

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

MARCELO DAL LOMO CHUQUEL

**PRODUÇÃO DE ÁGUA E ANÁLISE ECONÔMICA NA SOJA IRRIGADA POR ASPERSÃO
CONVENCIONAL NO MUNICÍPIO DE ALEGRETE – RS**

Alegrete

2022

MARCELO DAL LOMO CHUQUEL

**PRODUÇÃO DE ÁGUA E ANÁLISE ECONÔMICA NA SOJA IRRIGADA POR ASPERSÃO
CONVENCIONAL NO MUNICÍPIO DE ALEGRETE – RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof^ª. Dra. Fátima Cibele Soares

Coorientador: Prof^ª. Dra. Ana Rita Costenaro Parizi

**Alegrete
2022**

MARCELO DAL-LOMO CHUQUEL

**PRODUÇÃO DE ÁGUA E ANÁLISE ECONÔMICA NA SOJA IRRIGADA POR
ASPERSÃO CONVENCIONAL NO MUNICÍPIO DE ALEGRETE - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Agrícola da
Universidade Federal do Pampa,
como requisito parcial para obtenção
do Título de Bacharel em Engenharia
Agrícola.

Trabalho defendido e aprovado em: 18 de agosto de 2022.

Banca examinadora:

Profa. Dra. Fátima Cibele Soares

Orientadora

UNIPAMPA

Profa. Dra. Chaiane Guerra da Conceição

UNIPAMPA

Eng. Giulian Rubira

Gautério UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **CHAIANE GUERRA DA CONCEICAO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/08/2022, às 14:45, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **GIULIAN RUBIRA GAUTERIO, ENGENHEIRO-AREA**, em 22/08/2022, às 15:02, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **FATIMA CIBELE SOARES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 24/08/2022, às 09:25, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0904730** e o código CRC **56247396**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me manter firme nos meus objetivos, aos meus pais Mário Joaquim Ribas Chuquel e Marilene de Fátima Dal Lomo Chuquel (*in memorian*) pela educação, carinho e incentivo, à minha irmã Franciele De Cássia Dal Lomo Chuquel e meu cunhado Lincoln Prado Portela, por todo apoio e incentivo desde minha chegada em Alegrete, vocês foram fundamentais para essa conquista, amo vocês!

Ao grupo de pesquisa Engenharia de Irrigação, coordenado pela professora Dr^a. Ana Rita Costenaro Parizi, juntamente com os colegas Alessandra Machado Ferreira, Eliza Micaela Segabinazzi, Sheilise Pedroso, Victor Humberto Sarturi Ponte e Maria Eduarda Hitz, pelo apoio durante a condução do experimento.

À professora Dr^a Fátima Cibele Soares, por ter aceito o convite de orientar este trabalho, pela paciência e atenção.

Ao Instituto Federal Farroupilha – Campus Alegrete pelo espaço cedido para realização deste trabalho e à Universidade Federal Do Pampa – Campus Alegrete por proporcionarem um ensino gratuito e de qualidade.

Ao Romário Vieira De Ávila e Rejane Prado de Ávila pelo acolhimento, simplicidade e afeto que tiveram comigo, enquanto morei junto com vocês! Muito obrigado.

Aos demais colegas Gabriel Reffatti Jardim, Matheus Funari Severo, Mateus Arce Urroz, Lívia Dorneles, Vanessa Severo e Rafaela Moraes Da Costa, pela amizade e companheirismo de sempre.

RESUMO

A água apresenta função vital ao longo do ciclo das culturas, sendo um fator de produção que, aliado as condições de solo, pode comprometer nos resultados da safra de grãos. A cultura da soja apresenta destaque na economia nacional, sendo que no estado do Rio Grande do Sul a exploração de áreas com o cultivo da mesma vem se ampliando. Aliado a isto, as irregularidades na distribuição das chuvas são frequentes e a falta de conhecimento do aproveitamento hídrico no solo e suas variáveis, comprometem ainda mais o desempenho produtivo. Desta forma este trabalho teve o objetivo de analisar a resposta econômica da cultura da soja irrigada por aspersão convencional. O experimento foi conduzido à campo em área experimental do Instituto Federal Farroupilha – Campus Alegrete, o delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatro tratamentos contendo nove repetições cada. Os tratamentos de irrigação foram determinados com auxílio de reposição de lâminas da evapotranspiração da cultura, e divididos em: Tratamento 1 (T1) – 100% da ETc, Tratamento 2 (T2) – 70% da ETc, Tratamento 3 (T3) - 50% da ETc e Tratamento 4 (T4) – 0% da ETc (testemunha). A irrigação suplementar proporciona um incremento na produção de grãos na cultura da soja, a reposta da irrigação está ligada com a sensibilidade da cultura ao déficit hídrico. A lâmina que melhor corresponde a máxima eficiência técnica e produtividade da água, é a lâmina com reposição de 70% da ETc.

Palavras-Chave: Retorno econômico, Produtividade da água, Irrigação suplementar.

ABSTRACT

Water has a vital function throughout the cycle of crops, and is a production factor that combined with soil conditions can compromise the results of the grain harvest. The soybean crop stands out in the national economy, and in the state of Rio Grande do Sul the exploration of areas with soybean cultivation has been increasing. Allied to this, the irregularities in rainfall distribution are frequent and the lack of knowledge of water use in the soil and its variables further compromises the productive performance. Thus, the objective of this work was to analyze the economic response of the soy crop irrigated by conventional irrigation. The experiment was conducted in the experimental area of the Instituto Federal Farroupilha - Campus Alegrete, the experimental design used was completely randomized with four treatments with nine repetitions each. The treatments of irrigation were determined with the help of replacement of the evapotranspiration of the crop, the treatments were divided into: Treatment 1 (T1) - 100% of ET_c, Treatment 2 (T2) - 70% of ET_c, Treatment 3 (T3)- 50% of ET_c, and Treatment 4 (T4) - 0% of ET_c (testemunha). The total water applied was 795.5 mm (T1), 653.93 mm (T2), 606.75 mm (T3) and 418.0 mm (T4). Supplemental irrigation provides an increase in grain yield of soybean, the response of irrigation is linked to the sensitivity of the crop to water deficit, the blade that best corresponds to maximum technical efficiency and productivity of water is the blade with replacement of 70% of ET_c.

Keywords: Economic return, Water productivity, Supplemental irrigation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Influência da água aplicada sobre os grãos na cultura da soja.....	28
Figura 2 - Produtividade da água kg m^{-3} na cultura da soja.	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lâminas de irrigação.....	27
Tabela 2 - Análise de variância para a produtividade de grãos total kg ha^{-1} na cultura da soja.	27
Tabela 3 - Análise de variância para a produtividade água kg m^{-3} da cultura da soja.	29
Tabela 4 - Receita líquida (R\$) para a utilização da irrigação (mm ha^{-1}) na cultura da soja....	31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivo Geral	12
1.1 Objetivos específicos.....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 A cultura da Soja.....	13
2.2 A importância da irrigação na cultura da soja.....	16
2.2.1 Manejo de irrigação	18
2.3 Produtividade da Água	20
2.4 Retorno econômico na produção de grãos.....	20
3 METODOLOGIA.....	22
3.1 Local e semeadura do experimento	22
3.2 Delineamento Experimental	22
3.3 Manejo da Irrigação.....	22
3.6 Produção de Grãos.....	24
3.7 Produtividade da Água	24
3.8 Rendimento econômico na produção de grãos	25
3.9 Interpretação dos resultados	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 Irrigação na cultura da soja.....	27
4.2 Produtividade de grãos	27
4.3 Produtividade da água	29
4.4 Rendimento econômico na produção de grãos	31
5 CONCLUSÃO.....	33
6 REFERÊNCIAS.....	34

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max L.*) é a principal cultura do país, de acordo com Embrapa (2020) o Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja, atrás apenas dos Estado Unidos. Dados da CONAB (2019) apontam a soja no Brasil como sendo a principal cultura em extensão de área e volume de produção, representando aproximadamente 48% dos 240,65 milhões de toneladas de grãos produzidos. A soja é uma das principais commodities mundiais, com produção em mais de 60 países, tendo como subprodutos o farelo e o óleo, de suma importância para a alimentação animal e humana.

Na safra 2020/21 foram cultivadas em torno de 38,502 milhões de hectares no Brasil com uma produtividade média de 3.517 kg/ha, totalizando 135,409 milhões de toneladas do grão, sendo o estado do Rio Grande do Sul responsável pela produção de 20,164 milhões de toneladas (CONAB, 2021). No panorama nacional, os estados com maior produção são: Mato Grosso (26,5 % da produção nacional), Rio Grande do Sul (14,8% da produção nacional), Paraná (14,6% da produção nacional) e Goiás (10,1% da produção nacional), sendo que o valor produzido por estes estados em toneladas foi: 35,9 milhões, 20,1 milhões, 19,8 milhões e 13,7 milhões. (SOJA, 2021).

Períodos longos de estiagem apresentam dados históricos no estado do RS, como é o caso da safra 2011/2012. Dados da CONAB (2012), mostram que, o longo período de estiagem causou perdas significativas no cultivo da soja nos estados produtores, sobretudo no Rio Grande do Sul, com perdas de 43,8% (5,09 milhões de toneladas). Para Morando et al (2014) a disponibilidade hídrica tem sido considerada o fator climático de maior efeito sobre a produtividade agrícola, sendo o fator que rege a distribuição das espécies nas diferentes zonas climáticas.

Neste sentido, a tecnologia da irrigação vem sendo utilizada cada vez com maior frequência, com a finalidade de garantir a oferta hídrica da cultura em períodos de estiagem.

1.1 Objetivo Geral

Analisar a resposta econômica da cultura da soja irrigada por aspersão convencional.

1.1 Objetivos específicos

- Obter a produtividade da água da cultura;
- Obter o rendimento econômico dos grãos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da Soja

A soja (*Glycine max* (L.), Merrill) é uma leguminosa com alto teor de óleo, pertencente à família Fabaceae do gênero *Glycine* (LEAL, 1967), de ciclo longo 90 a 160 dias, cultivada há milhares de anos, com a sua origem datada na China (MENEGATTI, 2006), possui alto teor de proteína em seus grãos e sua fácil adaptação a diversos tipos de clima e fotoperíodo, devido a suas inúmeras variedades (BARRETO, 2004), fazendo com que ela tenha uma ótima adaptação nas mais variadas regiões e épocas no Brasil (CARVALHO et al., 2010).

O primeiro cultivo da cultura no Brasil ocorreu no ano de 1882, no estado da Bahia, porém não houve muito sucesso. Após isto, houveram outros relatos em diversas regiões do país, como em Campinas – SP em 1892 (LEAL, 1967). Com o passar dos anos os melhores resultados obtidos foram a partir do ano de 1908 (Câmara et al., 2015). Desde então, a cultura pôde demonstrar, sua potencialidade e viabilidade produtiva para o mercado mundial, tornando-se gigante a gigante que é hoje (CONAB, 2017).

A cultura é principal commodity agrícola mundial, sendo os Estados Unidos, Brasil e Argentina os principais produtores, responsáveis pela maioria da produção mundial (FAOSTAT, 2016). O Brasil, aumentou sua produção de 75 para 96 milhões de toneladas por safra 2010/2011 para 2014/2015. Entre os maiores estados brasileiros produtores do grão o Rio Grande do Sul encontra-se em terceiro lugar, com uma produção de 15 milhões de toneladas (CONAB, 2016). Na safra 2020/2021 a produção de soja foi estimada em 135,9 milhões de toneladas, aumento de 8,9% em relação à safra anterior (CONAB 2021).

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial com aproximadamente 122,1 milhões de toneladas produzidas na safra de 2019/2020 (CONAB, 2020). No país a cultura é considerada uma das mais principais culturas anuais, por causa de seu crescimento da produção e do aumento da capacidade produtiva, obtendo retornos econômicos satisfatórios (CASTRO, 2006; KLAHOLD et al., 2006, ALBRECHT et al., 2011).

O grão de soja pode ser utilizado para fabricação de ração para alimentação animal, como matéria-prima para a indústria de esmagamento, que produz óleo e farelo, sendo o óleo, o líder mundial em consumo se comparado com outros óleos vegetais, representando entre 20 e 24% de todos os óleos e gorduras consumidas (MOREIRA, 1999). No Brasil este número se eleva acima de 50% em produtos alimentícios como: lecitina de soja, óleo alimentício, margarina, gorduras emulsionadas, leite de soja, queijo de soja, molho de soja e as proteínas vegetais

texturadas que são bastante utilizadas em substituição da carne (BERTRAND et al., 1987). Com uma produtividade média de 600 kg de óleo por hectare, estima-se que a soja é responsável por 70% a 80% do biodiesel produzido no país (BUAINAIN et al., 2015).

A soja tem características agronômicas favoráveis, incluindo boa capacidade de adaptação a uma ampla variedade de solos e climas e a habilidade em fixar nitrogênio da atmosfera, em simbiose com bactérias, o que a torna uma ótima opção de rotação com outras culturas que necessitam de altas concentrações de nitrogênio, como o milho e o arroz (BORRMAN et al., 2009).

É necessário explorar racionalmente a cultura, através do conhecimento da adaptabilidade das cultivares às diversas condições de produção e do manejo que elas passam a requerer. Para isso, dentre as características exploradas, estão: a precocidade, o tipo de crescimento, o comprimento do período juvenil e a resposta à densidade de plantas. Essas características podem garantir porte e produtividade adequados, nas diversas épocas de semeadura, principalmente em clima quente (OLIVEIRA, 2010).

A cultura da soja é sensível ao fotoperíodo, e a adaptabilidade de cada cultivar varia à medida que local e a data da semeadura muda, ou seja, quando varia a latitude. Portanto as cultivares tem uma faixa limitada de adaptação. De modo geral, as cultivares brasileiras tem ciclos entre 100 e 160 dias, e podem ser classificados em grupos de maturação precoce, semi-precoce, médio, semitardio e tardio, dependendo da região (GAVA, 2014). A maioria das cultivares de soja apresenta de 30 a 45% de proteínas, 15 a 25% de óleo (SOUZA et al., 2009).

A altura da planta depende da interação da região (condições ambientais) e do cultivar (genótipo). Os cultivares plantados comercialmente no país oscilam de 60 até 120 dias. A soja pode apresentar três tipos de crescimento: indeterminado, semideterminado e determinado. Por ser influenciada pelo comprimento do dia, em regiões ou épocas de fotoperíodo mais curto durante a fase vegetativa da planta, ela tende a induzir o florescimento precoce, e apresentar consecutiva queda de produção (GOMES et al., 1990).

O sistema radicular da soja concentra-se, em sua maioria, na camada de 0-20 cm (AZEVEDO et al., 2007). De acordo com Teruel et al. (2001), os sistemas radiculares das culturas possuem estrutura geométrica extremamente complexa, além de plasticidade, que é a habilidade de mudar sua configuração em reação ao ambiente físico, químico e biológico do solo. O sistema radicular da soja é constituído por uma raiz principal pivotante, com ramificações ricas em nódulos de bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico (NEVES, 2011).

O rendimento da soja é dado pela densidade de plantas, número de nós por planta, número de hastes por nós e tamanho da semente (LIU et al. 2005). As flores são completas e

axilares ou terminais, variando de 2 a 35 por racemo, do tipo papilionada, brancas, amarelas ou violáceas, segundo a cultivar (NEVES, 2011)

O déficit hídrico altera negativamente o índice de área foliar e altura de plantas de soja, porém o número de nós e números de hastes por planta geralmente não são alterados (PETRY, 2000), no entanto, a taxa de emissão de folhas é reduzida, indicando sofrer influências de déficits hídricos (SINCLAIR et al., 1998).

A faixa de temperatura para qual a soja se adapta bem está entre 20 °C e 30 °C, sendo a temperatura ideal para seu crescimento e desenvolvimento em torno de 30 °C. Temperaturas menores ou iguais a 10 °C tornam o crescimento vegetativo da soja pequeno ou nulo e acima de 40 °C têm efeito adverso na taxa de crescimento, provocando distúrbios na floração e diminuindo a capacidade de retenção de vagens. Esses problemas são acentuados com a ocorrência de déficits hídricos (EMBRAPA, 2008).

Conforme Farias et al. (2000), a disponibilidade hídrica, o fotoperíodo e a temperatura são os fatores que mais afetam o desenvolvimento e a produtividade da soja. A necessidade de água durante todo o ciclo fenológico varia entre 450 e 800 mm, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo. Berlato et al., (1999) relataram em suas pesquisas, a produtividade média vem oscilando consideravelmente, em virtude, principalmente, das oscilações no regime pluviométrico, fortemente influenciado pela ocorrência de fenômenos climáticos globais, como “El Niño” e “La Niña”.

As respostas da planta ao ambiente restritivo levam à diminuição na produtividade, atuando como um importante fator limitante à fotossíntese. Deve-se, então, buscar conhecimentos sobre cultivares com características agrônômicas desejáveis, aliadas a uma alta eficiência no uso da água, fator de grande importância para regiões suscetíveis à seca (LOBO, 2013).

A utilização da irrigação para a soja é de extrema importância. O grão de soja é constituído por aproximadamente 90% de água em seu peso, a água atua em todos os processos do desenvolvimento da planta e rentabilidade. A disponibilidade de água para a cultura é necessária, em dois períodos de desenvolvimento da soja: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos, sendo que, no primeiro período, tanto o excesso quanto o déficit de água são prejudiciais à obtenção de uma boa uniformidade na população de plantas. A necessidade de água na cultura da soja vai aumentando com o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo durante a floração-enchimento de grãos, decrescendo após esse período (EMBRAPA, 2008).

2.2 A importância da irrigação na cultura da soja

O processo do desenvolvimento da irrigação no Brasil iniciou-se no final do século XIX, sendo inicialmente utilizada nas lavouras de arroz, no Estado do Rio Grande do Sul, que é considerado um importante polo de irrigação. Esta técnica se intensificou no país nas décadas de 70 e 80, ocasionando uma expansão da agricultura em regiões que apresentavam déficit hídrico (ANA, 2021).

Um dos principais problemas ambientais enfrentados nas lavouras é o déficit hídrico que causa distúrbios nas plantas e tem um reflexo direto na produção (BARBOSA, 2017), o déficit hídrico tende a desorganizar o equilíbrio das plantas, mudando as condições fisiológicas (Jaleel et al., 2009). O início do déficit hídrico é observado quando a planta não consegue mais fazer um ajuste entre os processos de absorção de água e a transpiração, então nesse momento ocorre uma restrição da transpiração pelo fato de não haver água disponível no solo (FARIAS et al., 2007).

A disponibilidade hídrica é um dos fatores mais importantes na formação de sementes (GOODING et al., 2003), considerando que a água está envolvida em todos os processos metabólicos da planta (SILVA et al., 2014). A perda de produtividade de grãos em função da deficiência hídrica depende diretamente do estágio fenológico, duração e intensidade da escassez de água, sendo os períodos de floração e enchimento de grãos os mais exigentes em termos de necessidade hídrica, com exigência de 7 a 8 mm dia⁻¹ (GAVA, 2015).

Dependendo do momento em que ocorre o estresse hídrico, a planta de soja responde de maneiras diferentes. Quando o estresse ocorre no início da floração a planta reduz no número de vagens; quando a falta de água tem início após a floração e durante o período de floração ocorre uma redução no número de vagens por planta e também no tamanho das sementes. Esse mesmo sintoma é notado no final do período de floração e enchimento de vagens (SINCIK et al., 2008; OYA et al., 2004).

A relação do déficit hídrico com o desenvolvimento da soja é visualizada na lavoura com a presença de plantas de porte baixo, diâmetro do caule pequeno, folhas murchas e pequenas, entrenós curtos, redução da taxa de crescimento e da área foliar, atividade fotossintética reduzida e impactos na fixação de nitrogênio no solo. No período de pós-florescimento, a presença de déficit hídrico causa grandes reduções no rendimento de grãos, devido ao abortamento de flores e legumes, menor número de grãos vagem⁻¹, menor período de enchimento de grãos, diminuição da qualidade de grãos e aumento da senescência foliar (GAVA, 2015).

Em relação a isso, (LOOMIS et al., 1992) enfatiza que a disponibilidade de água é provavelmente, o principal fator que deve ser levado em consideração para a escolha da densidade ótima de plantas, pois quando há alta probabilidade de falta de umidade deve-se diminuir a densidade para que o solo possa suprir as plantas com suas reservas hídricas (MUNDSTOCK, 1977).

Em locais em que a reposição de água ao solo pelas chuvas é insuficiente para suprir a demanda da cultura, a irrigação suplementar pode auxiliar em um aumento significativo no rendimento da soja (HEATHRLY, 1983; KARAM et al., 2005; MONTOYA et al., 2017) e assegurar a produção na agricultura, principalmente nos anos em que possam ocorrer estiagens, o que resulta em déficit hídrico na planta. Para Matzenauer et al. (2002) nos meses de verão, devido à maior demanda evaporativa, as chuvas não são suficientes para suprir as necessidades das culturas, além da variabilidade espacial que ocorre neste período. Deste modo, (MINUZZI et al., 2012) destaca que a irrigação dispõe de um importante grau de estabilidade para a produção de alimentos, na medida em que, os efeitos das estiagens são suprimidos desde que haja um planejamento correto de irrigação.

A irrigação suplementar no período chuvoso pode aumentar a produtividade de grãos, de modo a otimizar a eficiência do uso da água utilizada na irrigação durante um período de maior disponibilidade deste recurso nos mananciais. O emprego da irrigação suplementar na fase crítica da cultura resulta em maior eficiência na conversão em massa de grãos de soja para cada mm de água aplicada via irrigação, sendo a estratégia preferencial para irrigação no período de chuvas (SILVA et al., 2020).

O Brasil tem capacidade de aumentar sua produção em suas áreas, com a prática da irrigação a produção se eleva e sem a necessidade de aumentar as áreas de plantio (EMBRAPA, 2014). O país usa 63% de seus recursos hídricos em irrigação, 18% para uso humano, 14% para uso animal e 5% para uso industrial. O crescimento populacional, que até 2025 deverá ser de mais nove bilhões de pessoas, vai exigir, um aumento em 50% na produção de alimentos, sendo a maior parte produzida em área irrigada. A FAO prevê que a irrigação nos países em desenvolvimento deverá crescer em até 20% até o ano 2030 e que a utilização de sistemas mais eficientes de produção, que conservem a umidade dos solos e melhorem a infiltração da água, devem ser promovidos pelos governos (GAVA R, 2014).

Vivan et al., (2013) conduziram um estudo visando estimar lâminas de irrigação suplementar e as funções de produção para a cultura da soja no município de Passo Fundo – RS, determinaram nove cenários para as combinações de datas de semeadura e duração de ciclo da cultura. Os autores concluíram que, para o período em estudo, em todos os cenários simulados

existiu necessidade de suplementação hídrica, com médias entre 163,48 e 238,6 mm, sendo observadas expressivas reduções de rendimento em decorrência do déficit de água.

Martorano (2007) avaliou em um estudo simulado as condições de preparo convencional e sistema de plantio direto, irrigado e não irrigado no Rio Grande do Sul, observou os efeitos negativos do tratamento em sequeiro. A autora relatou que o déficit hídrico no solo causou reduções de índice de área foliar, estatura, biomassa aérea, área foliar específica e eficiência no uso de radiação solar. Também a autora retrata que a produção de grãos no sistema não irrigado foi menor quando comparado com o sistema irrigado, no tratamento em sequeiro a produção obtida foi de 1.559 kg ha⁻¹ e no tratamento com a suplementação de irrigação alcançou 3.816 kg ha⁻¹, ou seja, o tratamento com incremento da irrigação obteve maior rendimento da cultura quando comparado ao tratamento em sequeiro.

Oliveira et al. (2021) conduziram um estudo sobre a soja irrigada no Rio Grande do Sul. Os resultados mostram que a produção irrigada foi superior à não irrigada, apresentando um total de 4.475,5 kg/ha⁻¹ quando irrigada e 3.690 kg ha⁻¹ quando não irrigada.

Dados como estes enfatizam a necessidade da irrigação na cultura da soja para que atinja seu maior desempenho produtivo.

2.2.1 Manejo de irrigação

A técnica da irrigação pode ser considerada como fator estratégico para o produtor rural, devido a rentabilidade que pode ser alcançada pelo aumento da produtividade (BERNARDO; SOARES; MONTAVANI et al., 2019) e quando utilizada de forma correta e racional, pode contribuir para a melhoria de desempenho da produção agrícola e conservação do solo e as técnicas de manejo do uso da água na agricultura são indispensáveis para o aumento da produção (CUNHA et al., 2013).

Monteiro et al. (2006) afirmam que o manejo adequado da irrigação consiste em se aplicar água ao solo, no momento oportuno e em quantidade suficiente para atender as necessidades hídricas das culturas. Este procedimento é de fundamental importância para a obtenção de altos rendimentos com economia de água e de energia. Bernardo, Soares e Mantovani (2006) afirmam que qualquer planejamento e operação de um projeto de irrigação em que se vise à máxima produção e a boa qualidade do produto, usando de maneira eficiente a água, requerem conhecimentos das relações entre solo água- planta-atmosfera e manejo de irrigação.

O manejo de irrigação envolve a tomada de decisão do quanto e quando irrigar, levando em consideração outros aspectos do sistema produtivo como a adubação o controle fitossanitário, os aspectos climatológicos e econômicos, o manejo e as estratégias de condução da cultura (ALVES et al., 2006).

O manejo da irrigação via clima pode ser feito pela reposição do consumo diário da cultura (evapotranspiração) ou pela soma do consumo dos dias anteriores, desde a data da última irrigação, considerando os fluxos de entrada e saída de água por meio do balanço hídrico no solo. Para o cálculo do balanço hídrico e da lâmina de irrigação necessária são utilizados os dados meteorológicos, obtidos pela estação meteorológica (SANTOS et al., 2001).

O manejo da irrigação via solo consiste em tomar a decisão de irrigar ou não observando a umidade do solo, de forma independente ou associada a outro método de manejo. Uma vez definidos os limites da capacidade de campo CC, do ponto de murcha (PM) e a estratégia de utilização de água, quando e quanto irrigar será determinado mediante a avaliação da umidade do solo. Esse monitoramento de umidade pode ser feito diretamente, a partir da coleta de amostras e a determinação deste parâmetro pelo método padrão de estufa, porém é mais comum que seja feito de forma indireta, por meio de sensores de umidade, que podem ser artesanais ou comerciais (MANTOVANI, 2006).

Pavani et al. (2008) obteve valores com diferenças significantes para as variáveis de produção e número de vagens por planta⁻¹ com aumento de 54,96 e 28,8% para os manejos com Tanque Classe “A” e tensiômetro, respectivamente. O autor ainda retrata que os tratamentos de manejo de irrigação via clima resultaram, no geral, em valores de potenciais mátricos maiores do que nos de tensiômetros, que em termos quantitativos, representa maior disponibilidade hídrica na zona radicular das plantas.

Para Bernardo, Soares e Mantovani (2006), a estimativa da quantidade de água necessária para a irrigação é um dos principais parâmetros para os corretos planejamentos, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação.

O conhecimento da demanda hídrica da cultura em diferentes fases fenológicas, assim como a eficiência da mesma no uso da água é muito importante para o manejo do ambiente, como a aplicação de água em maior ou menor quantidade em épocas distintas do ciclo (PEREIRA et al., 1998).

Considerando que o estado hídrico da planta se altera de acordo com um gama de fatores como: disponibilidade de água no solo, condições atmosféricas e o estágio de desenvolvimento (RODRIGUES et al., 2003), o potencial hídrico na folha tem sido sugerido como uma ferramenta eficiente para manejo de irrigação (MORIANA et al., 2012).

O controle e a administração adequados e confiáveis dos recursos hídricos possibilitam o manejo justo e equilibrado, preservando a sua qualidade. Sendo, portanto, imprescindível conduzir de forma racional a cultura irrigada em condições de campo, visando maximizar a eficiência do uso da água (BILIBIO et al., 2010).

2.3 Produtividade da Água

Devido à agricultura irrigada consumir atualmente, a maior parte da água doce disponível dos países em desenvolvimento, estimada entre 60 e 80% (CHRISTOFIDIS, 2008), encontrar meios de produzir mais alimentos com menos água é um dos maiores desafios enfrentados pela agricultura (BRITO et al., 2012)

O conhecimento sobre a tecnologia de irrigação é primordial para auxiliar os produtores rurais na tomada de decisão no que se refere ao uso racional dos recursos hídricos. A produção de água está relacionada ao volume de água utilizado na produção de um produto (MOLDEN et al., 2007). O aumento da produtividade de água, pode ser uma alternativa eficiente para a escassez dos recursos hídricos.

De acordo com (PERRY et. al, 2009) para como as culturas, os ambientes agroclimáticos e as diferentes práticas de manejo podem influenciar na relação entre a produção agrícola e o consumo de água, pode-se definir a produtividade de água para uma cultura (WP) como a razão entre a quantidade produzida e a quantidade de água consumida para obter essa produção. (BRITO et. al, 2012) ressalta que o aumento da produtividade da água pode ser uma resposta frente às dificuldades do problema ocasionado pela escassez hídrica.

Armoa et al., (2020) ressalta a determinação do conteúdo da água que o solo apresenta é de vital importância para a agricultura, estando relacionada, especificamente, aos manejos culturais realizados no campo e ao aporte da irrigação suplementar.

2.4 Retorno econômico na produção de grãos

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).

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.

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).

O principal fator que determina o nível de rentabilidade econômica das atividades agrícolas é o custo refletido pela produção das culturas, permitindo avaliar a eficiência dos sistemas de produção utilizados pelos produtores. Pode-se expressar a produtividade em função, apenas, da água utilizada pelo cultivo levando-se em consideração que os demais fatores envolvidos na produção permaneçam fixos, em nível ótimo e iguais para todos tratamentos (CONCEIÇÃO, 2016).

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 (BERNARDO et al., 2019).

3 METODOLOGIA

3.1 Local e semeadura do experimento

O experimento foi conduzido à campo em área experimental de Irrigação e Drenagem, cedida pelo Instituto Federal Farroupilha – Campus Alegrete, 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). De acordo com Classificação (Cfa Koppen) o local está situado a 121m acima do nível do mar, apresentando clima predominante subtropical, temperado quente e com as estações bem definidas.

A precipitação pluviométrica média se encontra em 1525 mm anuais, sendo a menor média mensal ocorrida em agosto e a maior em outubro. As maiores precipitações já observadas dentro de um período de 24 horas foram de 115 mm. A temperatura média anual é de 18,6°C, variando entre 13°C no inverno e 36°C no verão. A formação de geadas acontece nos meses de maio a setembro e a umidade relativa do ar é aproximadamente 75% (INMET, 2004).

A semeadura foi realizada no mês de dezembro, abrangendo o ano agrícola 2020/21, sob sistema de plantio direto e de acordo com às recomendações de densidade de semeadura exigidos pela cultura.

3.2 Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatro tratamentos contendo nove repetições cada. Os tratamentos de irrigação foram determinados com base na reposição de lâminas da evapotranspiração da cultura. Os tratamentos foram divididos em: Tratamento 1 (T1) – 100% da ETc, Tratamento 2 (T2) – 70% da ETc, Tratamento 3 (T3) – 50% da ETc e Tratamento 4 (T4) – 0% da ETc (testemunha).

A área experimental corresponde a 288m² (tratamentos irrigados) e 36m² (tratamento sequeiro).

3.3 Manejo da Irrigação

As irrigações foram estabelecidas através de um sistema do tipo aspersão convecional.

O manejo de irrigação aplicado foi via clima (quanto irrigar), com turno de rega fixo de cinco dias entre as irrigações.

Para o ajuste das lâminas de irrigação, nos distintos tratamentos, foi realizado o Teste de uniformidade CUC (Coeficiente de Uniformidade de Christiansen), conforme é demonstrado na equação 1, com este foi possível determinar e administrar a lâmina que correspondia a cada reposição da ETc, em cada tratamento.

$$CUC = \left[1 - \frac{\sum_{L=1}^N (L_i - L_m)}{N \cdot L_m} \right] \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

CUC = Coeficiente de uniformidade (%);

N = nº de coletores;

L_i = Lâmina coletada no ponto “i” (mm);

L_m = Lâmina média de todas as observações.

Para o cálculo da lâmina de irrigação, foram utilizados dados coletados diariamente de uma estação meteorológica automática do INMET e obtida a evapotranspiração de referência (ET_o) através do método indireto de Benevides e Lopez (1970).

$$ET_o = 0,67 \cdot 10 \cdot \left(\frac{7,5 \cdot T}{T + 273,5} \right) \cdot (1 - 0,01 \cdot UR) + 0,12 \cdot T - 0,38 \quad (2)$$

Onde:

ET_o = evapotranspiração de referência (mm);

T = temperatura média (°C);

UR = umidade relativa do ar (%).

Para aplicação das lâminas de irrigação, foram calculadas a evapotranspiração da cultura (ET_c) diariamente, de acordo com os dados obtidos da estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para o Município de Alegrete / RS. Utilizou-se turno de rega fixo, com intervalo de cinco dias entre as irrigações, caso não houvesse precipitações. Para o cálculo da ET_c, foi utilizado a seguinte fórmula:

$$ETc = ETo . kc \quad (3)$$

Onde:

ETc= evapotranspiração da cultura (mm);

ETo= evapotranspiração de referência (mm);

Kc= coeficiente da cultura.

3.6 Produção de Grãos

Quando as plantas atingiram a senescência e umidade própria para colheita, foram coletadas nove plantas de cada tratamento, estas foram levadas para a estufa em uma temperatura de 65° C e ficaram no período de 72 h, após foram obtidos os componentes agronômicos da produção de grãos (vagens planta⁻¹, plantas m⁻², grãos por vagens⁻¹, peso médio do grão). A produtividade de grãos (Pg) foi estimada pelo produto daqueles componentes e o fator de correção da produção de grão secos para produção de grãos com 13% de umidade (umidade de padrão ou de referência), expressa por:

$$Pg = 11,5 \cdot \frac{n^{\circ}plantas}{m^2} \cdot \frac{n^{\circ}vagens}{planta} \cdot \frac{n^{\circ}}{grãos} \cdot \text{peso médio do grão} \quad (5)$$

Onde:

Pg = produtividade de grãos (kg ha⁻¹);

11,5 = Produto do fator de correção da produção para 13% de umidade do grão igual a 1,15 e o fator de transformação da produção de grãos (g.m⁻²) para a produção de grãos kg ha⁻¹.

3.7 Produtividade da Água

Para as diferentes estratégias de irrigação foi determinada a produtividade de água (PW), definida como a razão entre a produção de grãos atingida pela quantidade de água utilizada.

$$PW = \frac{PG}{TAA}$$

(6)

Onde:

PG = Produção de grãos (kg ha⁻¹);

TAA = Total de água aplicada durante o ciclo da cultura m³ ha⁻¹).

3.8 Rendimento econômico na produção de grãos

A eficiência do uso da água é uma alternativa para a otimização desse recurso, tornando a produtividade em função do aumento da lâmina aplicada.

Sendo assim, foi realizada a análise do Retorno Econômico para a produção de grãos de soja, onde a única variável presente era a quantidade de lâmina aplicada.

Desta maneira, foi utilizado a metodologia de Bernardo et al (2019), onde o lucro foi a diferença entre a receita líquida e o custo de produção. Para isso, foi contabilizado os custos totais para a produção de soja e a receita líquida, foi o valor coletado com a venda da produção.

Para a obtenção da lâmina de irrigação que corresponde ao retorno econômico, o modelo a ser minimizado é o da receita líquida ou lucro líquido, representado pela equação:

$$L = (a + b + cw^2) \cdot Py - w \cdot Pw$$

(7)

Onde:

L = receita líquida ou lucro líquido;

Py = preço de venda do produto (R\$ kg⁻¹);

Pw = custo de aplicação da lâmina de irrigação (R\$ mm ha⁻¹).

Os preços da lâmina de água aplicada (Px) utilizados foram obtidos na bibliografia em Reais (R\$). O preço do produto (Py) foi obtido através da média estadual do valor da comercialização por saca de soja de 60 kg para o mês de julho de 2022. 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 da cotação média estadual do valor da comercialização por saca de 50 kg para o mês de julho de 2022 em R\$ 176,50.

3.9 Interpretação dos resultados

Para interpretação dos resultados foi realizada a análise da variância usando-se o Teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro para interpretação do nível de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Irrigação na cultura da soja

A tabela 1 apresenta os tratamentos de irrigação, as lâminas com reposição da ETc (%), precipitação pluviométrica e o total de água aplicado durante a condução da cultura.

Tabela 1 - Lâminas de irrigação.

Tratamento de irrigação	ETc (%)	Lâmina de irrigação total (mm)	Precipitação pluviométrica (mm)	Total de água aplicado (mm)
Tratamento 1 (T1)	100	377,5	418	795,5
Tratamento 2 (T2)	70	235,93	418	653,93
Tratamento 3 (T3)	50	188,75	418	606,75
Tratamento 4 (T4)	0	0	418	418

Fonte: O autor.

4.2 Produtividade de grãos

A variável produtividade de grãos (kg ha^{-1}) obteve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos de irrigação. A ANOVA para esta variável pode é analisada na tabela 2.

Tabela 2 - Análise de variância para a produtividade de grãos total kg ha^{-1} na cultura da soja.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Lâminas	3	50755977.59	16918659.19	3,98	0,01
Repetição erro	8	33330585.53	4885073,33	0,982	0,47
Total	24	101793107.32	306027,27		
	35	185879670.45			
CV (%)	42,02				
Média geral	4901,71		Número de observações	36	

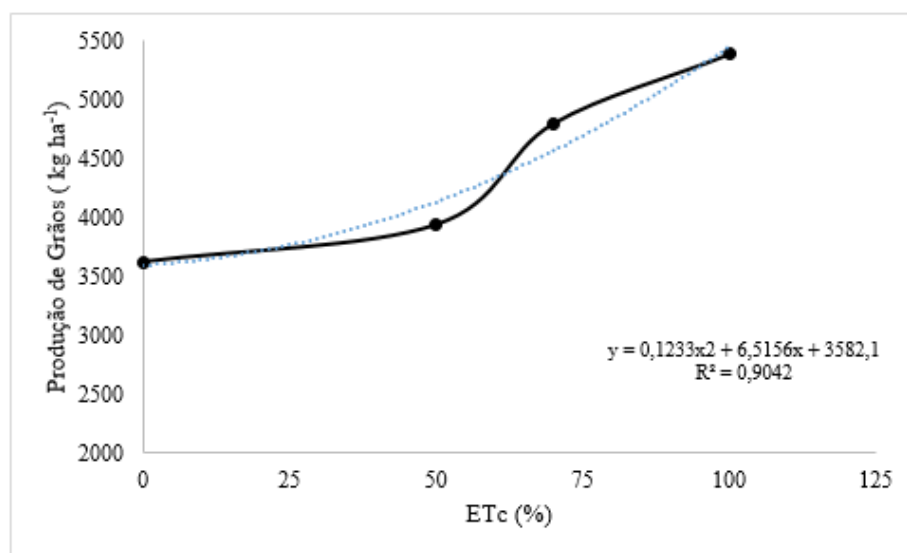
Fonte: o autor.

Observa-se que com o incremento das lâminas de irrigação ocorre um aumento na produção de grãos, obtendo a produtividade máxima no tratamento com maior reposição de lâmina (100 % da ETc), com $5372,2 \text{ kg ha}^{-1}$, os demais tratamentos corresponderam a $4974,19$, $3936,4$, 3622 kg ha^{-1} , correspondendo aos tratamentos 70, 50 e 0% da ETc, respectivamente.

Corroborando com estes resultados, Santos et al. (2019) ao avaliarem a produtividade de grãos de diferentes cultivares de soja, verificaram que as cultivares apresentaram uma diferença significativa. Estes resultados diferem de Gava et al. (2017) que avaliando cultivares de soja irrigadas e não irrigadas observaram que alguns genótipos não respondem a irrigação e isto é dependente das características genéticas de cada cultivar.

A aplicação da irrigação influenciou diretamente na produção de grãos na cultura da soja, onde a maior reposição de lâmina obteve a máxima produção de grãos na cultura, apresentando um comportamento linear crescente de acordo com as lâminas aplicadas.

Figura 1 - Influência da água aplicada sobre os grãos na cultura da soja.



Fonte: O autor.

Os tratamentos com déficits hídricos diminuíram a produção de grãos, esta análise também foi observada por Stülp et al. (2009) que relacionaram as baixas médias de produtividade à restrição hídrica associada a altas temperaturas nos estádios reprodutivos da cultura, os autores observaram que, a menor disponibilidade de água promove decréscimo da fotossíntese e abrevia o período de enchimento de grãos, com prejuízo à produção.

Os resultados obtidos neste estudo corroboram com Gomes (2011), avaliou a produtividade grãos na cultura da soja em diferentes manejos hídricos no município de Santiago – RS e observou-se que a menor produção de grãos verificada foi de 2.526,1 kg ha⁻¹, que corresponde ao tratamento T0, onde não ocorreu irrigação suplementar. A maior produção de grãos foi de 3.784,1 kg ha⁻¹, que corresponde ao tratamento T5 onde foi aplicado 217,22 mm de irrigação suplementar, tendo um total de 630,22 mm de água com a precipitação mais a irrigação.

Estes valores diferem de Nunes (2015) que estudou os aspectos agronômicos na produtividade da soja sob diferentes manejos hídricos, obteve o maior valor médio, 5.271,26 kg ha⁻¹, foi obtido nas condições do tratamento que correspondeu a déficit hídrico moderado - 50% da ETc somente na fase vegetativa.

Os tratamentos de manejo com déficit hídrico influenciaram diretamente no rendimento da cultura, pois, a menor reposição de lâmina ocasionou na menor produção de grãos.

4.3 Produtividade da água

A variável produtividade água kg.m⁻³ (WP) não obteve diferença significativa (p < 0,05) entre os tratamentos de irrigação. A ANOVA para este parâmetro pode ser analisado na tabela 3.

Tabela 3 - Análise de variância para a produtividade água kg.m⁻³ da cultura da soja.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr> Fc
Lâminas	3	5,10	1,70	1,20	0,33
Repetição	8	8,80	1,10	0,77	0,62
erro	24	33,84	1,41		
Total	35	47,86			
CV (%)	119,60				
Média geral	0,9945		Número de observações	36	

Fonte: O autor.

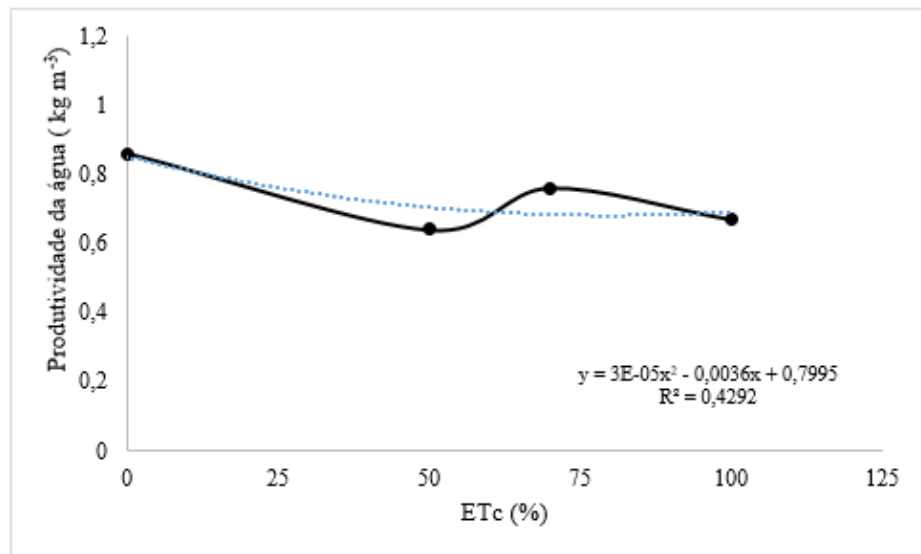
A produtividade da água (kg m⁻³) sofreu um decréscimo de acordo com o aumento das lâminas de irrigação, de acordo com (EMBRAPA, 2008) a necessidade hídrica da cultura varia entre 400 a 800 mm, o tratamento com irrigação em sequeiro obteve 418 mm, ou seja, poderia desenvolver-se bem, porém houve a necessidade da utilização da técnica de irrigação, uma vez em que, as chuvas foram desregulares durante o ciclo.

A produtividade da água encontrada para os tratamentos foi de 0,86, 0,64, 0,76 e 0,67 kg m⁻³, nos tratamentos: 0, 50, 70 e 100% de reposição da ETc, respectivamente.

Os resultados obtidos estão de acordo com Gomes (2011), em que observou que a eficiência do uso da água obteve um crescimento até a estratégia de irrigação de 50%, para a produção de grãos e observou-se que as estratégias de irrigação de 75% e 100%, estratégias estas que apresentaram os maiores valores de total de água aplicado obtiveram os menores valores de eficiência do uso da água. Para Zocoler et al. (2001) a eficiência de aplicação é definida

pela relação entre a quantidade de água incorporada ao solo até a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura e a quantidade de água aplicada.

Figura 2 - Produtividade da água kg m⁻³ na cultura da soja.



Fonte: O autor.

Brito et al. (2016) conduziram experimento com feijão no município de Rio Largo – AL, obtiveram os valores para a produtividade da água nos tratamentos sem restrição hídrica de 0,50 kg m⁻³, e com restrição hídrica de 0,06 kg m⁻³, estes valores estão de acordo com os encontrados neste estudo, pois o tratamento com menor disponibilidade hídrica obteve a maior produtividade da água.

Conceição (2016) em experimento com cultivo do feijão em casa de vegetação observou que a produtividade da água apresentou comportamento linear decrescente conforme o incremento das lâminas de irrigação, ou seja, o maior valor de 1,13 kg m⁻³ foi obtido no tratamento com menor reposição da lâmina (25% da ETc), que coincidiu com a menor produção de grãos obtida.

Estes resultados estão de acordo com, Ferreira et al., (2021) conduziram experimento com milho irrigado sob diferentes manejos hídricos e analisaram, 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.

Neste estudo, a maior produtividade da água encontrada correspondeu ao tratamento em sequeiro, obtendo maior rendimento em grãos por m³ de água aplicado, entretanto, o tratamento que correspondeu a maior eficiência do uso da água não correspondeu ao tratamento com maior produção de grãos.

4.4 Rendimento econômico na produção de grãos

Tabela 4 - Receita líquida (R\$) para a utilização da irrigação (mm.ha⁻¹) na cultura da soja.

Tratamento ETc (%)	Lâmina de irrigação (mm)	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)	Produtividade da água (kg m ⁻³)	Receita líquida R\$
50	188,75	3636,4	0,64	10463,9
70	235,93	4974,1	0,76	14328,94
100	377,5	5372,2	0,67	15322,39

Fonte: O autor.

Para o cálculo da irrigação foi levado em consideração o valor da energia elétrica por lâmina aplicada de US\$ 1,25. Quando utilizou a irrigação suplementar a renda líquida por hectare foi maior para o tratamento com maior reposição de lâmina (100% da ETc), o que ocasionou na maior produção de grãos (kg ha⁻¹), porém ocasionou num decréscimo para a produtividade da água.

Oliveira et al. (2013), estudaram os custos da irrigação e da receita líquida do feijoeiro irrigado por pivô central e analisaram que o custo anual da irrigação variou de R\$ 624,60 ha⁻¹ a R\$ 980,51 ha⁻¹, entre as condições extremas, ou seja, do menor desnível topográfico (40 m) e

Comprimento da tubulação de recalque (2.000 m) ao maior desnível (80 m) e comprimento (3.000 m).

Rodrigues (2022), em experimento com cultivares de soja irrigada em duas safras, obteve o retorno econômico para a cultivar BMX Valente obteve valores de produtividade de água de 14,47 (safra 1) e 13,70 kg.ha⁻¹.mm⁻¹ (safra 2) e produtividade econômica da água de US\$ 4,72 (safra 1) e US\$ 4,28 .ha⁻¹.mm⁻¹ (safra 2) para a produção de grãos, sendo estes os maiores resultados na comparação das cultivares. Os menores resultados foram observados para cultivar NS 6909 com valores de produtividade da água de 12,92 e 12,08 kg.ha⁻¹.mm⁻¹ e produtividade econômica da água US\$ 4,21 e US\$ 3,77 .ha⁻¹.mm⁻¹ nas safras 1 e 2, respectivamente. Apesar do aumento da produtividade de grãos com a lâmina de 100% em ambas as safras, a

produtividade da água apresentou os melhores valores nas lâminas de 50% e 25% com 15,07 e 14,17 kg.ha⁻¹.mm⁻¹, respectivamente.

Os resultados encontrados neste estudo corroboram com Ruviano et al. (2011) obteve a máxima eficiência técnica de US\$ 318,00 por hectare com a aplicação de lâmina média de água de 30 mm, correspondendo a maior produtividade 4045 kg ha⁻¹, de grãos de soja observada no estudo, entretanto, foi encontrada uma produtividade máxima de 3602 kg ha⁻¹, para a estratégia não irrigada. Os autores concluíram que o uso da irrigação suplementar na cultura da soja aumenta a produtividade de grãos e aumenta a receita líquida, na região da Fronteira Oeste, no RS.

Á partir deste estudo foi possível observar que com o incremento das lâminas de irrigação o tratamento que correspondeu a maior reposição de lâmina (100% da ETc), ocasionou na maior produção de grãos e na maior receita líquida técnica, consecutivamente na menor produtividade da água. Dentro disto, levando em consideração o ambiente em que o experimento foi conduzido, lâminas acima de irrigação acima de 70% da ETc, quando o objetivo for o maior rendimento econômico da cultura, e a água não for um fator limitante, não são recomendáveis, uma vez em que, a eficiência do uso da água diminui e aumenta o custo do uso da água.

5 CONCLUSÃO

Levando em consideração o ambiente e o ano em que o experimento foi conduzido, é possível concluir:

A técnica da irrigação é essencial, uma vez em que ocorreu uma redução significativa na produção de grãos no tratamento não irrigado, sendo estas reduções devidas a ocorrências de períodos ocasionados por distribuição irregular das chuvas.

A irrigação suplementar proporciona um incremento na produção de grãos na cultura da soja, a resposta da irrigação está ligada com a sensibilidade da cultura ao déficit hídrico.

A lâmina que melhor corresponde a máxima eficiência técnica e produtividade da água, é a lâmina de 70% da ETc.

A técnica da irrigação suplementar demonstrou-se viável economicamente, entretanto, a maior produtividade de grãos não correspondeu a maior eficiência técnica para a cultura da soja.

6 REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, D. M. P. de. et al. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo e distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes sistemas de preparo no cerrado maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 1, p. 32-40, 2007.
- ALBRECHT, L. P. et al. Manejo de biorregulador nos componentes de produção e desempenho das plantas de soja. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 6, p. 865-876, 2011.
- BARBOSA, Lucas Andrade. **Limite crítico do potencial hídrico da soja durante os estádios vegetativo e reprodutivo**. 2017. 91 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2017.539>
- Bernardo, S., Soares, A.A. and Mantovani, E.C. (2006) **Manual de Irrigação**. 8th edition, Editora UFV, Viçosa, 625 p.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de Irrigação**. 9. ed. Viçosa: Editora UFV, 2019.
- BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. Variabilidade interanual da precipitação e variabilidade dos rendimentos da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, n. 1, p. 119-125, 1999.
- BERTRAND, J.; LAURENT, C.; LECLERCQ, V. **O mundo da soja**. São Paulo: HUCITEC, 1987.
- BILIBIO, C. et al. Desenvolvimento vegetativo e produtivo da berinjela submetida a diferentes tensões de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 7, p. 730-735, 2010.
- BRITO, L. T. L. et al. Produtividade da água de chuva em culturas de subsistência no semiárido pernambucano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 1, p. 102-109, Jan./Fev. 2012.
- BRITO, José Edmilson Deodato et al. Produtividade e eficiência de uso da água em cultivo de feijão sob diferentes coberturas do solo submetido à restrição hídrica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 10, n. 2, p. 565-575, 2016.
- BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R. **Biodiesel sem a agricultura familiar?** Brasília, DF: Cia-soja, 2008. Disponível em: <http://www.cisoja.com.br/index.php?p=artigo&idA=87>. Acesso em: 11 fev. 2022.
- CÂMARA, Gil Miguel de Sousa. **INTRODUÇÃO AO AGRONEGÓCIO SOJA1**. 2015. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5746644/mod_resource/content/1/LPV %200584%202017%20-%20REVISAO%20Soja%20Apostila%20Agronegocio%20%282%29.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5746644/mod_resource/content/1/LPV%200584%202017%20-%20REVISAO%20Soja%20Apostila%20Agronegocio%20%282%29.pdf). Acesso em janeiro 2022.
- CARVALHO, E. R.; RESENDE, P. M.; OGOSHI, F. G. A.; BOTREL, E. P.; ALCANTRA, H. P.; SANTOS, J. P. Desempenho de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merril] em cultivo de verão no sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 4, p. 892-899, 2010,

CASTRO, P. R. C. Agroquímicos de controle hormonal na agricultura tropical. Piracicaba: **Esalq**, 2006. 46p.

CHRISTOFIDIS, D. Água, irrigação e segurança alimentar. **Revista Item**, Brasília, n.77, p.16-21, 2008.

CONAB. Boletim de Monitoramento Agrícola N. 5 -V. 10, 2021. Disponível in: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra-graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: agosto de 2022.

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. 2021.

EMBRAPA. Tecnologias de produções de soja: região central do Brasil. Londrina: Embrapa Soja: **Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste**, 2008.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de Produção de Soja – Região Central do Brasil – 2009 e 2010**. Londrina: Embrapa Soja, Embrapa Cerrado, Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 262 p.

FAOSTAT Database- Cropo production (**FAO**). Acessado em: 15 fev. 2022.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. F.; NEUMAIER, N.; OYA, T. Ecofisiologia. In: A cultura da soja no Brasil. Londrina: **Embrapa Soja**, 2000.

FARIAS, J. R. B; NEPOMUCENO, A. L., NEUMAIER, N. Ecofisiologia da soja. Londrina: **Embrapa Soja**, 2007. 9p. (Circular técnica, 48).

FERREIRA, A. M. F.; PARIZI, A. R. C.; DOS SANTOS GOMES, A. C.; CHUQUEL, M. D. L. .; SEGABINAZZI, E. M. .; SARTURI PONTE, V. H. DESEMPENHO PRODUTIVO E RETORNO ECONÔMICO DO MILHO IRRIGADO POR ASPERSÃO. **IRRIGA**, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 381–396, 2021. DOI: 10.15809/irriga.2021v1n2p381-396. Disponível em: <https://200.145.140.50/index.php/irriga/article/view/4144>. Acesso em: 14 ago. 2022.

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.

GAVA, R. **Os efeitos do estresse hídrico na cultura da soja (Glycine max (L.) Merrill)**. 2014. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

GAVA, Ricardo. et al. Estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v.9, nº.6, p. 349 - 359, 2015. ISSN 1982-7679 (On-line). Disponível em: . Acesso em: 22 fev. 2022.

- GAVA, R.; ANSELMO, J. L.; NEALE, C. M.; FRIZZONE, J. A.; LEAL, A. J. Different soybean plant populations under central pivot irrigation. **Engenharia Agrícola**, v. 37, p. 441-452, 2017.
- GOMES, Ana Carla dos Santos et al. **Estudo experimental e simulado da cultura da soja em função de diferentes níveis de irrigação**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.
- KLAHOLD, C. A. et al. Resposta da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) à ação de bioestimulante. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 2, p. 179-185, 2006.
- LIU, X.B. et al. Yield components, dry matter, LAI and LAD of soybeans in Northeast China. **Field Crops Res.** V.93, p.85-93, 2005.
- LOBO, J. V. **Respostas moleculares fisiológicas de dois genótipos de cafeeiros submetidos a diferentes períodos de restrição hídrica**. 2013. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- LOOMIS, R.S.; CONNOR, D.J. Crop ecology: productivity and management in agricultural systems. Cambridge, Inglaterra: **Cambridge University Press**, 1992. P.32-59.
- NUNES, Antônia Clemilda. **Aspectos agronômicos e produtividade de soja submetida a manejo de irrigação**. 2015. 118 f. : Tese (doutorado) - Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia agrícola, Fortaleza-CE, 2015.
- MATZENAUER, R. et al. Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja, no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: **Fepagro**, 2002, 105p. (Boletim Fepagro, 10).
- MINUZZI, R. B.; A. J. Requerimento de água para irrigação do milho em Santa Catarina durante eventos La Niña. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.12, p.1330-1337, 2012.
- MOREIRA, M. A. Programa de melhoramento genético da qualidade de óleo e proteína da soja desenvolvido na UFV. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1.**, 1999, Londrina. Anais... Londrina: Embrapa Soja, 1999. p. 99-104.
- MORIANA, A. PÉREZ-LÓPES, D. PRIETO, M. H. RAMÍREZ-SANTA-PAU, M. RODRIGUEZ, J. M. P. Midday stem water potential as a useful tool for estimating irrigation requirements in olive trees. **Agricultural Water Management**, Spain, v. 112, p. 43-54, 2012.
- MUNDSTOCK, C.M. Densidade de semeadura de milho para o Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS; **ASCAR**, 1977. 35p (Boletim Técnico.1).
- OLIVEIRA, Júlio S. de; ZOCOLER, João L. Custos da irrigação e receita líquida do feijoeiro em um sistema pivô central sob variação do comprimento da tubulação de recalque e desnível topográfico. **Engenharia Agrícola**, v. 33, p. 121-128, 2013.

OYA, T.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; TOBITA, S.; ITO, O. Drought tolerance characteristics of Brazilian soybean cultivars - Evaluation and characterization of drought tolerance of various Brazilian soybean cultivars in the field. **Plant Prod. Sci.** Londrina v. 7, n. 2, p. 129-137, 2004.

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.

PERRY, C.; STEDUTO, P.; ALLEN, R. G.; BURT, C. M. Increasing productivity in irrigated agriculture: Agronomic constraints and hydrological realities. **Agricultural Water Management**, v. 96, p. 1517–1524, 2009.

PETRY, MT. **Interação solo-planta e disponibilidade de água no solo às plantas de sorgo e soja**. Santa Maria, RS. 125p. (Mestrado em Agronomia) Programa de Pós- Graduação e Agronomia. Universidade Federal de Santa Maria. 2000.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; ROMAN, E. S. Avaliação do Potencial Hídrico Foliar em Plantas de Trigo. Passo Fundo: **Embrapa Trigo**. (Embrapa Trigo. Circular Técnica Online; 15), p. 12, 2003.

SANTOS, J. W. S.; BARBOSA, W. S. S.; TEODORO, I. P. O.; SILVA, J. A. C.; TEODORO, I.; LYRA, G. B. Desempenho produtivo da soja com irrigação suplementar nos tabuleiros costeiros de alagoas. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, p. 3714- 3723, 2019.

SILVA, L. P.; BATTISTI, R.; KNAPP, F. M.; SANTOS, T. G.; ALVES JUNIOR, J. Estimativa da produtividade de soja usando irrigação na época das chuvas no bioma Cerrado. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.28, 2020, e026702.

SILVA, S. A. **Injúrias mecânicas, análise de imagens e potencial fisiológico de sementes de trigo**. 2014. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

SINCIK, M.; CANDOGAN, B. N.; DEMIRTAS, C.; BÜYÜKCANGAZ, H.; YAZGAN, S.; GÖKSOY, A. T. Deficit Irrigation of Soyabean (*Glycine max* (L.) Merr.) in a Sub-humid climate. **Journal of Agronomy and Crop Science**, [S.L]v. 194, n. 3, p. 200-205, 2008.

SINCLAIR, R.T., HAMMOND, L.C., HARRISON, J. Extractable soil water transpiration rate of soyben on sandy soils. **Agronomy Journal**, Madison, v.90,p.363-368, 1998.

SOJA Em Números (Safrá 2020/21), EMBRAPA, Londrina, 2021. Disponível em: < encurtador.com.br/hwyG7>. Acesso em: 29 mai. 2022.

SOUZA, L. C. F. de et al. Teor de proteína e de óleo nos grãos de soja em função do tratamento de sementes e aplicação de micronutrientes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 6, p. 1586-1593, 2009.

STÜLP, M.; BRACCINI, A. de L. e; ALBRECHT, L. P.; ÁVILA, M. R.; SCAPIM, C. A.; SCHUSTER, I. Desempenho agrônômico de três cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura em duas safras. **Ciência e agrotecnologia**. v. 33, n. 5, p. 1240-1248, 2009.

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.

TERUEL, D. A. et al. Alterações estruturais do sistema radicular de soja em resposta á disponibilidade de fósforo no solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 55-60, 2001. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

ZOCOLER, J. L. et al. Eficiência e adequabilidade da irrigação de um equipamento do tipo pivô central. **In: XXX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2001**. Mabu Thermas & Resort, Foz do Iguaçu – Paraná, 31 de julho a 03 de agosto de 2001.