

DESEMPENHO PRODUTIVO E RETORNO ECONÔMICO DO MILHO IRRIGADO POR ASPERSÃO

ALESSANDRA MACHADO FERREIRA¹; ANA RITA COSTENARO PARIZI²; ANA CARLA DOS SANTOS GOMES²; MARCELO DAL LOMO CHUQUEL¹; ELIZA MICAELA SEGABINAZZI¹; VICTOR HUMBERTO SARTURI PONTE¹.

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Agrícola, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha-IFFar Campus Alegrete, Rodovia RS-377 Km 27, s/n- Passo Novo, Alegrete, CEP: 97555-000, Alegrete, RS, Brasil. E-mail: alessandramf2@gmail.com; marcelo.chuquel96@gmail.com; eliza_mica@hotmail.com; victor.s.ponte@gmail.com

² Eng. Agrícola, Doutora, Professora do Ciência e Tecnologia Farroupilha- IFFar Campus Alegrete, Rodovia RS-377 Km 27, s/n- Passo Novo, Alegrete, CEP: 97555-000, Alegrete, RS, Brasil. Email: ana.parizi@iffarroupilha.edu.br; ana.gomes@iffarroupilha.edu.br

1 RESUMO

A cultura do milho está entre os cereais mais produzidos mundialmente, sendo fundamental na alimentação humana e animal, adaptando-se a diferentes regiões. O uso da tecnologia da irrigação para seu cultivo vem crescendo gradualmente, oferecendo garantia de oferta hídrica para períodos de estiagem e propiciando o cultivo de mais de uma safra anual. Objetivou-se no presente estudo avaliar a produtividade e a lâmina ótima econômica que representa a máxima eficiência econômica da cultura do milho. O experimento foi realizado em área experimental do Instituto Federal Farroupilha - Campus Alegrete, RS, no período de janeiro a junho de 2020. Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado, composto por cinco tratamentos (0, 50, 75, 100 e 125% da ETc) com três repetições. Os resultados obtidos mostraram que tanto o déficit hídrico quanto o excesso de água afetaram diretamente a produção final. A máxima produção de grãos obtida foi de 12.619,66 kg ha⁻¹ na lâmina de reposição de 100% da ETc. A lâmina de máxima eficiência econômica foi estimada como sendo cerca de 50% da ETc, sendo lâminas de reposição hídrica acima deste valor não recomendadas para a região de Alegrete, RS.

Palavras-chave: *Zea mays* L., rendimento, lâmina ótima, *sistemas irrigados*.

FERREIRA, A. M.; PARIZI, A. R. C.; GOMES, A. C. S.; CHUQUEL, M. D, L.; SEGABINAZZI, E. M.; PONTE, V. H. S.
PRODUCTIVE PERFORMANCE AND ECONOMIC RETURN OF CORN CROP IRRIGATED BY SPRINKLER SYSTEM

2 ABSTRACT

The corn crop is among the most produced cereals worldwide, being fundamental in human and animal nutrition, adapting to different regions. The use of irrigation technology for cultivation has been growing gradually, offering guaranteed water supply for periods of drought and allowing the cultivation of more than one annual harvest. This study evaluated the productivity

and optimal economic water depth representing the maximum economic efficiency of the corn crop. The experiment was carried out in an experimental area at the Federal Farroupilha Institute - Campus Alegrete, RS, from January to June 2020. A completely randomized design was used, composed of five treatments (0, 50, 75, 100 and 125% of the ETc) with three replications. The results obtained showed that both the water deficit and the excess of water directly affected the final production. The maximum grain yield obtained was 12,619.66 kg ha⁻¹ in the water depth replacement of 100% the ETc. The water depth of maximum economic efficiency was estimated to be about 50% of the ETc, with water depths replacements above this value not recommended for the region of Alegrete, RS.

Keywords: *Zea mays* L., yield, optimal water depths, irrigated systems.

3 INTRODUÇÃO

O milho está entre os cereais mais produzidos mundialmente devido ao alto valor nutritivo e ao grande consumo, consumido tanto para alimentação humana quanto animal, além da sua significativa importância socioeconômica, sendo cultivado em diversas condições de clima e manejo.

No Brasil, é cultivado em rotação, sucessão e consórcio, graças à ampla plasticidade e adaptabilidade das cultivares disponíveis no mercado (CONTINI et al., 2019). No estado do Rio Grande do Sul há uma grande variação anual na produtividade do milho, a qual é atribuída principalmente às condições climáticas, ocasionando ao longo dos últimos anos, uma retração na área cultivada, embora, evidencie-se uma evolução na produção de grãos (ROSA; EMYGDIO; BISPO, 2017).

Dentre os fatores climáticos que mais contribuem para frustrações nas safras do estado, está a precipitação pluviométrica. O estado apresenta um volume total de precipitação anual satisfatório para a produção das grandes culturas de grãos, porém mal distribuído. É representado no trabalho de Silva et al. (2015) que estudou dados de 97 anos de estações meteorológicas do estado, observou que não é possível afirmar os meses do ano que correspondem às estações seca e chuvosa, sendo as médias de lâminas de precipitação iguais a 136,51

mm no inverno, 154,17 mm na primavera, 126,95 mm no verão e 125,88 mm no outono.

Bergamaschi et al. (2004) conduziram experimentos com milho irrigado na localidade de Eldorado do Sul, RS, nas safras 1998/99 e 2002/03, comparando a variação entre as médias de produtividade do estado e dos experimentos analisados, evidenciaram a importância da variabilidade na distribuição pluviométrica de verão no Rio Grande do Sul para as culturas de primavera-verão.

Bergamaschi et al. (2006) analisaram dados no período de dez anos de 1993 a 2003, de experimentação à campo, no município de Eldora do Sul, RS, o autor demonstra que na média dos dez anos, a precipitação pluvial média foi de 497 mm e a evapotranspiração média de referência foi de 522 mm, a irrigação suplementar favoreceu o aumento de 70% no rendimento de grãos de milho, em comparação com a cultura não irrigada. Os autores constataram que nas médias do período, em tais condições, o agricultor assume risco de perder duas safras a cada cinco ao cultivar milho sem irrigação.

O acréscimo da produção de grãos de milho no Rio Grande do Sul com o incremento de lâminas de irrigação é abordado por diversos autores. Ben et al. (2015) em experimento no município de Alegrete-RS obtiveram a maior produtividade de 15250 kg ha⁻¹ de grãos no

tratamento irrigado com lâmina de reposição referente a 100% da ETC e a menor produtividade de 5170 kg.ha⁻¹ foi encontrada no tratamento em sequeiro. Parizi (2010) observaram que a utilização da irrigação suplementar no milho aumentou a produção de grãos em 95,4% com uma lâmina de reposição hídrica de 100% da ETC, resultando em 12840 kg.ha⁻¹, na região de Santiago-RS.

A cultura do milho necessita de um significativo volume de água para atingir seu potencial produtivo, estando entre as culturas mais eficientes quanto ao uso da água, isto é, produz uma grande quantidade de matéria seca por unidade de água absorvida. Destaca-se para o cultivo do milho são necessários precipitações entre 400 a 600 mm durante todo o ciclo da cultura (FANCELLI, 2015).

De acordo com Payero et al. (2009), o desempenho das culturas com irrigação é relativamente estável, e com isso, torna-se fácil estimar o rendimento de uma cultura sob sequeiro e irrigado. Apesar disso, na irrigação com déficit a produtividade pode variar consideravelmente, conforme o manejo de irrigação utilizado.

Se o agricultor irrigante visa à maximização da produtividade, o manejo da irrigação implica que sejam realizadas irrigações necessárias para suprir totalmente as necessidades hídricas das culturas. No entanto, se o propósito for maximizar a eficiência do uso da água, é recomendado adotar o manejo por irrigação deficitária controlada, isto é, irrigar deliberadamente abaixo do nível de máxima produção, o qual corresponde à máxima eficiência econômica da cultura (PEREIRA; OWEIS; ZAIRI, 2002).

Em sistemas de irrigação é importante traçar estratégias de manejo que proporcionem uma aplicação uniforme e eficiente da água para realizar o uso correto e econômico, bem como reduzir custos com energia elétrica pelo sistema de

bombeamento, aumentando a lucratividade (Mendoza, 2012).

Na cultura do milho, geralmente são utilizados sistemas de irrigação por aspersão, nos quais, segundo Conceição (2016), são levados em consideração valores médios do custo da água, dentro de uma faixa de 0,30 a 1,50 \$ mm⁻¹ha⁻¹, considerando uma variação em relação aos horários de acionamento dos sistemas, bem como, os diferentes locais no território.

O cálculo da rentabilidade permite entender que nem sempre o maior volume de água utilizado na irrigação garantirá, necessariamente, o maior retorno econômico, pois depende de outros fatores, como a influência da quantidade de água na produtividade da cultura, ou seja, também importa saber manejar a água de forma que haja um equilíbrio para atender à necessidade hídrica da planta, em consonância com a precipitação, obtendo melhores resultados econômicos e renda líquida (CUNHA et al., 2013).

Atualmente conhecida como produtividade de água, esta representa uma forma mais global de avaliar o uso da irrigação, não se restringindo apenas aos aspectos de manejo do sistema, mas considerando também as questões relativas ao retorno econômico do uso da irrigação, a preservação ambiental e ao uso racional da água. Em termos de produção, a produtividade da água de irrigação pode ser avaliada através da relação entre o aumento da produção em peso e o volume de água consumido (TAVARES, 2007).

Irigar visando maximizar o lucro é um problema substancialmente mais complexo e desafiador que irrigar buscando o máximo rendimento físico. Isto é, uma irrigação ótima, sob o foco econômico, implica a aplicação de menores lâminas em relação à irrigação plena, mesmo que ocorra alguma consequente redução de produtividade, mas com alguma vantagem econômica significativa (FIGUEIREDO et al., 2008).

Em decorrência das pressões econômicas sobre os agricultores, como a competição do uso da água e o controle de impactos ambientais relacionados à prática de irrigação, observa-se mudanças nas práticas da irrigação, motivadas pelo foco mais na eficiência econômica do que na demanda e água da cultura (FRIZZONE, 2007).

Neste sentido, estudos voltados para a análise econômica em sistemas irrigados são necessários, especialmente, em decorrência das elevadas diferenças de nível e ou longas distâncias entre a captação e a área irrigada, a utilização de emissores com elevada pressão de serviço, que afetam expressivamente o custo de energia, ou do uso de sistemas de irrigação com alto custo de implantação por unidade de área. Da mesma forma, as análises de eficiência de uso da água (produtividade por unidade de lâmina aplicada) também devem receber especial atenção onde há pouca disponibilidade de água para irrigação ou em regiões onde já existem conflitos decorrentes dos usos múltiplos da água (BERNARDO et al., 2019).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de distintas lâminas de irrigação sobre a produtividade da cultura do milho, visando obter a lâmina ótima de irrigação para a máxima eficiência econômica da cultura na região de Alegrete, RS.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado à campo em área experimental do Instituto Federal Farroupilha - Campus Alegrete- RS, localizada nas coordenadas geográficas latitude 29°42'54.50"S e longitude 55°31'23.67"O. O solo é oriundo de um

Argisolo Vermelho distrófico arênico, (STRECK et al., 2008).

O trabalho foi desenvolvido no ano agrícola 2019/20, abrangendo o período de janeiro/2020 a junho/2020. Os valores dos dados referentes às condições climatológicas (valores diários máximos e mínimos de temperatura e umidade relativa) foram obtidos com o auxílio da plataforma digital do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), correspondente à região de Alegrete, RS.

A semeadura ocorreu na segunda semana do mês de janeiro de 2020 sob sistema de plantio direto. A densidade de semeadura constituiu de quatro sementes por metro linear, tendo como objetivo uma população final de 70 mil plantas ha⁻¹. Utilizou-se uma semeadora-adubadora mecânica com espaçamento de 0,45 m entre linhas para a semeadura.

A aplicação do fertilizante foi realizada juntamente com a semeadura. Foram aplicados 300 kg.ha⁻¹ de adubo com formulação 24-84-91. Aos 15 e 35 dias após a emergência de plantas, houve aplicação de uréia (45% de nitrogênio) na quantidade de 400 kg.ha⁻¹, correspondendo aos estádios V3 e V8, respectivamente.

Quando necessário, os defensivos agrícolas (fungicidas, herbicidas e inseticidas) foram aplicados de modo abrangente e homogêneo em toda área experimental.

O experimento foi constituído de um delineamento inteiramente casualizado, composto por cinco tratamentos de irrigação T1 (0 % de reposição da ETc), T2 (50% de reposição da ETc), T3 (75% de reposição da ETc), T4 (100% de reposição da ETc) e T5 (125 % de reposição da ETc) e três repetições. A Tabela 1 apresenta a distribuição dos tratamentos.

Tabela 1. Demonstração dos distintos tratamentos de irrigação aos quais a cultura do milho foi submetida.

Tratamento	Sistemas de cultivos	Manejo da irrigação (% Etc)
T1	Sequeiro	0% da ETc
T2	Irrigado	50% da ETc
T3	Irrigado	75% da ETc
T4	Irrigado	100% da ETc
T5	Irrigado	125% da ETc

*ETc- evapotranspiração da cultura.

Devido às condições climáticas do local, o manejo de irrigação adotado constituiu-se de um turno de rega fixo de três dias entre as irrigações, ou seja, quando a precipitação efetiva decorrida não atendia a demanda evapotranspirativa da cultura. As lâminas f/oram aplicadas de acordo com a determinação da ETc, conforme Equação 1 (DOORENBOS; PRUITT, 1977).

$$Etc = Eto . kc \quad (1)$$

Em que:
 ETc- evapotranspiração da cultura, mm;
 ETo- evapotranspiração de referência, mm; e,
 Kc- coeficiente da cultura ((inicial – 0,4, intermediário – 1,2 e final – 0,6)
 A evapotranspiração de referência foi estimada pelo método indireto de Benevides e Lopez (1970), de acordo com a disponibilidade de dados meteorológicos dentro do ambiente protegido, conforme Equação 2.

$$ETo = 0,67.10 \cdot \left(\frac{7,5.T}{T+273,5} \right) \cdot (1 - 0,01.UR) + 0,12 \cdot T - 0,38 \quad (2)$$

Em que:
 ETo= evapotranspiração de referência, mm;
 T= temperatura média, °C;
 UR= umidade relativa do ar, %;

Para a irrigação foi utilizado um sistema de irrigação por aspersão convencional. Os aspersores utilizados foram conectados nas linhas secundárias com espaçamento de 12 m e altura de 2,0 m em relação ao solo.

Para a determinação das diferentes lâminas de irrigação aplicada por hora, foi realizada a calibração do sistema a partir do teste do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC).

Quando as plantas atingiram a senescência e umidade própria para colheita, foram coletadas cinco plantas de cada repetição e, em seguida, as mesmas foram submetidas à secagem por 14 dias em condições ambientais. Posteriormente foi

calculada a matéria seca total (MST). Os componentes de rendimento avaliados foram: diâmetro da espiga (mm)⁻¹, número de fileiras por espiga⁻¹, número de grãos por espiga⁻¹ e peso médio do grão⁻¹ (g), obtidos por meio da contagem de cinco plantas por repetição em cada tratamento.

A estimativa da produtividade em kg.ha⁻¹ para cada tratamento foi obtida através da Equação 3.

$$PG = \frac{NPL \cdot NFE \cdot NGF \cdot MCG}{10000} \quad (3)$$

Em que:
 PG= produtividade de grãos, kg ha⁻¹;
 NPL= NPL – número de plantas m⁻²;

NFE= número de fileiras de grãos por espiga;

NGF= número médio de grãos por fileira;

MCG= massa de cem grãos, g.

Para obtenção da produção empregou-se análise de regressão entre a variável dependente (produtividade “Y” em kg ha⁻¹) e a variável independente (lâmina de irrigação “w”) por meio de um modelo polinomial de segundo grau apresentado por Oliveira et al. (2012), conforme Equação. 4.

$$Y = a + bw + cw^2 \quad (4)$$

Em que:

Y= produtividade, kg ha⁻¹);

w= lâmina de irrigação (mm);

a, b e c= Coeficientes de ajuste da equação de regressão para a produção de grãos.

Considerando que o custo da água necessária para realizar a irrigação foi inteiramente composto pelo custo da energia elétrica (R\$ 153 mm⁻¹ ha⁻¹), Lima et al. (2012) aprontam que o mesmo pode ser obtido através da energia dissipada específica no sistema de irrigação por aspersão (kWh mm⁻¹ ha⁻¹) pelo número de horas de funcionamento do sistema de irrigação e pelo custo médio da energia elétrica (R\$ kWh⁻¹).

Desta maneira, foram levados em consideração os custos para o abastecimento da água, de forma que os demais fatores envolvidos na produção da cultura como insumos, fertilizantes e máquinas mantiveram-se fixos, em níveis ótimos e iguais para os distintos tratamentos.

Para a obtenção da lâmina de irrigação que corresponde ao maior retorno ou eficiência econômica (MEE), o modelo a ser minimizado é o da receita líquida ou lucro líquido, representado pela Equação 5.

$$W = \frac{Px-b}{\frac{Py}{2c}} \quad (5)$$

Em que:

W= Lâmina ótima econômica.

Os preços da lâmina de água aplicada (Px) utilizados foram obtidos na bibliografia em Reais (R\$) e convertidos para Dólares (\$).

O preço do produto (Py) foi obtido através da média estadual do valor da comercialização por saca de 60 kg para o ano de 2019. Foram levados em consideração valores médios do custo da água, dentro de uma faixa de 0,30 a 1,50 \$ mm⁻¹ha⁻¹ (CONCEIÇÃO, 2016).

O preço do produto (Py) foi obtido através do preço médio de venda por saca de 60 kg para o estado em outubro de 2020, aproximadamente R\$ 68,12 (US \$ 12,31), obtendo o valor para o quilograma do produto de US \$0,20, pago ao produtor em outubro de 2020.

Neste caso, o preço da água variou US \$0,30, enquanto o preço do produto permaneceu fixo, o que levou a onze relações (Pw / Py), aplicadas na Equação 5. Para a interpretação dos resultados foi realizada análise de variância utilizando-se o Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro para interpretação do nível de significância empregando o software estatístico Sisvar 5.6, e quando houve diferença significativa entre os tratamentos, realizou-se a análise de regressão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta o número de irrigações, lâmina média aplicada (mm), irrigação total (mm), precipitação pluvial (mm) e total de água aplicado (irrigação e precipitação) (mm) ao longo do ciclo vital da cultura do milho para cinco tratamentos de irrigação.

Tabela 2. Demonstração do número de irrigações durante toda condução do experimento, lâmina horária média aplicada.irrigação⁻¹ (mm), irrigação total (mm), precipitação pluvial (mm) total de água aplicado (irrigação+precipitação) (mm) e ao longo do ciclo da cultura do milho para as cinco estratégias de irrigação.

Tratamento (% da ETc)	Nº de irrigações	Lâmina horária aplicada irrigação ⁻¹	Irrigação total (mm)	Precipitação pluvial (mm)	Total de água aplicado (mm)
T1 0%	0	0	0	451	451
T2 50%	22	2	75	451	526
T3 75%	22	3,5	113	451	564
T4 100%	22	5	158	451	609
T5 125%	22	6	204,14	451	561,02

*ETc- evapotranspiração da cultura.

Durante a condução do experimento foram realizadas vinte e duas irrigações, exceto no T1. A precipitação pluvial durante o ciclo da cultura do milho foi de 451 mm, com um total médio de água aplicado (irrigação + precipitação pluviométrica) de 561,02 mm.

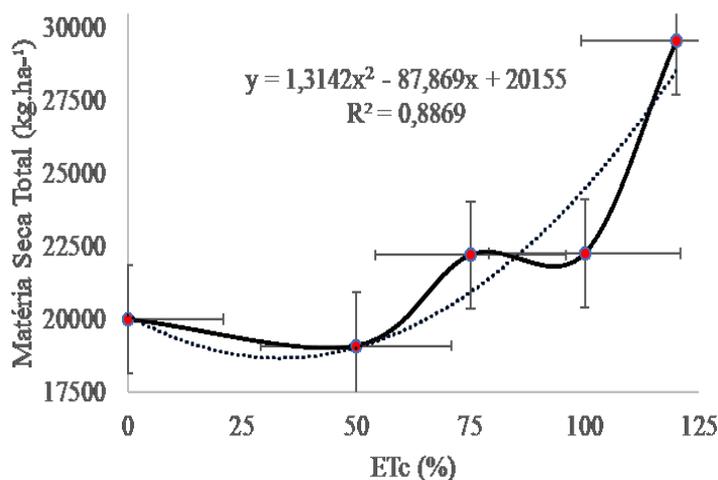
A precipitação total de 451 mm atenderia a necessidade hídrica da planta, conforme Machado (2016), o milho necessita em média de 400 a 600 mm de água, porém a distribuição de chuvas foi desuniforme, ocasionando um período de até vinte e quatro dias sem precipitação, o que levaria a planta ao déficit hídrico. Segundo (SANTOS et al., 2014), o déficit hídrico pode afetar os vegetais sob diferentes aspectos, apresentando desempenho ecofisiológico diferente sob disponibilidade hídrica limitada.

Na fase reprodutiva (128 e 143 dias) foram registradas as maiores precipitações de 96, 4mm e 69,6 mm de chuva, respectivamente, durante o cultivo.

A ETo total durante o ciclo da cultura (158 dias) foi de 735,7 mm, com a máxima

diária de 7,9 mm dia⁻¹ e média de 4, 65mm dia⁻¹. A ETc total foi de 475, 2mm, com média de 3 mm dia⁻¹ e quando as plantas se encontravam no estágio de florescimento, ocorreu a máxima ETc diária de 7,56 mm dia⁻¹. Tal valor é inferior ao encontrado por Suyker e Verma (2009), que determinaram a evapotranspiração total do milho como 683 mm na região de Mead em Nebraska. Deste modo a aplicação da irrigação suplementar auxiliou na reposição de água na cultura, evitando deficiências hídricas no período vegetativo e reprodutivo, estágios de extrema necessidade de disponibilidade hídrica.

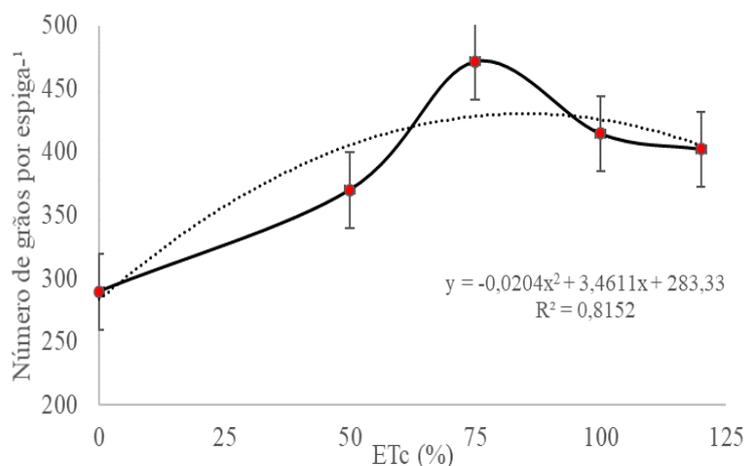
O desempenho da produção da matéria seca foi crescente de acordo com o acréscimo da lâmina de irrigação, assim obteve-se o valor máximo de 29.548,67 kg.ha⁻¹ para a lâmina com maior reposição da ETc (125%), e o menor rendimento foi observado na menor lâmina de reposição da ETc (25%) com o valor de 19.098,67 kg.ha⁻¹. A Figura 1 mostra a influência da aplicação da lâmina de água suplementar sobre a matéria seca da cultura.

Figura 1. Influência da água aplicada sobre a matéria seca total do milho.

A diferença deste parâmetro na produção da cultura entre as diferentes lâminas de irrigação, demonstrou um nível crescente de matéria seca total (kg.ha⁻¹), principalmente, nas duas maiores lâminas de reposição da ETc (100 e 125%), apresentando diferenças de produção de 7.296 kg.ha⁻¹ devido ao incremento das lâminas de irrigação. Já os tratamentos com menores lâminas (50 e 75% da ETc) obtiveram diferença de 31.250,33 kg.ha⁻¹. Resultados semelhantes foram obtidos por Parizi (2007) em um estudo com milho irrigado no município de Santiago, RS, no qual, obteve-se produtividades máximas de 22.356 e 22.963 kg.ha⁻¹ nas reposições hídricas de 80% e 100% da ETc, respectivamente.

Quanto maior a reposição da ETc, observa-se aumento significativo na produção de matéria seca, à vista disso, Albuquerque e Resende (2009) consideram a cultura do milho, conhecida por sua grande demanda, como uma das culturas mais eficientes no uso da água, isto é, ela é capaz de produzir uma grande quantidade de matéria seca por unidade de água absorvida.

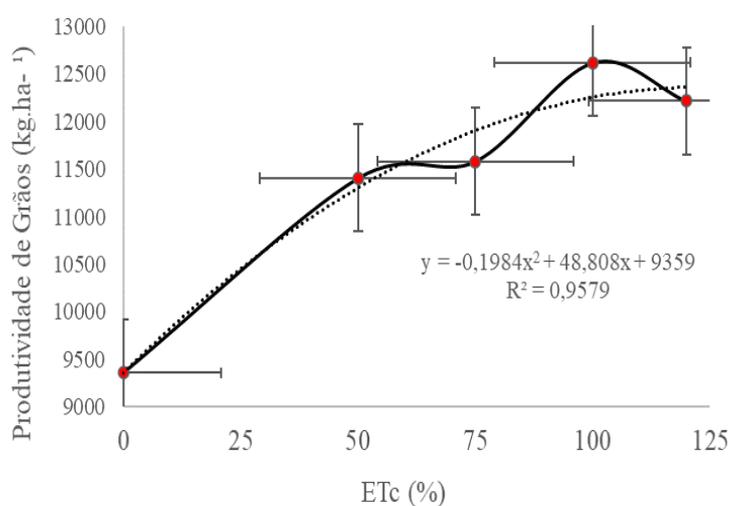
Quando se observa a Figura 2, nota-se que ocorre uma redução no número de grãos por espiga (NGE) nas menores lâminas com reposição hídrica (0 e 50% da ETc), ressaltando, assim, a redução no NGE nas menores lâminas de irrigação devido à menor disponibilidade de água para a cultura.

Figura 2. Número de grãos por espiga de milho em resposta às lâminas de irrigação.

Conforme o incremento das lâminas de irrigação, houve também aumento no número de grãos por espiga (NGE), até a dose de irrigação de 75 % da ETc, a qual apresentou a média de 471,6 grãos. Este valor sofre reduções para os tratamentos relativos a 100 e 125% da ETc e nos valores inferiores a 75%, ou seja, 50 e 0% da ETc, para os quais foram encontrados o NGE correspondente, 414,53, 402,13, 370 e 289,6 número de grãos por espiga⁻¹, respectivamente. De acordo com Bergamaschi et al. (2004), o número de

grãos por espiga é um dos componentes de produção de grãos mais afetados pelo déficit hídrico.

Através da Figura 3, observa-se que a produtividade de grãos da cultura do milho aumentou gradualmente com o aumento da reposição de lâmina, obtendo o nível máximo de produtividade na lâmina que corresponde a 100% de reposição da ETc, ocorrendo um decréscimo da produtividade para a lâmina de 125% da ETc, portanto, gerou-se uma função polinomial quadrática.

Figura 3. Influência da água aplicada sobre a produção de grãos na cultura do milho.

O comportamento da produtividade de grãos de milho observado neste estudo corroboram com obtidos por Parizi (2010), que trabalhando com milho irrigado na região de Santiago, RS, obteve maior produtividade no tratamento com maior reposição de lâmina (100% da ETo), sendo esta igual a 15.550,90 kg.ha⁻¹ e a menor produtividade no cultivo em sequeiro que correspondeu a 7.956,97 kg.ha⁻¹. Bem (2015), também observaram que a produtividade de grãos aumentou com o incremento da lâmina de irrigação, atingindo um nível máximo de produtividade correspondente a 12.390 kg.ha⁻¹ na lâmina de irrigação com reposição de 100% da ETc, havendo decréscimo na produtividade para a lâmina 125% da Etc, equivalente a 10.260 kg.ha⁻¹. Já as lâminas de irrigação abaixo dessas apresentaram redução gradual da produtividade para cultivo na região de Santiago, RS.

A maior produtividade de grãos para a cultura do milho foi alcançada na lâmina de 100% da ETc com o valor de 12.619,66 kg.ha⁻¹, com o total de água aplicado (irrigação + precipitação) de 609 mm de água durante todo o ciclo da cultura. As menores produtividades foram observadas na menor lâmina de reposição (50% da ETc), com total de água aplicado de 526 mm, e no cultivo em sequeiro 451 mm, que corresponderam a 11.405,66 kg.ha⁻¹ e 9359,33 kg.ha⁻¹, respectivamente. Os demais

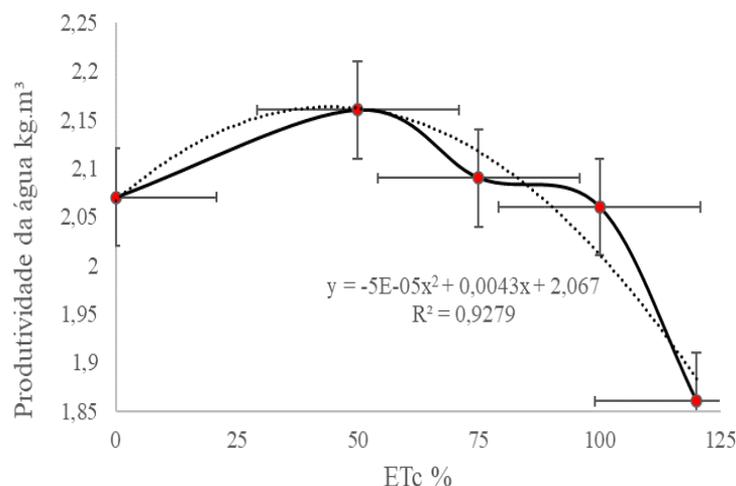
tratamentos alcançaram valores de produção em 11.852 e 12.214,33 kg.ha⁻¹, produtividades correspondentes aos tratamentos com as lâminas de reposição hídrica de 75 e 125% da ETc, respectivamente.

Alguns pesquisadores, como Louzada e Jobim (2011), ressaltam a importância da necessidade de irrigação suplementar, mesmo em períodos em que as chuvas são mais frequentes, uma vez que há irregularidades na sua distribuição.

É possível ainda observar que a produção de grãos apresentou o mesmo comportamento variável para a matéria seca total (kg.ha⁻¹), aumentando de acordo com o acréscimo da lâmina de água, o que evidencia a relação desta variável com a produtividade final da cultura do milho.

De acordo com a Figura 4, é possível analisar que a produtividade da água apresentou comportamento linear decrescente o que gerou uma função polinomial quadrática de acordo com o acréscimo das lâminas de irrigação, ou seja, o maior valor de 2,16 kg m⁻³ foi obtido pelo tratamento com menor reposição de lâmina de irrigação (50% da ETc), ressalta-se que este tratamento apresentou a menor produção de grãos neste estudo (11.405,66 kg.ha⁻¹), sendo a maior produção de grãos (12619,66 kg.ha⁻¹) alcançada pelo tratamento com reposição de lâmina de 100% da ETc (Figura 3).

Figura 4. Desempenho da produtividade da água sob influência das lâminas de irrigação para a cultura do milho.



Dessa maneira é recomendável que as lâminas de irrigação superiores a este nível, quando objetivando a máxima produção de grãos, só deverão ser economicamente recomendadas quando a água não for um fator limitativo ou então resultar em baixo custo na produção agrícola.

Analisando os resultados obtidos, a resposta da produtividade da água foi maior nos tratamentos com menores reposição de lâminas (50 e 75% da ETc), que apresentaram produtividade da água equivalentes a 2,16 e 2,09 kg m⁻³, respectivamente e no tratamento em sequeiro (0% da ETc), que apresentou 2,07 kg m⁻³ de produtividade da água. Nos tratamentos com maiores reposição de lâmina (100 e 125% da ETc), houve uma redução da produtividade da água, dados os valores 2,06 e 1,86 kg m⁻³.

Os resultados obtidos nesse estudo corroboram com Martins et al. (2016), que verificaram que o milho apresentou maior produtividade da água nos tratamentos com aplicação de déficits hídricos mais elevados, 2,87 kg m⁻³ e 2,47 kg m⁻³, que corresponderam aos tratamentos com reposições de lâminas de 30 e 40% da ETc, respectivamente, já lâminas maiores representaram diminuição da produtividade

da água, com valor de 1,99 kg m⁻³ no tratamento com reposição de lâmina de 100% da ETc.

Em estudo desenvolvido por Andrade et al. (2004), foi constatado que a produtividade da água foi de 1,74 a 1,22 kg m⁻³, sendo o maior valor associado à aplicação de lâminas inferiores àquelas requerida pela cultura. Pereira, Oweis e Zairi (2002) ressaltam que se o objetivo do agricultor for maximizar a eficiência do uso da água, pode-se adotar irrigação deficitária controlada. Lima et al. (2012) evidenciam que a irrigação com déficit bem planejada pode ocasionar aumento da produtividade da água para diversas culturas sem causar reduções drásticas de rendimento.

Neste estudo, a maior eficiência do uso da água foi obtida pelas plantas submetidas aos tratamentos com irrigação deficitária, obtendo maior rendimento em grãos por m³ aplicado de água.

A Tabela 3 apresenta a lâmina de irrigação (mm), total de água aplicado (irrigação e precipitação) (mm), matéria seca total (kg.ha⁻¹), produção de grãos (kg.ha⁻¹), produtividade da água (kg.m⁻³) e receita líquida (R\$), obtida ao final do ciclo da cultura, ao longo do ciclo vital do milho para os cinco tratamentos.

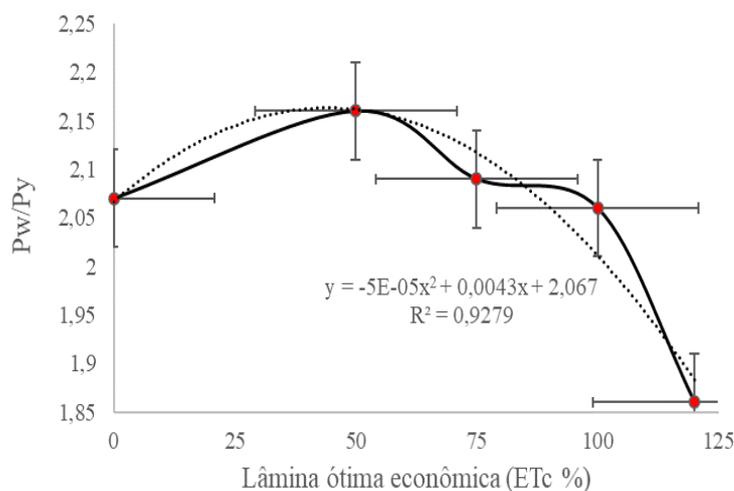
Tabela 3. Lâmina de irrigação (mm), total de água aplicado (irrigação e precipitação) – TAA (mm), matéria seca total – MST (kg.ha⁻¹), produção de grãos – PG (kg.ha⁻¹), produtividade da água (kg.m⁻³) e receita líquida (R\$), obtida ao final do ciclo da cultura, ao longo do ciclo vital do milho para os cinco tratamentos.

Tratamento (% da ETc)	Lâmina de irrigação (mm)	TAA (mm)	MST kg.ha ⁻¹	PG kg.ha ⁻¹	Produtividade da água kg m ⁻³	Receita líquida (R\$)
T1 0%	0	451	20021,33	9359,33	2,07	0
T2 50%	75	562	19098,67	11405,66	2,16	12790,90
T3 75%	113	564	22224	11582	2,09	13245,86
T4 100%	158	609	22282,67	12619,66	2,06	14054,82
T5 125%	204,14	655,14	29578,67	12214,33	1,86	13536,99

A lâmina ótima de irrigação para obtenção da máxima eficiência econômica na cultura do milho é apresentada na Figura 5. De acordo com a equação expressa na Figura 5, é possível observar que quando a relação P_w/P_y é zero, a lâmina ótima que

proporciona a máxima eficiência econômica da cultura é 49,60% da ETc, sendo a aplicação de lâminas superiores a esta consideradas inapropriadas economicamente.

Figura 5. Lâmina ótima econômica em função do custo de aplicação da lâmina de irrigação (P_w) (R\$ mm ha⁻¹) e P_y o preço de venda do produto (R\$ kg⁻¹).



Desta forma, à medida que P_w/P_y aumenta (aumento do custo da água), diferentes estratégias de manejo hídrico que são obtidos por lâminas deficitárias, são economicamente viáveis, obtendo-se assim uma máxima eficiência econômica.

Foi levado em consideração o custo da energia elétrica por lâmina aplicada de R\$ 1,30. Quando se utilizou a irrigação suplementar a renda líquida por hectare foi maior que o tratamento não irrigado,

tornando o manejo de irrigação da cultura do milho, rentável economicamente. Porém, a maior produção de grãos não se transformou na maior receita líquida, em consequência de o custo da energia ter aumentado significativamente para reposição da lâmina de 125% da ETc, que correspondeu a 204, 14 mm. O maior retorno econômico que corresponde à receita líquida de R\$ 12.790,90, foi encontrado para a lâmina com reposição de 50% da ETc.

Martins et al. (2012) estudando a eficiência e a produtividade da água na irrigação sobre a silagem do milho, com tratamentos em irrigação plena e irrigação deficitária obtiveram as receitas brutas de R\$ 4.522,5, R\$ 4.287,5 e R\$ 4.212,5 para as lâminas de irrigação de 245 mm, 174 mm e 65 mm, respectivamente. Os resultados encontrados por Pegorare et al. (2009) são inferiores em comparação aos custos de energia elétrica, R\$ 26,25 para a lâmina de 140 mm, R\$ 43,75 para a lâmina de 190 mm, R\$ 78,75 pra a lâmina de 290 mm e R\$ 113,05 para a lâmina de 388 mm, que são decorrentes do valor da tarifa de cobrança anual pelo uso da energia nos estados, visto que houveram reajustes nos valores cobrados nos últimos onze anos.

Diante do exposto, à medida que a quantidade de água aplicada aumentou, aconteceram acréscimos positivos de produtividade da cultura do milho até atingir um valor máximo, posteriormente houve um decréscimo de rendimento da produtividade com o aumento da lâmina total de água aplicada.

6 CONCLUSÃO

Os tratamentos com o manejo de irrigação deficitária resultaram em uma produtividade inferior a irrigação suplementar, entretanto, os tratamentos com menor reposição de lâmina da ETc (%) apresentaram maior produtividade da água e eficiência econômica para a cultura do milho irrigado.

Nas condições deste estudo a lâmina ótima econômica determinada foi de 50% da ETc. A irrigação suplementar demonstrou-se viável economicamente, porém, a maior produtividade de grãos não ocasionou o maior retorno econômico para a cultura do milho.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao suporte dado pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Farroupilha (IFFAR) – Campus Alegrete e pela Fundação de Amparo à pesquisa do Estado do RS (FAPERGS).

8 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P. E. P.; RESENDE, M. Irrigação: manejo de irrigação. *In*: CRUZ, J. C. (ed.). **Cultivo do milho**. 5. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009.

ANDRADE, C. L. T.; ALVARENGA, R. C.; COELHO, A. M.; MARRIEL, I. E.; TEIXEIRA, E. G. Dinâmica de água e soluto em um latossolo cultivado com milho irrigado: 2-lixiviação de nitrogênio. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 14., 2004, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: ABID, 2004. P. 1-6. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/490240>. Acesso em: 2 out. 2020.

BEN, L. H. B. **Influência de lâminas de irrigação e densidade de plantas sobre o cultivo do milho "safrinha"**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

BENEVIDES, J. G.; LOPEZ, D. Formula para El caculo de la evapotranspiracion potencial adaptada al tropico (15° N - 15° S). **Agronomia Tropical**, Maracay, v. 20, n. 5, p. 335-345, 1970.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; VO MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 9, p. 831- 839, set. 2004.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; VO MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 2, p. 243-249, fev. 2006.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de Irrigação**. 9. ed. Viçosa: Editora UFV, 2019.

CONCEIÇÃO, C. G. **Análise do crescimento e produtividade econômica do feijoeiro irrigado na região de Alegrete-RS**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2016. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/11371>. Acesso em: 25 out. 2020.

CONTINI, E.; MOTA, M. M.; MARRA, R.; BORGHI, E.; MIRANDA, R. A.; SILVA, A. F.; SILVA, D. D.; MACHADO, J. R. A.; COTA, L. V.; COSTA, R. V.; MENDES, S. M. **Milho: caracterização e desafios tecnológicos**. Brasília: Embrapa. 2019.

CUNHA, P. C. R.; SILVEIRA, P. M.; NASCIMENTO, J. L.; ALVES, J. J. Manejo da irrigação no feijoeiro cultivado em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 7, p. 735-742, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/LjL3PzZ3vN4wvKhvZNNWGKk/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 30 out. 2020.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 1977. (Riego y Drenaje, 24).

FANCELLI, A. L. **Milho: Ecofisiologia**. Piracicaba: USP: ESALQ: LPV, 2015.

FIGUEIREDO, M. G.; FRIZZONE, J. A.; PITELLI, M. M.; REZENDE, R. Lâmina ótima de irrigação do feijoeiro, com restrição de água, em função do nível de aversão ao risco do produtor. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 81-87, 2008.

FRIZZONE, J. A. Planejamento da irrigação com uso de técnicas de otimização. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 1, n. 1, p. 24-49, 2007.

LIMA, S. C. R. V.; FRIZZONE, J. A.; MATEOS, L.; FERNANDEZ, M. S. Estimativa da produtividade de água em uma área irrigada no sul da Espanha. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 6, n. 1, p. 51-60, 2012.

LOUZADA, J. A.; JOBIM, C. I. P. Demanda de irrigação suplementar e rendimento relativo de grãos de feijão no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Mossoró, v. 16, n. 3, p. 237-247, 2011.

MACHADO, J. R. A. **O excesso de chuvas e a cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/8900890/artigo---o-excesso-de-chuvas-e-a-cultura-do-milho>. Acesso em: 10 out. 2020.

MARTINS, J. D.; PETRY, M. T.; RODRIGUES, G. C.; CARLESSO, R. Viabilidade econômica da irrigação deficitária em milho irrigado por gotejamento. **Irriga**, Botucatu, v. 1 n. 1, edição especial, p. 150-165, fev. 2016. Disponível em: <http://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/1865>. Acesso em: 7 nov. 2020.

MARTINS, J. D.; CARLESSO, R.; AIRES, N. P.; GATTO, J. C.; DUBOU, V.; FRIES, H. M.; SCHEIBLER, R. B. Irrigação deficitária para aumentar a produtividade da água na produção de silagem de milho. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 192-205, 2012. DOI: 10.15809/irriga.2012v1n01p192. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/447>. Acesso em: 7 nov. 2020.

MENDOZA, C. J. C.; FRIZZONE, J. A. Economia de energia em irrigação por pivô central em função da melhoria na uniformidade da distribuição de água. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 6, n. 3, p. 184-197, 2012. DOI: 10.7127/rbai.v6n300083. Disponível em: inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/121/pdf_107. Acesso em: 2 nov. 2020.

OLIVEIRA, E. C.; COSTA, J. M. N.; PAULA JÚNIOR, T. J.; FERREIRA, W. P. M.; JUSTINO, F. B.; NEVES, L. O. The performance of the CROPGRO model for bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yield simulation. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 34, n. 3, p. 239-246, jul./set. 2012.

PARIZI, A. R. C. **Efeito de diferentes estratégias de irrigação sob as culturas de feijão (*phaseolus vulgaris* L.) e milho (*zea mays* L.) na região de santiago, RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PARIZI, A. R. C. **Funções de produção das culturas de milho e feijão através de estudo experimental e simulado**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

PAYERO, J. O.; TARKALSON, D. D.; IRMAK, S.; DAVISON, D.; PETERSEN, J. L. Effect of timing of a deficit-irrigation allocation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry mass. **Agricultural Water Management**, Nebraska, v. 96, n. 10, p. 1387-1397, 2009.

PEGORARE, A. B.; FEDATTO, E.; PEREIRA, S. B.; SOUZA, L. C. F.; FIETZ, C. R. Irrigação suplementar no ciclo do milho "safrinha" sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Cidade, v. 13, n. 3, p. 262-271, maio/jun. 2009.

PEREIRA, L. S.; OWEIS, T.; ZAIRI, A. Irrigation management under water scarcity. **Agricultural Water Management**, Nebraska, v. 57, n. 3, p. 175-206, 2002.

ROSA, A. P. S. A.; EMYGDIO, B. M.; BISPO, N. B. (ed.). **Indicações Técnicas para o Cultivo de Milho e de Sorgo no Rio Grande do Sul Safras 2017/18 e 2018/19**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

SANTOS, O. O.; FALCÃO, H.; ANTONINO, A. C. D.; LIMA, J. R. S.; LUSTOSA, B. M.; SANTOS, M. G. Desempenho ecofisiológico de milho, sorgo e braquiária sob déficit hídrico e reidratação. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 2, p. 203-212, 2014.

SILVA, G. M.; TEIXEIRA-GANDRA, C. F. A.; DAMÉ, R. C. F.; KLUMB, G. B.; VEBER, P. M. Tendências de séries de precipitação total mensal para localidades do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, Pelotas, v. 1, n. 2, p. 13-22, 2015.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Emater-RS, 2008.

SUYKER, A. E.; VERMA, S. B. Evapotranspiration of irrigated and rainfed maize–soybean cropping systems. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 149-3, n. 4, p. 443-452, 2009.

TAVARES, V. E. Q. **Sistemas de irrigação e manejo de água na produção de sementes**. 2007. Tese (Doutorado em Ciências e Tecnologia de Sementes) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2007.