irrigação por sulco e por aspersão as margens brutas obtidas foram similares (Tabela 10) e superiores ao tratamento sem irrigação. Devido ao regime diferencial de precipitações entre os dois anos de estudo, a maior variação identificada foi no tratamento sem irrigação, que apresentou resultado negativo ($\text{R\$ } -1355,00 \text{ ha}^{-1}$), no primeiro ano, e positivo ($\text{R\$ } 1231,00 \text{ ha}^{-1}$), no segundo ano.

5 DISCUSSÃO

5.1 Experimento 1 - Ano agrícola 2013/14

De acordo com a primeira hipótese deste trabalho, é possível atingir altas produtividades de milho, com rentabilidade, sob condições adequadas de drenagem e irrigação em Gleissolo, sendo assim uma possível alternativa para a rotação de culturas em área de arroz irrigado.

Nesse primeiro ano, o teto produtivo obtido no experimento ($12,56 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi bem elevado, considerando que a produtividade média do estado do RS foi de $4,98 \text{ Mg ha}^{-1}$ no ano agrícola 2014/15 (CONAB, 2015). Houve acentuada resposta à irrigação. Em relação ao tratamento não irrigado, os incrementos de rendimento foram de 298 e 225%, respectivamente, quando se irrigou por sulco e por aspersão, na média de híbridos.

Por ser de textura arenosa, o tipo de solo presente na área experimental (Gleissolo) apresenta baixa capacidade de retenção de umidade no solo, fazendo com que o milho fosse mais prejudicado pela ocorrência de deficiência hídrica, especialmente no momento em que esta ocorreu, sendo no período mais crítico da cultura, entre os estádios V_{15} e R_2 , respectivamente início de pendoamento e espigamento (Bergamaschi & Matzenauer, 2014).

Por outro lado, a normal climatológica da precipitação pluvial para a região da Depressão Central do RS, local em que o experimento foi conduzido,

indica que, geralmente, as necessidades da cultura não são atendidas durante seu ciclo de desenvolvimento, pois a probabilidade de ocorrer deficiência no período mais crítico da cultura é de 60% (Matzenauer *et al.*, 2002).

O incremento de rendimento de grãos obtido com o uso da irrigação neste ano assemelha-se aos valores citados na literatura em locais com déficit hídrico. No caso da irrigação por sulco, são relatados incrementos de 298% em Pelotas-RS (Silva *et al.*, 2007), 277% na Turquia (Dagdelen *et al.*, 2006) e de 91% no Irã (Sepaskhah & Khajehabdollahi, 2005).

A grande redução verificada no rendimento de grãos no tratamento sem irrigação em relação aos irrigados (Tabela 4) pode ser explicada pelo fato do subperíodo pendoamento-espigamento de todos os híbridos de milho ter coincidido com um período de intensa estiagem (Figura 4). O intenso período de déficit hídrico resultou no aumento da duração do subperíodo pendoamento-espigamento. Esse aumento da duração pode ter causado uma defasagem entre o período de liberação de pólen e o aparecimento dos estigmas. Segundo Sangoi *et al.* (2010), devido à viabilidade do pólen ser apenas de 12 a 18 horas, o aumento do subperíodo pendoamento-espigamento resulta em óvulos não fecundados e, conseqüentemente, em menor número de grãos por espiga. Aumento da duração do subperíodo pendoamento-espigamento sob condição de deficiência hídrica também foi relatado por Tollenaar *et al.* (1994) e Tollenaar & Lee (2002).

Campos *et al.* (2004) e Bolaños & Edmeades (1996) também demonstraram que as perdas no rendimento de grãos nos tratamentos com deficiência hídrica deveram-se ao aumento do subperíodo pendoamento-

espigamento e estão relacionadas, principalmente, à esterilidade de plantas e ao menor número de grãos por espiga.

O híbrido Dekalb 240 PRO RR 2, de ciclo superprecoce, foi o que apresentou menor duração do subperíodo pendramento-espigamento (Tabela 5). No entanto, devido ao amplo período de estiagem ocorrido durante a estação de crescimento nesse ano, a diferença de ciclo entre híbridos não se constituiu em mecanismo de escape à deficiência hídrica.

Em relação ao componente do rendimento número de espigas por metro quadrado houve redução drástica nos tratamentos não irrigados, que também já havia sido observada por Bergamaschi *et al.* (2006) e por Vieira *et al.* (2013), com irrigação por aspersão e por Rodríguez *et al.* (2011), com irrigação por gotejamento, quando comparado aos tratamentos sem irrigação.

O peso do grão foi influenciado pela irrigação, também devido à ocorrência de déficit hídrico. Segundo Sangoi *et al.* (2010), com restrições hídricas severas e, conseqüentemente, com redução no aparato fotossintético da planta e na capacidade de remobilização dos fotoassimilados no subperíodo de enchimento de grão, o peso do grão formado na espiga é reduzido.

A característica agrônômica estatura de planta também indica que a deficiência hídrica foi severa e prolongada nesse ano. As plantas no tratamento sem irrigação apresentaram menor estatura de planta em relação às dos tratamentos com irrigação (Tabela 9). Isso se deve ao fato de que o déficit hídrico ter ocorrido a partir do início do primeiro decêndio de dezembro de 2013, correspondendo ao período vegetativo (estádio V_{10}), e se prolongado até o estágio R_2 do milho.

De acordo com a segunda hipótese deste trabalho, a eficiência de uso da água (EUA) varia de acordo com o método de irrigação. Embora sem significância estatística, a EUA foi, numericamente, 25,2% superior quando se utilizou o método de irrigação por sulco em relação ao método de irrigação por aspersão. Dentre as possíveis causas dessas maiores perdas com a irrigação por aspersão estão: a velocidade do vento no momento da irrigação pode ter afetado a uniformidade de distribuição da água e a evaporação da água aplicada nas folhas das plantas pode ter sido influenciada pela umidade relativa do ar e pela temperatura do ar. Devido a estes fatores, a eficiência da irrigação por aspersão é em torno de 70%, podendo variar até 50%, em condições inadequadas de irrigação e até 90% na melhor das situações, sem vento e com temperatura amena (EMBRAPA, 2006). Além disso, no método de irrigação por sulco a água ficava restrita ao sulco, havendo menor exposição para evaporação em relação à irrigação por aspersão, a qual molha toda a superfície do solo.

Na literatura são relatados valores de EUA para a cultura do milho superiores a 3 kg m^{-3} (Dagdelen *et al.*, 2006) e a 5 kg m^{-3} (Kang *et al.*, 2000), utilizando irrigação por sulco. Entretanto, nesses cálculos não está sendo considerada a água proveniente da precipitação pluvial, que é aproveitada da mesma forma pela planta. Assim, se for considerada apenas a água da irrigação durante o ciclo de desenvolvimento do milho, 360 mm neste ano, a EUA nos métodos de irrigação por sulco e por aspersão foi de, respectivamente, 3,24 e $2,64 \text{ kg m}^{-3}$.

Em áreas com recursos hídricos limitados, o uso eficiente da água também deve ser considerado, como ressaltado por Blum (2009). Desta maneira, a cultura do milho torna-se uma alternativa promissora, pois devido à elevada

eficiência no uso da água, promove também o uso eficiente e racional da água para produção de grãos, principalmente nessas áreas tradicionalmente cultivadas com arroz irrigado. Outro aspecto importante é que a cultura do milho, em situações de escassez hídrica, apresenta boa resposta à irrigação realizada apenas no período mais crítico da cultura, entre os estádios V_{15} e R_2 (Bergamaschi & Matzenauer, 2014). Na cultura do arroz irrigado, a EUA varia de $0,5 \text{ kg m}^{-3}$ até $1,25 \text{ kg m}^{-3}$ dependendo do manejo adotado (Menezes *et al.* 2012). Com irrigação contínua, é um pouco maior ($1,7 \text{ kg m}^{-3}$) em relação à irrigação intermitente (Petry *et al.*, 2011), demonstrando que a demanda hídrica do arroz é maior que a do milho para produzir a mesma quantidade de alimento.

Também, de acordo com a segunda hipótese, a rentabilidade varia entre os métodos de irrigação. Nesse ano, a margem bruta obtida com o método de irrigação por sulco (R\$1950,00 ha^{-1}) foi 141% superior à margem bruta com o método por aspersão (R\$808,00 ha^{-1}). O custo da irrigação por aspersão foi maior em relação ao do método por sulco, sendo de, respectivamente, R\$ 480,00 e R\$193,00 (Tabela 2). Isso determinou menor custo de produção do método de irrigação por sulco, uma vez que foi considerado apenas uma estação de recalque. Já o alto custo no método de irrigação por aspersão deveu-se à necessidade de realização de várias irrigações durante o ciclo de desenvolvimento do milho.

A margem bruta foi calculada a partir de um preço médio nos últimos 10 anos para o saco de 60 kg (R\$ 26,62). Caso o produtor rural disponha de unidade de armazenamento, ele pode receber mais de R\$ 30,00 pelo saco de milho no período de entressafra, obtendo, desta maneira, maior lucro. Para a cultura de milho, já se obteve margem bruta de R\$2937,00 ha^{-1} no município de Lages-SC

(Sangoi *et al.*, 2006), sob alto nível de manejo. No entanto, o solo do local de realização do experimento é um Nitossolo, que se caracteriza por ser profundo, bem drenado, muito poroso, friável e bem estruturado, e, geralmente, com boa aptidão agrícola (Streck *et al.*, 2008), diferentemente das características apresentadas pelo gleissolo, onde se realizou o presente experimento.

Neste ano, a margem bruta negativa obtida com o tratamento sem irrigação demonstra o alto custo de produção do milho e o alto risco de produção dessa cultura sem uso de irrigação nesse tipo de solo predominante na região da Depressão Central. Desta forma, a irrigação do milho torna-se a principal ferramenta de manejo para obtenção de maior estabilidade nos rendimentos de grãos. Isto porque na semeadura na época recomendada (outubro), a probabilidade de ocorrência de déficit hídrico em dezembro e janeiro em algumas regiões do RS, justamente no período mais crítico da cultura (entre os estádios V₁₅ e R₂), é muito alta, sendo de 60 %, segundo Matzenauer *et al.* (2002).

A necessidade de irrigação em milho no estado do RS torna-se mais evidente quando se analisa a última década. No ano agrícola 2003/04, a queda no rendimento médio de grãos no estado devido à deficiência hídrica foi de 28%. Altos prejuízos com ocorrência de deficiência hídrica nesse estado também foram relatados nos anos agrícolas 2004/05, 2010/11 (CEPEA, 2013) e 2013/14, este último coincidindo com o primeiro ano deste estudo.

5.2 Experimento 2 - Ano agrícola 2014/15

5.2.1 Rendimento de grãos e outras características agronômicas

Neste ano, não se observou efeito da irrigação no rendimento de grãos, independentemente de híbrido (Tabela 11). Isso se deve ao fato de que a quantidade de precipitação foi alta e a distribuição da mesma foi mais regular durante o ciclo de desenvolvimento do milho. Isso se refletiu no tratamento sem irrigação, sendo o rendimento de grãos 262% superior ao verificado no primeiro ano.

O regime pluviométrico verificado no segundo ano agrícola pode ser considerado atípico, pois na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul, onde foi conduzido o experimento, a probabilidade de ocorrer déficit hídrico na cultura do milho no período entre pendoamento e enchimento de grãos é de 60%, ou seja, a cada 10 anos em seis há déficit hídrico no período mais crítico da cultura (Matzenauer *et al.*, 2002).

O número de grãos por espiga (Tabela 13) e o peso do grão (Tabela 15) não foram influenciados pelo fator irrigação. Isto se deveu ao fato de que não houve deficiência hídrica durante a definição desses componentes do rendimento. O número de grãos por espiga está associado à taxa de crescimento entre o pré e pós-pendoamento e à definição do número de óvulos (Andrade *et al.*, 1999; Didonet *et al.*, 2002). Já o peso do grão é o componente menos afetado por práticas de manejo e variações ambientais (Borrás & Otegui, 2001).

No segundo ano agrícola, em que houve menor necessidade de irrigação, a EUA aumentou para 7,18 e 7,34 kg m⁻³, respectivamente, nos tratamentos com

irrigação por sulco e por aspersão, se considerado apenas o volume de água irrigado (170 mm) para seu cálculo, como sugerido por Kang *et al.* (2000).

5.3 Análise econômica

No segundo ano agrícola, a margem bruta obtida foi positiva, tanto no tratamento sem irrigação quanto nos tratamentos irrigados por aspersão e por sulco (Tabela 10). No entanto, mesmo apresentando produtividade similar aos tratamentos irrigados, a margem bruta obtida nos tratamentos com irrigação por sulco e por aspersão foi de 39 e 45% superior à obtida no tratamento não irrigado, respectivamente.

A grande diferença na margem bruta deveu-se ao fato de que, exceto para custo da irrigação, todos os demais custos permaneceram iguais. Nesse ano agrícola, os custos de produção do milho foram mais elevados, devido ao custo adicional de sementes e da adubação nitrogenada em cobertura, utilizados no nabo forrageiro como cobertura de solo no outono-inverno. Incrementos de 175% no retorno econômico na cultura do milho também foram encontrados na região de Cruz Alta – RS no ano agrícola 2012/13, com a utilização de irrigação com pivô central em relação ao cultivo sem irrigação (CEPEA, 2013).

Estes resultados reforçam a necessidade de se continuarem os estudos sobre sistemas de irrigação no estado do RS, independentemente de método utilizado, pois mesmo em anos considerados de pluviosidade elevada durante o ciclo, a irrigação promove retorno financeiro maior em relação ao cultivo não irrigado.

Forsthofer *et al.* (2006) reforçam a necessidade de irrigação na cultura do milho na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul, ao afirmarem que a

maior disponibilidade de radiação solar incidente durante a floração, propiciado pela semeadura na época preferencial (outubro), é sobrepujada em importância pela atenuação da deficiência hídrica, obtida com semeaduras fora da época preferencial. Desta maneira, torna-se essencial a irrigação em milho nessa região do estado, especialmente quando a semeadura é realizada em outubro.

Com base no que foi descrito, pode-se observar que a cultura do milho apresenta custo de produção elevado, mesmo sem adicionar o custo da irrigação. Desta forma, a utilização de sistemas de irrigação é uma ferramenta que pode assegurar que o investimento feito seja recuperado e que haja lucro com a obtenção de alto rendimento de grãos.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, realizado durante dois anos, e considerando as condições edafoclimáticas locais, pode-se concluir que:

1. A cultura do milho é sob condições adequadas de irrigação.
2. Em anos com ocorrência de períodos de intenso déficit hídrico, o método de irrigação por sulco é economicamente mais vantajoso em relação ao método de irrigação por aspersão.
3. Mesmo em anos sem ocorrência de estiagens no período mais crítico da cultura do milho, a utilização de sistemas de irrigação é economicamente vantajosa, independentemente do método de irrigação utilizado.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUINSKY, S.D. **Prognóstico e otimização do rendimento do milho (*Zea mays* L.) no Rio Grande do Sul**. 1991. 196 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

ANDRADE, F.H. et al. Kernel number determination in maize. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 2, p. 453-459, 1999.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: NOVAIS, R. F. (Ed.). et al. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 874-919.

ANGHINONI, I. Recentes avanços e desafios na adubação para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2009, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SOSBAI, 2009.

ANGHINONI, I. et al. Ciclagem de nutrientes em integração lavoura-pecuária. **Synergismus Scientifica**, Pato Branco, v. 6, n. 2, 2011.

BERGAMASCHI, H. Desenvolvimento do déficit hídrico em culturas. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1992. p. 25-32.

BERGAMASCHI, H. et al. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 243-249, 2006.

BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 9, p. 831-839, 2004.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2014. 84 p.

BERGAMASCHI, H. et al. **Boletins agrometeorológicos da estação experimental agrônômica da UFRGS: série histórica 1970-2012**. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013. 8 p. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/agronomia/joomla/files/EEA/Srie_Meteorologica_da_EEA-UFRGS.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2015

BLUM, A. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.112, n. 2-3, p. 119-123, 2009.

BOLAÑOS, J.; EDMÉADES, G.O. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 48, n. 1, p. 65-80, 1996.

BORRÁS, L.; OTEGUI, M.E. Maize kernel weight response to postflowering source-sink ratio. **Crop Science**, Madison, v. 41, p. 1816-1822, 2001.

CAMPOS, H. et al. Improving drought tolerance in maize: A view from industry. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 90, n. 1, p. 19-34, 2004.

CEPEA. CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **Viabilidade econômica para a introdução do sistema de irrigação na área de grãos em Cruz Alta/RS**. Piracicaba: CEPEA, 2013. 84 p. Relatório da safra 2012/13: Grãos – Cruz Alta/RS.

CHOUDHARY, V.K. et al. Response of tillage and in situ moisture conservation on alteration of soil and morpho-physiological differences in maize under Eastern Himalayan region of India. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 134, n. 2, p. 41-48, 2011.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos**. Primeiro levantamento. Brasília: Conab, 2015. 141 p.

CRUZ, J. C. et al. **Cultivares**. [S.l]: Embrapa, 2004. (Sistema de Produção, 1).

DAGDELEN, N. et al. Water-yield relation and water use efficiency of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and second crop corn (*Zea mays* L.) in western Turkey. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 82, n. 1-2, p. 63–85, 2006.

DIDONET, A.D. et al. Efeito da radiação solar e temperatura na definição do número de grãos em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 7, p. 933-938, 2002.

FERREIRA, R.B. **Manejo da palha e produção de feno de azevém: ciclagem de nutrientes e rendimento de grãos de arroz irrigado em sucessão**. 2012. 66 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Agronomia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Crop yield response to water**. Rome: FAO, 2012. 498 p. (FAO irrigation and drainage paper, n. 66).

FORSTHOFER, E.L. et al. Desempenho agrônomico e econômico do milho em diferentes níveis de manejo e épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 399-407, 2006.

FRANÇA, S.; BERGAMASCHI, H.; ROSA, L. M. G. Modelagem do crescimento de milho em função da radiação fotossinteticamente ativa e do acúmulo de graus-dia, com e sem irrigação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 59-66, 1999.

GIACOMELI, R. **Sistemas de implantação de milho em áreas de arroz irrigado**. 2015. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

GOMES A.S. et al. **Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase as áreas de várzea do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 40 p.

IRGA. INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. **Serviços e informações: Safras**. Produção, Produtividade do Arroz - RS x BR, 2014. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/4215/safras>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

KANG, S. et al. Alternative furrow irrigation for maize production in an arid area. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 45, n. 3, p. 267-274, 2000.

KISSEL, D. E. et al. Rainfall timing and ammonia loss from urea in a loblolly pine plantation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, n. 5, p. 1744-1750, 2004.

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

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

MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S. L.; MALUF, J. R. T. Efeito de períodos de irrigação sobre o rendimento e desenvolvimento do milho, em diferentes épocas de semeadura – 1985/86. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 31., 1986, Porto Alegre. **Ata...** Porto Alegre: IPAGRO; EMATER/RS, 1986, p. 37-41.

MINETTO, T. **Revista Custo de Produção**. Anos 42, 43 e 44. Porto Alegre: Federação das Cooperativas Agrícolas do Estado do Rio Grande do Sul, 2003, 2004 e 2005. 98 p.

MENEGATI, G. B. et al. Adequação da Densidade de Plantas de Híbridos de Milho à Disponibilidade Hídrica e à Época de Semeadura. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônomo, 2012. p.1813-1820.

MENEZES, V.G. et al. **Projeto 10: Estratégias de manejo para aumento da produtividade e da sustentabilidade da lavoura de arroz irrigado do RS: Avanços e novos desafios.** Porto Alegre: IRGA/Estação Experimental do Arroz, 2012. 104 p.

MONTEALEGRE, F. A.; VARGAS, J. P. Efecto de algunas practicas culturales sobre la problación de arroz rojo y los rendimientos del cultivo comercial. **Arroz**, Bogotá, v. 38, p.19-24, 1989.

NIELSEN, R. L. A fast & accurate pregnancy test for corn. **Corny News Network.** Purdue University, IN., 2007.

PARFITT, J.M.B. **Produção de milho e sorgo na várzea.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2000. 146 p. (Documentos, 74).

PAULETTO, E. A.; TURATTI, A. L.; GOMES, A da. S. Produtividade do arroz irrigado em sistema de cultivo contínuo e em rotação com soja e milho – 1991. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 19., 1991. Balneário Camboriú. **Anais...** Florianópolis: EMPASC, 1991. p. 125-129.

PERECIN, D.; FILHO, A.C. Efeitos por comparações e por experimento em interações de experimentos fatoriais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 68-72, 2008.

PETRY, C. et al. Irrigação intermitente em arroz irrigado e eficiência do uso da água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 7., 2011, Balneário Camboriú, SC. **Anais...** Itajaí: Epagri/Sosbai, 2011. 869 p.

PINTO, L.F.S.; LAUS NETO, J.A.; PAULETTO, E.A. Solos de várzea do Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado. In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES, A.M. **Arroz Irrigado no Sul do Brasil.** Brasília: Embrapa, 2004. cap. 3, p. 75-96.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J. **How a corn plant develops?** Special Report n. 48. Ames, Iowa: Iowa State University, 1993. Disponível em: <www.maize.agron.iastate.edu/corngrows.html>. Acesso em: 15 nov. 2014.

RODRIGUES, J.F. **Manejo da água na cultura do milho em Gleissolo Háplico distrófico típico.** 2015. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Recursos hídricos, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

RODRÍGUEZ H. et al. **Efecto del riego en soja y maíz en un vertisol de Entre Ríos.** 1 Eficiencia en el uso del agua. Cultivo de Soja en el Centro Este de Entre Ríos. Resultados 2010-11. EEA Concepción del Uruguay, 2011. p. 55-60. (Boletín Técnico, n. 53)

SANGOI, L. et al. Rendimento de grãos e margem bruta de cultivares de milho com variabilidade genética contrastante em diferentes sistemas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 747-755, 2006.

SANGOI, L. et al. Variabilidade na distribuição espacial de plantas na linha e rendimento de grãos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 11, n. 3, p. 268-277, 2012.

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

SCHMITT, A. et al. Densidade de plantas como estratégia para aumentar o rendimento de grãos de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. **Anais...** Sete lagoas: ABMS, 2012. p. 2009-2015.

SEPASKHAH, A.R.; KHAJEHABDOLLAHI, M.H. Alternate Furrow Irrigation with Different Irrigation Intervals for Maize (*Zea mays* L.). **Plant Production Science**, Kyoto, v. 8, n. 5. p. 592-600, 2005.

SILVA, C. A. S. et al. **Sistema sulco/camalhão para irrigação e drenagem em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. 1 p. (Comunicado técnico, 165).

SOSBAI. SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz irrigado**: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Itajaí, SC: SOSBAI, 2012. 179 p.

STRECK, E.V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222 p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 175 p. (Boletim técnico, 5).

TOLLENAAR, M. et al. Physiological basis of the genetic improvement of corn. In: SLAFER, G.A. **Genetic improvement of field crops**. New York: Marcel Dekker, 1994. p.183-236.

TOLLENAAR, M.; LEE, E.A. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 75, n. 2-3, p. 161-169, 2002.

VERNETTI JUNIOR, F. J.; GOMES, A. S.; SCHUCH, L. O. B. Sucessão de culturas em solos de várzea implantadas nos sistemas plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 15, n. 1-4, p. 37-42, 2009.

VIEIRA, V. M. et al. Rendimento de grãos de milho sob diferentes sistemas de irrigação por aspersão. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 3, p. 471-485, 2013.

8 APÊNDICES

APÊNDICE 1. Resumo da análise de variância das características avaliadas na cultura do milho, ano agrícola 2013/14. Cachoeirinha-RS.

Parâmetros	Causas de variação				CV ¹ (%)
	Bloco	Método de irrigação	Híbrido	Método de irrigação* Híbrido	
	Graus de liberdade				
	9	2	3	6	
Quadrados médios					
Rendimento de grãos	10,1645 ^{ns}	334,2069 ^{***}	1,155 ^{ns}	1,4013 ^{ns}	20,3
Peso do grão (mg)	67,9652 ^{ns}	5902,2708 ^{***}	9229,96 ^{ns}	932,4652 [*]	7,9
Nº de espigas m ⁻²	3,7996 ^{ns}	13,1575 ^{**}	0,5757 ^{ns}	1,538 ^{ns}	19,2
Nº de grãos espiga ⁻¹	12782 ^{ns}	586482,063 ^{***}	5708,278 ^{ns}	10020,174 [*]	18,3
Estatura de planta (m)	0,0569 ^{ns}	1,044 ^{***}	0,1116 ^{***}	0,0243 [*]	4,8
Altura de inserção da espiga (cm)	0,01444 ^{ns}	0,0283 ^{ns}	0,0356 ^{***}	0,0054 ^{ns}	6,5
Diâmetro de colmo (cm)	0,04 ^{ns}	0,0025 ^{ns}	0,5038 ^{***}	0,0497 ^{ns}	18,3
EUA (kg m ⁻³)	0,24983234 ^{ns}	0,00743940 ^{ns}	0,01599032 ^{ns}	0,01978890 3 ^{ns}	13,8

CV¹: Coeficiente de variação. ^{ns}: não significativo. ^{***}Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade. ^{**}Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade. ^{*}Significativo pelo F-teste ao nível de 25% de probabilidade.

APÊNDICE 2. Resumo da análise de variância das características avaliadas na cultura do milho, ano agrícola 2014/15. Cachoeirinha-RS.

Parâmetros	Causas de variação				CV ¹ (%)
	Bloco	Método de irrigação	Híbrido	Método de irrigação* Híbrido	
	Graus de liberdade				
	9	2	3	6	
Quadrados médios					
Rendimento de grãos	2,1235 ^{ns}	8,1710 ^{ns}	10,0814 ^{***}	1,3086 ^{ns}	12
Peso do grão (mg)	354,9722 ^{ns}	1917,25 ^{ns}	4984,25 ^{***}	1141,75 [*]	6,5
Nº de espigas m ⁻²	0,1179 ^{ns}	0,9081 ^{ns}	2,3524 ^{ns}	1,3086 [*]	10,7
Nº de grãos espiga ⁻¹	5415,7291 ^{ns}	6229,9375 ^{ns}	26859,7430 ^{***}	549,4097 ^{ns}	12,9
Estatura de planta (m)	0,0021 ^{ns}	0,0207 ^{ns}	0,0074 ^{ns}	0,0021 ^{ns}	2,6
Altura de inserção da espiga (cm)	0,0109 ^{ns}	0,514 ^{***}	0,0211 ^{ns}	0,0038 ^{ns}	5,2
Diâmetro de colmo (cm)	0,0138 ^{ns}	0,0075 ^{ns}	0,0507 ^{ns}	0,0138 ^{ns}	8,4
EUA (kg m ⁻³)	0,00336293 ^{ns}	0,00743940 ^{ns}	0,08846874 ^{***}	0,0253651 ^{ns}	9,9

CV¹: Coeficiente de variação. ^{ns}: não significativo. ^{***}Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade. ^{**}Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade. ^{*}Significativo pelo F-teste ao nível de 25% de probabilidade.