

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

Silvana Antunes Rodrigues

**PRODUTIVIDADE, CONTEÚDO DE ÓLEO E RETORNO
ECONÔMICO-FINANCEIRO DE CULTIVARES DE SOJA IRRIGADA**

Santa Maria, RS
2022

Silvana Antunes Rodrigues

**PRODUTIVIDADE, CONTEÚDO DE ÓLEO E RETORNO ECONÔMICO-
FINANCEIRO DE CULTIVARES DE SOJA IRRIGADA**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Engenharia Agrícola**.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Marcia Xavier Peiter

Santa Maria, RS
2022

Silvana Antunes Rodrigues

**PRODUTIVIDADE, CONTEÚDO DE ÓLEO E RETORNO ECONÔMICO-
FINANCEIRO DE CULTIVARES DE SOJA IRRIGADA**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Engenharia Agrícola.**

Aprovado em 25 de março de 2022:

Marcia Xavier Peiter, Dra. (UFSM) - Parecer
(Presidente/Orientadora)

Adroaldo Dias Robaina, Dr. (UFSM) - Parecer
(Coorientador)

Filipe Fagan Donato, Dr. (UFSM) - Parecer

Jardel Henrique Kirchner, Dr. (IFRS) - Parecer

Rogério Ricalde Torres, Dr. (IFRS) - Parecer

Sirlei Glasenapp, Dra. (UFSM) - Parecer

Santa Maria, RS
2022

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Meraulto e Ana Mariza, meu esposo Flávio e minha filha Manuela por serem o amor, a inspiração, o apoio e a força.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e força.

À minha orientadora, Professora Marcia Xavier Peiter, pela orientação, amizade, paciência e compreensão, durante todos estes anos. Pelos ensinamentos e incentivo para que todo o trabalho fosse realizado.

Ao Professor Adroaldo Dias Robaina, pelos ensinamentos, apoio, compreensão e amizade.

À banca examinadora por todas as contribuições e correções, desde o momento da qualificação deste trabalho até a conclusão.

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

À minha família, em especial meus pais, Meraulto e Ana Mariza, meu irmão Alex e minhas sobrinhas Maria Isabelli, Beatriz e Maitê, por todo incentivo, carinho, amor e compreensão.

Ao meu esposo Flávio, que sempre esteve ao meu lado, apoiando minhas decisões e compreendendo os momentos de ausência. Por todo amor, força e paciência.

À minha filha Manuela, que mesmo sem saber foi a minha principal incentivadora e fonte de força e inspiração.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Engenharia de Irrigação, por todos os anos de amizade, parceria e incentivo. Especialmente aos meus companheiros de vídeo chamada, Jhosefe Bruning, Laura Dias Ferreira e Miguel Chaiben Neto, pela amizade, parceria e principalmente ajuda na conclusão deste trabalho.

Ao Instituto Federal Farroupilha – Campus Alegrete, pela disponibilidade de laboratórios para que parte deste trabalho fosse realizado, em especial ao colega Elton Pilar Medeiros pela disponibilidade de sempre e por toda ajuda recebida.

Ao Colégio Politécnico da UFSM, pela disponibilidade da área experimental para que fossem realizados os experimentos de campo, pelo suporte operacional e por sempre se mostrarem disponíveis em ajudar.

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

À todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para que este trabalho fosse concluído.

Muito Obrigada!

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

(Marthin Luther King)

RESUMO

PRODUTIVIDADE, CONTEÚDO DE ÓLEO E RETORNO ECONÔMICO-FINANCEIRO DE CULTIVARES DE SOJA IRRIGADA

AUTORA: Silvana Antunes Rodrigues
ORIENTADORA: Marcia Xavier Peiter
COORDENADOR: Adroaldo Dias Robaina

O objetivo do presente estudo foi investigar a viabilidade técnica e econômico-financeira da produção de cultivares de soja, sob diferentes suplementações hídricas para a produção de óleo de soja. Foram realizados dois experimentos nos anos agrícolas 2017/18 e 2018/19, em área experimental pertencente ao Colégio Politécnico da UFSM, em Santa Maria, RS. O delineamento experimental foi em esquema bifatorial, onde o primeiro fator foram cinco lâminas de irrigação mais a testemunha não irrigada (0, 25, 50, 75, 100 e 125% da evapotranspiração de referência, ET_0) e o segundo fator três cultivares de soja (NIDERA 6909, BRASMAX Ponta e BRASMAX Valente). Foram avaliados a produtividade de grãos, o teor de óleo dos grãos, e a produtividade da água e a produtividade econômica da água para produção de grãos e teor de óleo. O retorno econômico-financeiro foi avaliado pelo valor presente líquido, a taxa interna de retorno, a razão benefício/custo e o *payback*, em 72 cenários, para quatro preços de comercialização do óleo bruto. A máxima eficiência técnica para a produtividade de grãos foi obtida para lâminas de 73,03% (safra 1) e 77,94% da ET_0 (safra 2). Houve diferença estatística para produtividade de grãos entre as cultivares, e em ambas as safras a BRASMAX Valente apresentou os maiores valores médios. Nas duas safras a produtividade da água e a produtividade econômica da água para a produção de grãos foram maiores para 50% e 25% da ET_0 , respectivamente. Para o teor de óleo a máxima eficiência técnica foi obtida nas lâminas de 100,5% (safra 1) e 98,17% da ET_0 (safra 2) e a cultivar BRASMAX Ponta apresentou os maiores resultados. A produtividade da água e a produtividade econômica da água para produção de grãos e de óleo apresentou valores médios maiores com a utilização de uma lâmina de 50% da ET_0 . A BRASMAX Valente (safra 1) e a BRASMAX Ponta (safra 2) obtiveram os maiores resultados na produtividade de água e produtividade econômica da água na produção de óleo. O preço de comercialização do óleo a R\$ 2,50 .kg⁻¹ não foi economicamente viável, nas diferentes lâminas de irrigação e cultivares. Nos preços de R\$ 6,50 e R\$ 8,50 .kg⁻¹, o retorno econômico foi satisfatório para todas as condições testadas. A irrigação suplementar favoreceu o incremento na produtividade de grãos, produção de óleo e da produtividade de óleo. A produtividade econômica da água é maximizada com redução da lâmina de irrigação.

Palavras-chave: Consumo Hídrico. *Glycine max* (L.) Merrill. Viabilidade Financeira. Qualidade de Grão.

ABSTRACT

PRODUCTIVITY, OIL CONTENT AND ECONOMIC-FINANCIAL RETURN OF IRRIGATED SOY CULTIVARS

AUTHOR: Silvana Antunes Rodrigues
ADVISOR: Marcia Xavier Peiter
CO-ADVISOR: Adroaldo Dias Robaina

The objective of the present study was to investigate the technical and economic-financial viability of the production of soybean cultivars, under different water supplements for the production of soybean oil. Two experiments were carried out in the 2017/18 and 2018/19 agricultural years, in an experimental area belonging to the Polytechnic College of UFSM, in Santa Maria, RS. The experimental design was in a two-factor scheme, where the first factor was five irrigation depths plus the non-irrigated control (0, 25, 50, 75, 100 and 125% of the reference evapotranspiration, ET_0) and the second factor was three soybean cultivars. (NIDERA 6909, BRASMAX Ponta and BRASMAX Valente). Grain yield, grain oil content, water yield and economic yield of water for grain production and oil content were evaluated. The economic-financial return was evaluated by the net present value, the internal rate of return, the benefit/cost ratio and the payback, in 72 scenarios, for four crude oil commercialization prices. The maximum technical efficiency for grain yield was obtained for depths of 73.03% (crop 1) and 77.94% of ET_0 (crop 2). There was a statistical difference for grain yield between the cultivars, and in both seasons, BRASMAX Valente presented the highest average values. In both seasons, water productivity and economic water productivity for grain production were higher for 50% and 25% of ET_0 , respectively. For the oil content, the maximum technical efficiency was obtained in the depths of 100.5% (crop 1) and 98.17% of ET_0 (crop 2) and the cultivar BRASMAX Ponta presented the highest results. The water productivity and the economic water productivity for grain and oil production presented higher average values with the use of a 50% ET_0 depth. BRASMAX Valente (crop 1) and BRASMAX Ponta (crop 2) obtained the highest results in water productivity and economic water productivity in oil production. The oil commercialization price at R\$ 2.50 .kg⁻¹ was not economically viable, in the different irrigation depths and cultivars. At the prices of R\$ 6.50 and R\$ 8.50 .kg⁻¹, the economic return was satisfactory for all the conditions tested. Supplementary irrigation favored the increase in grain yield, oil production and oil yield. Economic water productivity is maximized by reducing the irrigation depth.

Keywords: Water Consumption; *Glycine max* (L.) Merrill; Financial Viability; Grain Quality.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
2	OBJETIVOS.....	9
2.1	OBJETIVO GERAL	9
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3	REFERENCIAL TEÓRICO	10
3.1	SOJA.....	10
3.1.1	Cultura da soja.....	10
3.1.2	Cultivares de soja	11
3.1.3	Fatores que interferem no rendimento e qualidade de soja.....	11
3.1.4	Extração do óleo de soja	13
3.2	IRRIGAÇÃO E DÉFICIT HÍDRICO NA CULTURA DA SOJA.....	14
3.3	PRODUTIVIDADE DA ÁGUA E PRODUTIVIDADE ECONÔMICA DA ÁGUA	15
3.4	VIABILIDADE ECONÔMICA DA IRRIGAÇÃO	16
3.4.1	Custos de produção e irrigação	16
3.4.2	Indicadores de retorno econômico	17
4	MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1	LOCALIZAÇÃO E CLIMA DA REGIÃO.....	19
4.2	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA E QUÍMICA DO SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	19
4.3	OBTENÇÃO DE DADOS METEOROLÓGICOS	20
4.4	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E MATERIAL VEGETAL.....	20
4.5	MANEJO DA IRRIGAÇÃO	21
4.6	AVALIAÇÕES DE PRODUTIVIDADE DA CULTURA	22
4.7	VIABILIDADE ECONÔMICA	23
4.7.1	Custos.....	23
4.7.2	Viabilidade do investimento.....	26
5	ARTIGO 1 – DIFFERENT WATER AVAILABILITY IN THE ECONOMIC WATER PRODUCTIVITY IN SOYBEAN CULTIVARS	28
6	ARTIGO 2 - OIL CONTENT AND ECONOMIC WATER PRODUCTIVITY OF SOYBEAN CULTIVARS UNDER DIFFERENT WATER AVAILABILITY CONDITIONS	54
7	ARTIGO 3 - RETORNO ECONÔMICO-FINANCEIRO DA PRODUÇÃO DE ÓLEO VEGETAL DE CULTIVARES DE SOJA IRRIGADA	72
8	DISCUSSÃO.....	97
8.1	PRECIPITAÇÃO, EVAPOTRANSPIRAÇÃO E IRRIGAÇÃO	97
8.2	PRODUTIVIDADE DE GRÃOS, PRODUTIVIDADE DA ÁGUA E PRODUTIVIDADE ECONÔMICA DA ÁGUA	99
8.3	CONTEÚDO DE ÓLEO, PRODUTIVIDADE DE ÓLEO, PRODUTIVIDADE DA ÁGUA E PRODUTIVIDADE ECONÔMICA DA ÁGUA	102
8.4	CUSTOS E INDICADORES ECONÔMICOS	105
9	CONCLUSÃO.....	115
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117

1 INTRODUÇÃO

A soja é considerada uma das oleaginosas mais importantes do mundo, devido a suas diversas utilidades, podendo fornecer óleos e proteínas vegetais adequados para alimentar seres humanos e animais, com potencial para preencher a lacuna entre a demanda e a oferta de óleo e proteína comestíveis (EL-MOHSEN; MAHMOUD; SAFINA, 2013).

Globalmente, a soja aparece em quarto lugar na produção em volume. Mais de 85% da produção é processada e comercializada como farelo e óleo. Segundo projeções agrícolas do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, do inglês *United States Department of Agriculture*) para 2025, o comércio mundial deve aumentar em 22% para o grão de soja, 20% para o farelo e 30% para o óleo. O farelo é geralmente utilizado como alimento animal pelo seu alto teor de proteínas. Já o óleo é principalmente utilizado para consumo alimentar, porém, entre outros usos, atualmente é bastante difundido para a produção de biodiesel (LEE et al., 2016).

Os teores de óleo e proteína dos grãos de soja dependem de vários fatores abióticos e bióticos (SENTELHAS et al., 2015). Esta variação é determinada principalmente pelos fatores genéticos, de cada cultivar selecionada, porém com forte influência ambiental. Desta forma, é necessário levar em conta a cultivar que se pretende trabalhar e o manejo adequado da cultura, quando a produção final tem por objetivo o maior rendimento de óleo ou proteína (PÍPOLO et al., 2015; ASSEFA et al., 2019).

Entre os aspectos ambientais que podem afetar a composição de óleo e proteína dos grãos de soja estão a temperatura (SONG et al., 2016; MOURTZINIS et al., 2017), época de semeadura (BELLALOUÏ et al., 2015; MOURTZINIS et al., 2017), disponibilidade de nutrientes no solo (ASSEFA et al., 2019) e disponibilidade hídrica. No Brasil existem lacunas neste cenário que são ligadas diretamente ao déficit hídrico e ao manejo da cultura (SENTELHAS et al., 2015), isto também é reflexo da predominância de sistemas de cultivo sem irrigação no país (GONÇALVES et al., 2018).

Estudos mostram que o déficit hídrico na cultura da soja pode reduzir os teores de óleo e aumentar os teores de proteína do grão (GHASSEMI-GOLEZANI; FARSHBAF-JAFARI, 2012; EL-MOHSEN; MAHMOUD; SAFINA, 2013; KRISHNAN et al., 2014; CANDOGAN; YAZGAN, 2016; MERTZ-HENNING et al., 2018; NAGY; PEPÓ, 2019). Diferentemente desses estudos, Wijewardana, Reddy e Bellaloui (2019) afirmam que houve um aumento no teor de óleo e redução no conteúdo de proteína de duas cultivares de soja, quando submetidas a déficit hídrico durante os estádios de reprodução.

As mudanças biológicas e de mercado afetam a produtividade e os custos de produção (DALCHIAVON et al., 2019), podendo resultar em oscilações na lucratividade, quando estes dependem de aspectos como clima, manejo, utilização de tecnologias e sistemas de irrigação.

Para Sharma (2016) o crescimento potencial da produção agrícola pode ser alcançado, desde que o acréscimo sustentável da lucratividade, alimentado por um aumento da produtividade, ultrapasse o custo de produção. Para que uma produção eficiente seja alcançada, sabendo-se que a cultura da soja tem uma ampla distribuição geográfica, é de grande importância a compreensão do impacto dos fatores ambientais no rendimento e na qualidade dos grãos sob diferentes condições climáticas (MERTZ-HENNING et al., 2018) principalmente de disponibilidade hídrica.

A irrigação é uma alternativa para suprir as demandas hídricas da soja, sendo de fundamental importância tanto para o incremento de produtividade quanto para possivelmente influenciar na qualidade do grão e determinar a viabilidade da implantação desses sistemas. Se tratando de um empreendimento que requer investimentos representativos, os riscos desta aquisição devem ser analisados (SILVA; FARIAS; REIS, 2003), pois com a introdução de sistemas de irrigação, há um aumento de custo, que deve ser superado com uma maior produção.

Desta forma, os sistemas de irrigação devem buscar maximizar a eficiência do uso da água e minimizar os custos operacionais e de investimento, de forma que a atividade se torne lucrativa e sustentável (OLIVEIRA et al., 2010). Com isso, as pesquisas de preços são um ativo para o produtor analisar itens que envolvam produção, custos e benefícios e tomada de decisões e, juntamente com dados de mercado, identificar riscos e oportunidades (DALCHIAVON et al., 2019).

Diante do exposto, se faz necessário estudos que explorem a viabilidade econômico-financeira da utilização de sistemas de irrigação que indiquem se estes investimentos darão o retorno financeiro almejado, satisfazendo as necessidades do sistema de produção e melhorando os rendimentos e a qualidade da cultura da soja.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar a viabilidade técnica e econômico-financeira para a produção de cultivares de soja, sob diferentes suplementações hídricas para a produção de óleo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Identificar a máxima eficiência técnica da produtividade de soja sob diferentes lâminas de irrigação;
- b) Quantificar os teores de óleo de três cultivares de soja sob a influência de diferentes lâminas de irrigação;
- c) Avaliar a produtividade da água e a produtividade econômica da água na produção de grãos e óleo de três cultivares de soja;
- d) Quantificar os custos de um sistema de irrigação por aspersão convencional;
- e) Quantificar os custos de produção da cultura da soja;
- f) Determinar a viabilidade econômico-financeira da irrigação suplementar na cultura da soja para fins de produção de óleo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica acerca dos principais aspectos da cultura da soja, assim como a importância da irrigação para a cultura. Abordando também os temas de extração de óleo de soja. E por fim foram explorados os conceitos sobre custos, retornos financeiros e viabilidade econômico-financeira dos sistemas de irrigação.

3.1 SOJA

3.1.1 Cultura da soja

Pertencente ao reino *Plantae*, divisão *Magnoliophyta*, classe *Magnoliopsida*, ordem *Fabales*, família *Fabaceae*, subfamília *Faboideae*, gênero *Glycine*, espécie *Glycine max* e forma cultivada denominada *Glycine max* (L.) Merrill (SEDIYAMA, 2009), a soja foi introduzida no Brasil a partir de 1882 de forma experimental, porém só em 1950 a cultura começou a obter importância na região sul do país, onde melhor se adaptou (REIFSCHNEIDER et al., 2010).

Quanto as características da cultura da soja, pode-se citar o caule híspido pouco ramificado e a raiz com eixo principal e muitas ramificações. As folhas são trifolioladas (exceto o primeiro par de folhas simples, no nó acima do nó cotiledonar). Têm flores de fecundação autógama de cor branca, roxa ou intermediária (NEPOMUCENO; FARIAS; NEUMAIER, 2008). Segundo os autores, a cultura apresenta legumes levemente arqueados, podendo conter de uma a cinco sementes lisas, elípticas ou globosas, de tegumento amarelo pálido, com hilo preto, marrom ou amarelo-palha. O crescimento pode ser indeterminado, determinado ou semideterminado. As cultivares brasileiras são classificadas em grupos de maturação, com base no seu ciclo, variando conforme a região.

Atualmente a soja é cultivada em todas as regiões brasileiras sendo considerada o carro-chefe da agricultura no Brasil que é o maior produtor do grão no mundo, com uma área plantada de 38,5 milhões de hectares e uma produção de 135,4 milhões de toneladas (CONAB, 2021). Além disso, o Brasil é o maior exportador mundial de soja, em 2020 exportou aproximadamente 83 milhões de toneladas métricas de soja, 12% a mais que o total de 74,1 milhões de toneladas de 2019 (SALIN, 2021).

O Rio Grande do Sul é o terceiro estado com maior produção de soja do país, ficando atrás dos estados de Mato Grosso e Paraná, seguidos de Goiás e Mato Grosso do Sul. Na safra

2020/21 o Rio Grande do Sul produziu 20,1 milhões de toneladas de soja em uma área plantada de 6 milhões de hectares chegando a uma produtividade de 3.330 kg.ha⁻¹ (CONAB, 2021).

3.1.2 Cultivares de soja

O sucesso da produção de soja, na maioria das regiões brasileiras, se deve ao melhoramento genético, com a criação de novas cultivares adaptadas a diversas condições edafoclimáticas (MACHADO et al., 2017). Segundo Silva et al. (2016), a utilização de cultivares com alta adaptação e estabilidade pode minimizar o efeito a interação genótipo-ambiente, porém, para os programas de melhoramento, essa interação é uma das maiores dificuldades no momento de seleção e recomendação de cultivares.

A preocupação dos programas de melhoramento sempre foi a criação de sementes de alto rendimento, e pouco eram explorados os teores de óleo e proteína do grão (PELUZIO et al., 2012). Jin et al. (2010) ao estudarem 45 cultivares de soja, lançadas entre os anos de 1950 e 2006, constataram que durante esses anos não houve melhoria significativa nas características de teor de óleo e proteína dessas cultivares, diferentemente do rendimento de grãos que ao passar dos anos foram sendo criadas cultivares com alto potencial de rendimento para ambientes distintos.

O aumento da preocupação na obtenção de grãos com altos teores de óleo e proteína, faz com que os programas de melhoramento busquem obter cultivares que, associadas a essas características, apresentem bom rendimento de grãos, porém, as correlações negativas entre os teores de óleo, proteína e rendimento de grãos têm dificultado este progresso (MINUZZI et al., 2009).

Segundo He et al. (2017) foram realizados muitos estudos com o intuito de melhorar a rentabilidade da cultura da soja em condições de baixa disponibilidade hídrica, mas apesar do aprimoramento da cultura através da criação e seleção tradicional ainda é necessário amplo estudo das bases fisiológicas para obtenção de respostas quanto a este fator. A irrigação ainda é decisiva para a cultura da soja, em algumas regiões, independente da cultivar, pois contribui para que se obtenham melhores resultados de rendimento, associada aos fatores genótipo e ambiente.

3.1.3 Fatores que interferem no rendimento e qualidade de soja

Por ser cultivada em uma ampla área, tem-se a ideia de que a soja é altamente adaptável a diferentes ambientes e climas, porém essa adaptabilidade pode não ser suficiente sob a influência da mudança climática. Em geral, a soja pode sobreviver em uma ampla faixa de temperaturas que variam de 10°C a 40°C, dependendo do genótipo (LI et al., 2017). Além disso, altas temperaturas associadas ao estresse hídrico, principalmente na fase reprodutiva da cultura, podem acarretar perdas severas na produtividade da cultura (JUMRANI; BHATIA, 2018).

Segundo Hu e Wiatrak (2012), a época de semeadura é outro aspecto que afeta a produtividade de soja e, acarreta também em variações no conteúdo de óleo e proteína dos grãos. A semeadura tardia pode diminuir germinação das sementes, a função das raízes, a taxa de crescimento das culturas, a altura das plantas, a duração dos estágios de crescimento, a eficiência do uso de radiação, o índice de área foliar, índice de vegetação por diferença normalizada e, conseqüentemente, o rendimento de grãos de soja. O conteúdo de óleo e proteína também são influenciados pelas semeaduras precoce ou tardia, fora do período recomendado, porém as alterações variam conforme o local de cultivo.

O manejo dos nutrientes é outro fator que pode ser limitante para o rendimento da cultura da soja (SEDIYAMA, 2009). Influencia na composição química dos grãos, assim como os aspectos de manejo de cultura como o plantio direto, o tratamento de sementes, as aplicações de fungicidas e inseticidas e a rotação de culturas (ASSEFA et al., 2019). Segundo Sentelhas et al. (2015), a redução das lacunas de produção de soja no Brasil, podem ser reduzidas a partir de soluções como a adoção da irrigação, a rotação de culturas e a agricultura de precisão.

O déficit hídrico afeta negativamente o rendimento de soja, e o conteúdo de óleo do grão pode ter uma relação positiva (NAVABPOUR; HEZARJARIBI; MAZANDARANI, 2017; MERTZ-HENNING et al., 2018) ou negativa com esta produtividade (WIJEWARDANA; REDDY; BELLALLOUI, 2019).

A disponibilidade hídrica ainda é um dos principais aspectos que podem prejudicar a produtividade da soja e ainda alterar os teores de óleo e proteína do grão. O manejo da irrigação e as diferenças entre cultivares têm influência significativa na produção e na composição de grãos (BELLALLOUI; MENGISTU, 2008) Segundo os autores cada cultivar pode responder de modo diferente a irrigação quanto ao acúmulo de óleo e proteína em sua composição.

Os aspectos ambientais e de manejo da cultura estão diretamente ligados à produção de óleo e proteína da soja. A viabilidade econômica na produção desta cultura é determinada pela utilização comercial da proteína e do óleo, que representam cerca de dois terços e um terço do valor econômico da colheita, respectivamente (SALAM; KAMRUZZAMAN, 2015).

3.1.4 Extração do óleo de soja

Os grãos de soja após serem processados dão origem a dois produtos primários que são o farelo e o óleo. De acordo com Sediya (2009), a maioria das cultivares de soja apresentam, em média 37% e 42% de proteínas, podendo alcançar até 52%, e o teor de óleo entre 17% e 22%, podendo alcançar até 28%. Sendo utilizada para diversos fins, tanto para alimentação humana e na produção de ração para animais, como para vários produtos industriais e matéria-prima para agroindústrias (ALI, 2010).

O farelo de soja em quase sua totalidade é destinado a produção de rações, para um dos principais segmentos do agronegócio mundial, o mercado de carnes (ESPÍNDOLA; CUNHA, 2015). O óleo de soja também tem importância para a indústria, seja para a produção de óleo vegetal para alimentação humana ou para a produção do biodiesel onde, no país, 42,5% do óleo de soja que é produzido destina-se para este fim (CONTINI et al., 2018).

O óleo vegetal é uma das matérias-primas renováveis mais amplamente utilizadas na produção de alimentos, rações, biocombustíveis e produtos químicos. Para sua extração geralmente são utilizados dois processos, a prensagem mecânica e a extração por solvente. Esses processos podem ser realizados separadamente ou de forma mista, primeiramente utilizando-se a prensagem mecânica e após a extração por solvente (BENTO et al., 2017).

Para a extração do óleo dos grãos, é realizado uma série de processos para que eles sejam preparados. Estes processos consistem na secagem dos grãos, limpeza, redução de tamanho, remoção de casca, aquecimento/secagem (condicionamento ou cozimento), descamação e extrusão (KEMPER, 2020).

A prensagem mecânica é normalmente utilizada na produção a nível de fazenda ou em operações de pequena escala, já em grandes instalações de processamento de óleo é utilizada a extração por solventes (CHENG; DIENB; SINGH, 2019). Visto que a extração mecânica apresenta uma porcentagem de rendimento de óleo menor, comparada a extração por solventes.

A extração de óleo com solvente é realizada em um equipamento chamado extrator, preferencialmente de forma contínua, do qual saem duas correntes importantes bem distintas. Uma é denominada de micela e a outra é denominada de torta. A micela é uma mistura líquida composta de óleo e solvente cujo teor de óleo está na faixa de 24% a 30% em massa e a torta que é uma mistura de farelo, solvente, água e uma pequena quantidade de óleo (BAIÃO et al., 2017).

Para o processo de extração, os grãos previamente preparados são inseridos no extrator, e transportados durante um período de 30 a 120 minutos (depende do material oleaginoso).

Durante o transporte, a micela é lavada através do leito de material para extrair o óleo vegetal. Após quatro a oito lavagens da micela, o material é lavado mais uma vez com solvente fresco e finaliza-se o processo de extração. Por fim, o material passa por uma drenagem por gravidade para reduzir a retenção de solvente (KEMPER, 2020).

O solvente, geralmente utilizado para a extração de óleo vegetal é o hexano, pois devido a suas características satisfaz uma série de exigências de um solvente apropriado, dissolvendo com facilidade o óleo, sem agir sobre outros componentes dos grãos, apresenta composição homogênea e estreita faixa de temperatura de ebulição, é imiscível em água e tem baixo calor latente de ebulição. Porém apresenta alta inflamabilidade e alto custo de aquisição (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

3.2 IRRIGAÇÃO E DÉFICIT HÍDRICO NA CULTURA DA SOJA

A irrigação objetiva a disponibilização de água no solo, suficiente para atender aos requisitos de transpiração ditados pelo clima local, quantidade de cobertura vegetal e estágio de crescimento das culturas (PERRY et al., 2009). A falta de umidade adequada no solo é uma das principais restrições ao rendimento das culturas (KRISHNAN et al., 2014).

A suplementação hídrica da cultura pela irrigação proporciona o aproveitamento da água da chuva resultando em uma produção efetiva, de modo que garante o aporte de água, principalmente, nos momentos mais críticos do ciclo da cultura (TESTEZLAF, 2011).

Segundo Gajić et al. (2018) a irrigação suplementar é muito importante para a obtenção de um alto rendimento ao longo dos anos, pois apesar de ocorrerem ciclos em que a precipitação supre as necessidades da cultura, acontecerão outros em que ela não será suficiente, podendo ocasionar grandes perdas na produtividade. Para Montoya et al. (2017) fornecer 75% da necessidade da cultura da soja entre os estádios R1 a R8 é a estratégia que melhor maximizou a produtividade de grãos, com ocorrência de precipitação durante o estágio vegetativo.

Sentelhas et al. (2015) consideram que um dos fatores essenciais, para preencher as lacunas de produtividade da soja, seja a utilização da irrigação nas fases críticas da cultura e em anos com baixo volume de precipitação.

Para o correto manejo da irrigação, é necessário o conhecimento do consumo hídrico, a fim de evitar tanto o excesso quanto o déficit hídrico nas culturas. Segundo Perry et al. (2009), quando submetidas ao déficit hídrico as culturas respondem primeiro reduzindo o crescimento do dossel e depois fechando os estômatos, o que reduz a transpiração, assimilação de carbono, produção de biomassa e resulta em rendimento abaixo do potencial.

Ocorrendo déficit hídrico ao longo do ciclo da cultura, diferentes processos fisiológicos, bioquímicos e de desenvolvimento que sustentam a formação de rendimento, são afetados (DU et al., 2015). Por isso, a disponibilidade de água é importante para a cultura da soja principalmente nos períodos de germinação-emergência e floração-enchimento de grãos (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007).

Farias et al. (2007) relatam que durante o período de germinação e emergência, tanto o excesso quanto o déficit hídrico são prejudiciais para o estabelecimento da cultura e para uma boa uniformidade na população de plantas, neste momento a planta necessita de pelo menos 50% do seu peso em água para garantir uma boa germinação, porém o conteúdo de água no solo não deve exceder a 85% do máximo disponível não podendo também ser inferior a 50%.

No período de floração e enchimento de grãos, a disponibilidade hídrica se torna fundamental para a cultura da soja pois, conforme estudos já realizados, o rendimento da cultura sofre grande impacto quando ocorre um déficit hídrico nestes momentos (GAVA et al., 2016; MERTZ-HENNING et al., 2018). Quanto ao rendimento de óleo nos grãos de soja, Krishnan et al. (2014) relatam que este teor é significativamente menor em tratamentos de soja submetidos a deficiência hídrica.

De Lima et al. (2017) ao avaliarem a produtividade de duas cultivares soja e os teores de óleo e proteína do grão de soja sob déficit hídrico em duas épocas de semeadura observaram que o déficit hídrico nos diferentes estádios fenológicos da cultura não resultou em diferença significativa nos teores de óleo do grão, porém, o déficit hídrico no período de enchimento de grãos e floração causou perdas na produtividade e no rendimento de óleo.

Por outro lado, Wijewardana, Reddy e Bellaloui (2019) observaram durante seus estudos com duas cultivares de soja que o rendimento de grãos e o teor de proteína reduziram, enquanto o teor de óleo aumentou conforme diminuíram as lâminas de irrigação, independente da cultivar avaliada. Como cultivares diferentes podem apresentar comportamentos distintos frente ao local de estudo e as diferentes estratégias de irrigação, é fundamental a avaliação e determinação de rendimento de grãos e conteúdo de óleo.

3.3 PRODUTIVIDADE DA ÁGUA E PRODUTIVIDADE ECONÔMICA DA ÁGUA

A produtividade da água é um indicador útil para quantificar o impacto das decisões de programação da irrigação no que diz respeito à gestão da água. Na agricultura, é cada vez maior o interesse em produzir mais com menos água porque é um fator limitante em muitas partes do mundo (ALI; TALUKDER, 2008). A relação entre a produção agrícola e o consumo de água é

influenciada pelas culturas, o meio no qual se encontram e as diversas práticas de manejo (MACEDO et al., 2020).

Produtividade da água é definida com a razão entre a quantidade de produto e a quantidade de água usada para que essa produção seja atingida, exprimindo-se em kg m^{-3} . Pode ser considerada a totalidade de água usada pela cultura apenas com a irrigação. Produtividade econômica da água é a razão entre o rendimento do produto e a quantidade de água utilizada para sua produção (PEREIRA, 2007). Que permite mensurar o incremento produtivo e o retorno econômico, gerados em função do uso da água no sistema de produção (PEREIRA et al., 2012).

Segundo Brito et al. (2012) o aumento da produtividade de água está relacionado a vários fatores, como qualidade do material genético, práticas adequadas de manejo de água, práticas agronômicas e políticas de incentivo à produção.

Entre as técnicas comprovadas mais promissoras e eficientes, para melhorar a produtividade da água e a gestão de recursos hídricos escassos, está a irrigação suplementar limitada para otimizar o uso da água limitada. Melhorar a produtividade da água das culturas, no entanto, requer explorar não apenas o manejo da água, mas também outros insumos, como cultivares melhoradas, manejo da fertilidade e práticas culturais que influenciam o rendimento (ALI; TALUKDER, 2008).

3.4 VIABILIDADE ECONÔMICA DA IRRIGAÇÃO

3.4.1 Custos de produção e irrigação

A eficiência no manejo da irrigação tem elevada importância, pois o uso inadequado da irrigação acarreta elevação dos custos de produção, à medida que deprecia mais rapidamente os equipamentos e aumenta os custos de utilização de água, energia, entre outros (LUENENBERG et al., 2009).

A utilização de quantidades excessivas de água na irrigação afim de garantir um rendimento máximo, resulta na maioria das vezes em baixa eficiência do uso da água e retorno econômico (ZHANG et al., 2017). Por isso é necessário o conhecimento dos requerimentos hídricos das culturas para otimizar o uso da irrigação e evitar possíveis perdas econômicas.

Para determinar os padrões economicamente ótimos de culturas e aplicação de água para irrigação, estudos relacionam o custo da irrigação aos benefícios derivados do aumento da produtividade do cultivo, entre os possíveis fatores subsequentes (KUO; LIU, 2003; TORRES et al., 2019; KIRCHNER et al., 2019).

Segundo Dalchiavon et al. (2019) a pesquisa de custos é um ativo para o produtor analisar itens que envolvam produção, custos e benefícios e tomada de decisões e, juntamente com dados de mercado, identificar riscos e oportunidades. Uma das premissas mais importantes é ter uma posição clara em relação à implementação da irrigação, seja como investimento, seguro ou usos tecnológicos.

Desta maneira, é importante conhecer o grau de risco envolvido na aquisição destes sistemas, uma vez que estes são decorrentes de incertezas econômicas proporcionadas pela variação do preço de venda do produto, taxa de juros, custos da água, vida útil do sistema de irrigação e taxa de manutenção ocorrida com o manejo do sistema de irrigação, bem como variação na produtividade ao longo dos anos (OLIVEIRA et al., 2010).

Deve-se levar em conta que a implementação de um sistema de irrigação é onerosa portanto, é sempre importante que sejam devidamente analisados a fim de que justifique seu uso e que não ultrapasse o valor do produto (FRIZZONE; ANDRADE JUNIOR, 2005). Os autores também afirmam que a avaliação econômica deve ter como base a comparação entre os benefícios e os custos totais, sendo que deve ser considerado todos os custos para materializar e os que ocorrem durante a execução do projeto, como operação, manutenção, reposição e custos financeiros, e além disso quanto aos benefícios diretos e indiretos.

A soma dos custos totais de produção é dividida em duas classificações, que são os custos fixos e os custos variáveis. Segundo Conab (2010) os fixos são custos de depreciação de equipamentos, a remuneração sobre o capital próprio não depreciado, seguros, taxas e impostos, mão de obra fixa, remuneração de terra, assim como a aquisição do sistema de irrigação. Os custos variáveis são relacionados a maquinários, implementos e utensílios, manutenção de benfeitorias, mão de obra temporária, insumos, despesas gerais, transporte externo, armazenagem, encargos financeiros. Também estão incluídos nos custos variáveis, os gastos com energia.

3.4.2 Indicadores de retorno econômico

A análise de viabilidade dos investimentos, geralmente é realizada com base em indicadores financeiros que auxiliam na tomada de decisões no momento das aquisições. Os indicadores mais utilizados são o valor presente líquido, a taxa interna de retorno, a relação benefício/custo e o *payback* (PEREIRA et al., 2015).

O valor presente líquido traz os benefícios e os custos ao presente, ou seja, busca os fluxos de caixa esperados durante a vida útil do projeto para o tempo zero a uma taxa de juros

que representa o mínimo retorno para o capital (CASTRO JÚNIOR et al., 2015). A viabilidade econômica do projeto analisado pelo valor presente líquido é indicada pela diferença positiva entre receitas e custos, atualizados de acordo com determinada taxa de desconto. Quanto maior o valor presente líquido, mais atrativo é o investimento, caso seja um valor negativo, é economicamente inviável (REZENDE; OLIVEIRA, 2013).

A taxa interna de retorno de um investimento é o valor da taxa de desconto que torna nulo o valor presente líquido, é onde a soma dos benefícios se torna igual à soma dos custos, pois o valor presente líquido é a soma algébrica, no instante zero, dos benefícios e dos custos (CASTRO JÚNIOR et al., 2015). Podendo caracterizar deste modo, a taxa de remuneração do capital investido, sendo responsável por igualar o retorno do investimento durante o tempo de análise do empreendimento com os custos do mesmo (ALMEIDA et al., 2018).

Quando se avalia um critério com base na taxa interna de retorno, sua aceitação, no intuito de ser economicamente desejável ocorrerá se a sua taxa interna de retorno for superior a uma dada taxa de juros, como a taxa Selic que representa os juros básicos da economia brasileira e influencia diretamente todas as taxas de juros praticadas no país. Já a relação benefício/custo indica se os benefícios são maiores que os custos totais de produção (FRIZZONE; ANDRADE JUNIOR, 2005), se a resposta dessa relação é maior que um, o investimento é economicamente viável e conforme aumenta esse valor maiores foram as receitas e mais baixos os custos.

O *payback* consiste no período de recuperação do capital investido, ou seja, o prazo necessário para que o valor atual dos reembolsos se iguale ao desembolso que foi realizado com o investimento efetuado. Apesar de ser um indicador simples é um dos mais usados para verificar valor econômico de um projeto. Além de outros indicadores de viabilidade deve-se utilizar o *payback*, pois medirá, com base no fluxo de caixa do projeto, em quanto tempo o capital investido retornará, na forma de rendimento, ao investidor (REBELATTO, 2004).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os materiais e métodos utilizados para a realização do estudo. Apresentando os métodos que foram utilizados para a realização dos experimentos de campo e extração do óleo vegetal. E por fim os procedimentos para os cálculos de viabilidade econômica do sistema de irrigação.

4.1 LOCALIZAÇÃO E CLIMA DA REGIÃO

O trabalho foi conduzido nas safras 2017/2018 e 2018/2019, em área experimental, pertencente ao Colégio Politécnico da UFSM, localizada em Santa Maria – RS. As coordenadas da área experimental são 29°42'55.7"S 53°44'21.4"O e altitude de 120 m.

Pela classificação de Köppen-Geiger, o clima da região é tipo Cfa (clima subtropical úmido), com estações do ano bem definidas (Alvares et al., 2013). Segundo o INMET, a precipitação média anual da região é de 1450 a 1650 mm com uma temperatura média de 18-20°C.

4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA E QUÍMICA DO SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Foram realizadas análises química e físico-hídrica do solo da área experimental. A coleta de amostras de solo para análise química foi realizada conforme Arruda, Moreira e Pereira (2014), e posteriormente encaminhadas ao Laboratório de Análises de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), onde foram determinadas as necessidades de macro e micronutrientes do solo.

A análise química do solo apresentou os seguintes resultados: pH de 5,6, 8,1 cmolc dm⁻³ de Ca, 3,3 cmolc dm⁻³ de Mg, 0,0 cmolc dm⁻³ de Al, CEC efetivo de 11,7 cmolc dm⁻³, CEC em pH7 de 15,2 cmolc dm⁻³, saturação por bases de 77%, índice SMP de 6,2, 2,3% de matéria orgânica, 28% de argila, 9,7 mg dm⁻³ de P (Mehlich) e 96 mg dm⁻³ de K (Mehlich). A adubação foi realizada na quantidade recomendada após análise química, conforme o Manual de Adubação e Calagem para o RS e SC (2016).

As análises físico-hídricas do solo foram realizadas no Laboratório de Física do Solo, do Departamento de Solos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Na área experimental foram coletadas amostras deformadas para a determinação da textura do solo e

amostras indeformadas para determinação da densidade do solo, capacidade de campo e ponto de murcha permanente. A velocidade de infiltração básica foi determinada pelo método do infiltrômetro de duplo anel (Tabela 1).

Tabela 1 – Características físicas de densidade do solo (Ds), capacidade de campo (Cc), ponto de murcha permanente (PMP), velocidade de infiltração básica (VIB) e textura do solo

Profundidade do Solo (m)	Ds (g cm ⁻³)	Cc (m ³ m ⁻³)	PMP (m ³ m ⁻³)	VIB (mm h ⁻¹)	Textura do Solo
0-0,2	1,42	0,31	0,14		Franco
0,2-0,4	1,38	0,34	0,17	15	Franco argiloso
0,4-0,6	1,36	0,37	0,23		Argiloso

4.3 OBTENÇÃO DE DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados meteorológicos para o local do experimento foram obtidos através da estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na Universidade Federal de Santa Maria, a aproximadamente 2 km do local do experimento. Os dados coletados diariamente foram: precipitação pluvial (mm), temperaturas máxima e mínima (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento (m s⁻¹) e radiação solar (kJ m⁻²).

4.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E MATERIAL VEGETAL

As sementes foram realizadas nos dias 14/12/2017 e 23/11/2018. O delineamento experimental foi um bifatorial em blocos ao acaso, com o primeiro fator de 5 lâminas de irrigação mais a testemunha não irrigada (0, 25, 50, 75, 100 e 125% da evapotranspiração de referência, ET_o).

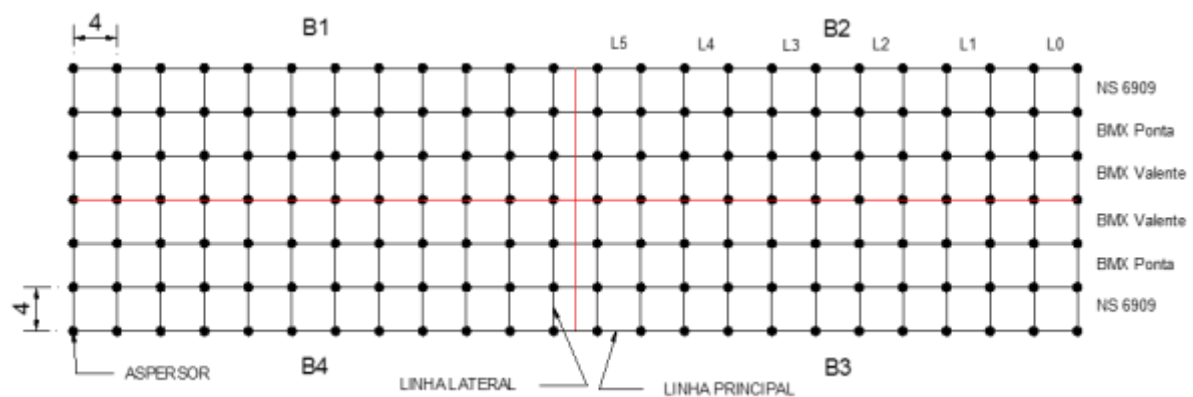
O segundo fator foram 3 cultivares de soja (*Glycine max L.*), NS 6909 PRO RR, BRASMAX Ponta IPRO 7166 RSF e BRASMAX Valente RR 6968 RSF. As cultivares apresentam ciclo médio de 140 dias. Trinta dias antes da sementeira, foi aplicado o herbicida glifosato na dose de 3 L ha⁻¹. A adubação foi realizada na sementeira, aplicando-se 380 kg ha⁻¹

na formulação comercial 5-20-20, de nitrogênio (N), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O). A densidade de semeadura foi de 300 mil plantas por hectare.

Foram realizadas duas aplicações de fungicida ($0,5 \text{ L ha}^{-1}$), de forma preventiva, os ingredientes ativos bixafeno (125 g L^{-1}), trifloxistrobina (150 g L^{-1}) e protioconazol (175 g L^{-1}). Também foram realizadas duas aplicações de inseticida ($0,75 \text{ L ha}^{-1}$), imidaclopride (100 g L^{-1}) e beta-ciflutrina ($12,5 \text{ g L}^{-1}$).

A Figura 1 apresenta o croqui da área experimental com as lâminas de irrigação e as diferentes cultivares avaliadas neste estudo.

Figura 1 – Croqui da área experimental



B = bloco

4.5 MANEJO DA IRRIGAÇÃO

O sistema de irrigação utilizado foi de aspersão convencional em formato fixo, sendo constituído de uma linha principal de 100 metros e 24 linhas laterais de 32 metros. Os espaçamentos entre as linhas laterais foram de 4 metros. Os aspersores (marca Agrojet, modelo P5) foram distribuídos nas linhas laterais com um espaçamento de 4 metros e instalados sobre uma elevação de 1,5 metros de altura.

Para verificar a uniformidade de aplicação de irrigação do sistema e calibrar a taxa de aplicação da irrigação do sistema (mm.h^{-1}) foi realizado o teste de Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC). A uniformidade de aplicação de irrigação foi de 82% e a taxa de aplicação do sistema foi de $11,5 \text{ mm.h}^{-1}$.

O momento de aplicação da irrigação foi com turno de rega fixo de 7 dias entre as irrigações quando não ocorreu precipitação que suprisse a demanda hídrica da cultura. O

manejo de irrigação da cultura foi realizado com base na evapotranspiração de referência (ET_0), calculada pela equação de Penman-Monteith-FAO (ALLEN et al., 1998).

A necessidade de irrigação foi determinada pela equação 1, como segue abaixo:

$$NI = ET_0 - P_{ef} \quad (1)$$

onde NI é necessidade de irrigação (mm), ET_0 é a evapotranspiração de referência do período de sete dias (mm) e P_{ef} é a precipitação efetiva (mm).

A precipitação efetiva foi determinada conforme Millar (1978), que considera os parâmetros de classe textural do solo, declividade da área (%) e cobertura vegetal.

As lâminas de irrigação foram aplicadas conforme o tempo de irrigação, conforme equação 2:

$$TI = \frac{L_n}{L_R U_a} 100 \quad (2)$$

onde TI é o tempo de Irrigação (h), L_n é a lâmina necessária (mm), L_R é a lâmina de referência (mm h^{-1}) e U_a é a uniformidade de aplicação (%).

4.6 AVALIAÇÕES DE PRODUTIVIDADE DA CULTURA

Produtividade de grãos (kg ha^{-1}): para a determinação da produtividade, foram coletadas plantas de uma área útil de $4,5 \text{ m}^2$ de cada parcela. Os grãos foram trilhados em trilha mecânica, posteriormente pesados e a umidade corrigida para 13%.

Conteúdo de óleo: a extração do óleo de soja foi realizada no Laboratório de Bromatologia do Instituto Federal Farroupilha – Campus Alegrete, para este processo foi utilizado solvente hexano em um extrator Soxhlet, segundo o procedimento descrito nas Normas Analíticas do Instituto ADOLFO LUTZ (1985). Os grãos foram triturados usando um liquidificador, em seguida pesadas 5 g da amostra em papel filtro e transferidas para o cartucho do aparelho extrator tipo Soxhlet.

O balão de fundo chato foi acoplado ao extrator, sendo adicionados 200 ml de hexano. A chapa aquecedora foi ligada a uma temperatura constante e a extração foi realizada de forma

contínua por 6 horas. Foram retirados os cartuchos, após a recuperação do solvente e os balões com o óleo extraído foram colocados em uma estufa a 105 °C, mantidos por cerca de uma hora. Após este período, os balões foram retirados da estufa e colocados para resfriar em dessecador até atingirem a temperatura ambiente, em seguida foram pesados e colocados na estufa até o peso constante. O cálculo da porcentagem de óleo em 5 g de amostra de soja foi realizado através da equação 3:

$$\left(\frac{M_{\text{balão+óleo}} - M_{\text{balão}}}{M_{\text{amostra}}}\right) * 100 = \text{óleo (\%)} \quad (3)$$

onde $M_{\text{balão}}$ é a massa do balão seco em estufa (g), $M_{\text{balão+óleo}}$ é a massa do balão mais o óleo extraído da amostra (gr) e M_{amostra} é a massa da amostra de grãos de soja (5 gramas).

Produtividade da água: foi determinada a produtividade da água pela relação entre a produção de grãos (kg) e o consumo hídrico da cultura (m^3).

Produtividade econômica da água: a partir dos dados de produção e preços de grão e óleo da soja e irrigação aplicada a cultura foi calculada a produtividade econômica da água conforme Equação 4 (ADEBOYE et al., 2015):

$$PAE = \frac{Y_o P_P}{I_A} \quad (4)$$

onde PAE é a produtividade econômica da água ($\text{R\$ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), Y_o é a produção de óleo de soja (kg ha^{-1}), P_P é o preço do óleo de soja ($\text{R\$ kg}^{-1}$) e I_a é a quantidade de irrigação aplicada (mm).

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a nível de 5% de probabilidade de erro com auxílio do programa Sisvar 5.6. Como não houve interação entre os fatores foi realizada comparação de médias pelo teste de Tukey para os dados qualitativos (cultivares de soja), e análise de regressão para os dados quantitativos (lâminas de irrigação). A análise de regressão foi realizada com o auxílio do software SigmaPlot 11.0.

4.7 VIABILIDADE ECONÔMICA

4.7.1 Custos

Foi realizado o levantamento dos custos de todo sistema produtivo e divididos em: custos fixos não relacionados à irrigação (CFNRI), custos fixos relacionados à irrigação (CFRI) e custos variáveis relacionados à irrigação (CVRI), segundo CONAB (2010).

Os custos fixos não relacionados à irrigação, foram os valores referentes ao adubo, sementes, mão de obra, hora-máquina, aquisição e aplicação de defensivos, entre outros materiais necessários à produção, todos estes custos foram ajustados para R\$ ha⁻¹.

Os custos fixos relacionados à irrigação foram determinados com base em um sistema de irrigação padrão adaptado de Torres et al. (2019), com a finalidade de obter os custos de aquisição, instalação e manutenção do sistema. O sistema de irrigação possui um espaçamento entre linhas 24 m, uma área irrigada de 1,84 ha e a potência calculada do conjunto motobomba foi de 15 cv. O valor de aquisição do sistema foi diluído ao longo de sua vida útil, mantendo o valor independente do sistema ser acionado ou não. Foi considerada neste projeto, uma lâmina efetiva de 60% do raio de alcance para os aspersores das pontas do sistema de irrigação.

Para o cálculo dos custos fixos relacionados à irrigação (CFRI) foi utilizada a Equação 5, conforme CONAB (2010).

$$C_{FRI} = C_D + C_j + C_s \quad (5)$$

onde C_{FRI} é o custo fixo relacionado a irrigação (R\$.ha⁻¹), C_D é o custo com depreciação dos componentes do sistema (R\$.ha⁻¹), C_j é o custo com juros sobre o capital investido (R\$.ha⁻¹) e C_s é o custo com seguro dos componentes do sistema de irrigação (R\$.ha⁻¹).

O custo com depreciação do sistema de irrigação (CD) foi calculado conforme Equação 6. O valor de aquisição do componente novo foi R\$ 19.766,30 e foi considerado 20% deste valor para compor o valor residual do componente.

$$C_D = \left[\frac{VN - VR}{VU_H} \right] \cdot H_s T_R \quad (6)$$

onde C_D é a depreciação do componente do sistema (R\$), VN é o valor de aquisição do componente novo (R\$), VR é o valor residual do componente (R\$), VU_H é a vida útil do componente (h) e $H_s T_R$ é o total de horas trabalhadas por hectare.

Para o cálculo do custo com juros sobre o capital investido (Equação 7) foi adotada uma taxa de juros sobre o capital investido de 2,8% (taxa Selic março de 2021).

$$C_J = T_{AJ} \cdot VN \quad (7)$$

onde C_J é o juros sobre o capital investido (R\$), T_{AJ} é a taxa anual de juros (%) e V_{AE} é o valor de aquisição do componente novo (R\$).

O custo com seguro foi determinado como sendo 0,35% do valor médio do investimento (CONAB, 2010), conforme Equação 8.

$$S = \frac{VN}{2} \cdot 0,0035 \quad (8)$$

onde S é o custo com seguro (R\$) e VN é o valor de aquisição do componente novo (R\$).

Os custos variáveis relacionados a irrigação (CVRI) foram calculados através da Equação 9 (CONAB, 2010):

$$C_{VRI} = C_{VE} + C_{VMO} + C_{VMan} \quad (9)$$

onde C_{VRI} é o custo variável relacionado a irrigação (R\$), C_{VE} é o custo variável com energia elétrica (R\$), C_{VMO} é o custo com mão-de-obra empregada na irrigação (R\$), C_{VMan} é o custo com manutenção dos equipamentos (R\$).

Para o cálculo do custo variável da energia elétrica foi considerada a potência do conjunto motobomba e o tempo para aplicação da lâmina de irrigação, conforme Equação 10. A obtenção do custo da energia elétrica ($0,30 \text{ R\$ kW h}^{-1}$) foi realizada de acordo com o preço da energia praticado pela concessionária da região, considerando a tarifa verde (21 horas diárias de operação).

$$C_{VE} = P_W \cdot E_e \cdot T \cdot L \quad (10)$$

onde C_{VE} é o custo variável com energia elétrica (R\$), P_w é a potência do conjunto motobomba (kw h^{-1}), E_e é o preço da energia elétrica (R\$ KW h^{-1}), T é o tempo para aplicação de um milímetro de água (h mm^{-1}) e L é a lâmina de irrigação (mm ha^{-1}).

O custo da mão de obra foi determinado com o valor horário equivalente ao salário mínimo rural (CONAB, 2010) e calculado conforme a Equação 11. O salário mínimo rural considerado foi de R\$ 1500,00.

$$C_{VMO} = N_i \cdot N_s \cdot 0,5 \cdot \frac{V_{SMin}}{220} \quad (11)$$

onde C_{VMO} é o custo com mão de obra empregada na irrigação (R\$), N_i é o número de irrigações, N_s é o número de setores do sistema de irrigação e V_{SMin} é o valor do salário mínimo rural (R\$).

Os custos de manutenção foram calculados conforme a Equação 12, considerando os valores relativos a 1% do custo de aquisição do sistema de irrigação e 10% do valor gasto com energia.

$$C_{VMan} = VN \cdot 0,01 \cdot \frac{C_{VE}}{10} \quad (12)$$

onde C_{VMan} é o custo com manutenção dos equipamentos (R\$), VN é o valor de aquisição do componente novo (R\$ ha^{-1}), C_{VE} é o custo variável da energia elétrica.

4.7.2 Viabilidade do investimento

A viabilidade econômica foi determinada conforme Frizzone e Andrade Junior (2005), com os indicadores econômicos valor presente líquido (VPL), razão benefício/custo (B/C), taxa interna de retorno (TIR) e payback (PB), que foram calculados pelas Equações 13, 14 e 15, respectivamente.

$$VPL = \sum_{t=0}^N \frac{F_t}{(1+j)^t} \quad (13)$$

onde VPL é o valor presente líquido (R\$ ha⁻¹), j é a taxa mínima de atratividade (TMA), N é o horizonte do projeto (anos), t é o período do projeto (anos) e Ft é o fluxo de caixa líquido em cada ano (R\$ ha⁻¹).

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=0}^N B_k (1+j)^{-t}}{\sum_{t=0}^N C_k (1+j)^{-t}} \quad (14)$$

onde B/C é a razão benefício/custo, B são as receitas (R\$ ha⁻¹) e C são as despesas (R\$ ha⁻¹).

$$TIR = \sum_{j=0}^N \frac{F_t}{(1+TIR)^t} \quad (15)$$

onde TIR é a taxa interna de retorno, em decimal e j é a taxa mínima de atratividade (TMA), em decimal.

O cálculo do PB foi realizado de acordo com a razão do investimento inicial pelo fluxo de caixa médio do período (20 anos). Para a análise da viabilidade foram elaborados 72 cenários. Considerando três cultivares de soja, 6 lâminas de irrigação e quatro valores de comercialização do óleo bruto (R\$ 2,50, R\$ 4,50, R\$ 6,50 e R\$ 8,50 .kg⁻¹), levando em consideração que o valor médio nos últimos cinco anos foi de aproximadamente R\$ 4,00 .kg⁻¹. O custo de produção da tonelada de soja processada foi fixado em R\$ 31,36 .ton⁻¹ (POTRICH et al., 2020), considerando uma cotação do dólar de R\$ 5,38.

5 ARTIGO 1 – DIFFERENT WATER AVAILABILITY IN THE ECONOMIC WATER PRODUCTIVITY IN SOYBEAN CULTIVARS

Different water availability in the economic water productivity in soybean cultivars*

ABSTRACT

The present work aims to evaluate grain productivity, water productivity, and economic water productivity of three soybean cultivars under supplementary irrigation. Two experiments were conducted during the 2018 and 2019 harvests in Santa Maria/RS, Brazil. The experimental design consisted of a random bifactorial block design with six irrigation depths as the first factor and three soybean cultivars (*Glycine max* L.) as the second. The irrigation system used was the conventional fixed sprinkler, with a fixed irrigation shift of seven days. Crop productivity, water productivity, and economic water productivity were evaluated. The highest productivity was for 100% of ET_0 in both harvests. Maximum technical efficiency was obtained for depths of 73.03% (harvest 1) and 77.94% (harvest 2) of ET_0 . Both harvests presented higher water productivity and economic water productivity in the 50% and 25% ET_0 depths respectively. Productivity is increased with irrigation, and the economic water productivity is maximized with reduction of depth.

Keywords: irrigation; *Glycine max* L; water use efficiency; maximum technical efficiency.

*Artigo aceito para publicação na Revista CERES

INTRODUCTION

Soybean is the main crop in Brazil's production volume, reaching 124.8 million tons in the 2019/20 harvest with a planted area of 36.9 million hectares (CONAB, 2020). This crop has an important role in the production chain due to its many forms of use, including animal feed, oil, bran, and biodiesel.

Water deficit is the main source of the soybean productivity gap, becoming a significant concern for increasing Brazilian production in current and future climatic conditions (Battisti & Sentelhas, 2017). One of the leading causes for the oscillations in the pluviometric regime is the ENSO phenomenon (El Niño Southern Oscillation), which causes severe problems for Brazilian agriculture, such as floods and droughts, depending on its phase (El Niño or La Niña) (Nóia Júnior & Sentelhas, 2019).

When this pluviometric regime does not meet the crop's total demands, both quantitatively and temporally, it is necessary to use water supplementation as an alternative to seeking greater productivity (Gajić *et al.*, 2018). A major challenge still facing soybean producers is how much and when to irrigate. Therefore, the relationship between crop productivity and irrigation water applied in conjunction with knowledge of the region's pluviometric demands and crop deficits can efficiently answer these questions (Zhang *et al.*, 2018). According to Battisti *et al.* (2018), irrigation increases soybean productivity in different climatic scenarios.

However, many factors define the development, growth, and productive potential of the crop, being influenced by genetic (the type of growth, relative maturity group, and presence of the juvenile gene) and climatic factors (photoperiod, solar radiation, temperature, and water availability) and management (sowing time and soil physicochemical characteristics) (Pires *et al.*, 2005; Zanon *et al.*, 2016).

According to Ribeiro *et al.* (2017), crop productivity can vary widely depending on the cultivar chosen and the region of study. These authors also state that there is no difference in the soybean yield components for the sowing densities of 300 to 600 thousand plants per hectare. With a lack of answers when comparing soybean varieties according to water availability, it is important that restrictive factors, such as irrigation, field management, soil, and climate conditions, be considered in addition to selecting the best varieties in each year of cultivation (Araji *et al.*, 2018).

Montoya *et al.* (2017) report that supplementary irrigation in soybean crops provided an increase in grain productivity, maximizing yield and profit margin. Adeboye *et al.* (2015) found that irrigation with total water replacement showed a better response when evaluating the economic productivity of water in soybean crops submitted to water deficits at different development stages. Additionally, Tewelde (2019) reports the importance of obtaining economic water productivity to deduct the farmers' gains concerning water consumption. Thus, evaluating irrigation management and its increases in crop yield shows the importance of water productivity in the management of irrigated agriculture (Kirchner *et al.*, 2019).

Management alternatives aimed at higher yields, with correct management of water resources are essential for the soybean production chain. Therefore, the efficiency of water application per crop area makes production sustainable, economical and consequently more profitable.

Given the above, the present work aims to evaluate grain productivity, water productivity, and economic water productivity of three soybean cultivars under supplementary irrigation.

MATERIAL AND METHODS

The experiment was conducted during the 2018 (Harvest 1) and 2019 (Harvest 2) harvests in an experimental area belonging to the Colégio Politécnico da UFSM, located in Santa Maria-RS, Brazil. The experimental area coordinates are 29°42'55.7"S 53°44'21.4"W, and an altitude of 120 m. According to the Köppen-Geiger classification, the region's climate is type Cfa (humid subtropical climate), with well-defined seasons (Alvares *et al.*, 2013).

According to INMET, the average annual precipitation in the region ranges from 1450 to 1650 mm with an average temperature of 18-20 °C. In this region, the distribution of rainfall during the summer is usually irregular and may not be sufficient to meet the water needs in certain periods of the crop cycle (Nied *et al.*, 2005). The soil of the experimental area is classified as 'Argissolo Vermelho Distrófico Típico' (Santos *et al.*, 2018).

Chemical and physical soil analyzes were performed in the area. The collection of soil samples for chemical soil analysis was conducted according to Arruda *et al.* (2014). The samples were analyzed at the Soil Analysis Laboratory of the Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), where the macro and micronutrient soil requirements were determined.

Soil chemical analysis showed the following results: pH of 5.6, 8.1 cmol_c dm⁻³ of Ca, 3.3 cmol_c dm⁻³ of Mg, 0.0 cmol_c dm⁻³ of Al, effective CEC of 11.7 cmol_c dm⁻³, CEC at pH7 of 15.2 cmol_c dm⁻³, base saturation of 77%, SMP index of 6.2, 2.3% of organic matter, 28% of clay, 9.7 mg dm⁻³ of P (Mehlich) and 96 mg dm⁻³ of K (Mehlich).

Fertilization was performed after chemical analysis in the quantities recommended by the Comissão de Química e Fertilidade do Solo do RS/SC (2016). The

physical soil analyzes were performed at the Soil Analysis Laboratory of UFSM (Table 1).

The experiment site's meteorological data were obtained through the National Institute of Meteorology's automatic meteorological station, located at UFSM, situated approximately 2 km of the area. The data collected daily were maximum and minimum temperatures ($^{\circ}\text{C}$), relative humidity (%), wind speed (m s^{-1}), and solar radiation (kJ m^{-2}). Already the precipitation (mm) was collected in the experimental area using rain gauges.

Sowing for Harvests 1 and 2 was done on 12/14/2017 and 11/23/2018. The experimental design consisted of a random bifactorial block design, with four blocks, being six irrigation depths (L factor) and three soybean cultivars (*Glycine max* L., C factor), totaling 72 experimental units (UE). Each UE has dimensions of 4 x 4 m (16 m^2), this area was considered a useful area of 12.25 m^2 . Between each UE there was a space of 4 meters, so that in the application of irrigation there was no overlapping of depths.

Thirty days before sowing, the herbicide glyphosate was applied at a dose of 3 L ha^{-1} . The fertilization was carried out at sowing, applying 380 kg ha^{-1} in the commercial formulation 5-20-20, of Nitrogen (N), phosphorus (P_2O_5) and potassium (K_2O).

Two fungicide applications were carried out (0.5 L ha^{-1}), in a preventive manner, active ingredients bixafen (125 g L^{-1}), trifloxystrobin (150 g L^{-1}) and prothioconazole (175 g L^{-1}). Two applications of insecticide (0.75 L ha^{-1}), imidacloprid (100 g L^{-1}) and beta-cyfluthrin (12.5 g L^{-1}) were also carried out. The L factor was 0, 25, 50, 75, 100, and 125% of the reference evapotranspiration as the C factor and cultivars NS 6909 PRO RR, BRASMAX Ponta IPRO 7166 RSF, and BRASMAX Valente RR 6968 RSF. The three cultivars have an indeterminate growth habit and medium cycle.

A fixed conventional sprinkler irrigation system was used for the irrigation management, consisting of the mainline of 92 meters and 24 lateral lines of 24 meters. The spacing between the lateral lines was 4 m. The sprinklers Agrojet, P5 model, were distributed on the lateral lines with a 4 m spacing and installed on an elevation of 1.5 m in height (Figure 1).

Christiansen's Uniformity Coefficient test (CUC) was used to verify the irrigation uniformity and calibrate the system's irrigation rate (mm h^{-1}). The irrigation uniformity was 82%, and the system's application rate was 11.5 mm h^{-1} .

Irrigation was conducted with a fixed shift of seven days between irrigations when there was no precipitation to supply the crop's water demand of the crop in the period and was started soon after its emergence. Irrigation management was based on reference evapotranspiration (ET_0), calculated using the Penman-Monteith-FAO equation (Allen *et al.*, 1998).

The need for irrigation was determined according to Equation 1:

$$NI = ET_0 - P_{ef} \quad (1)$$

where NI – is the irrigation requirements (mm), ET_0 – is the reference evapotranspiration for seven days (mm), and P_{ef} – is the effective precipitation (mm).

According to Millar (1978), the effective precipitation was determined, which considers the parameters of the textural class of the soil, declivity (%), and vegetation cover. The fraction of precipitation lost by runoff considered was 30% of the total precipitate for the place where the work was conducted.

The irrigation depths were applied for the irrigation times, according to Equation 2:

$$IT = \frac{L_n}{L_r \cdot U_a} \cdot 100 \quad (2)$$

where IT – is the irrigation time (h); L_n – is the required depth (mm); L_r – is the reference depth (mm h⁻¹); and U_a – is the application uniformity (%).

Plants from a 4.5 m² usable area were collected at the end of the crop cycle and subsequently traced, cleaned of impurities, weighed, and the humidity was corrected to 13%.

Water productivity was determined using the methodology described by Adeboye *et al.* (2015), which consists of relating the total volume of water applied (effective precipitation + water depth) to the total grain production (Equation 3).

$$WP = \frac{Y}{W} \quad (3)$$

where WP – is the water productivity (kg ha⁻¹ mm⁻¹), Y – is the crop productivity (kg ha⁻¹), and W – is the total water depth applied during the crop cycle (mm).

Furthermore, the economic productivity of the water was determined through Equation 4.

$$EWP = \frac{p \cdot Y}{W} \quad (4)$$

where EWP – is the economic water productivity ($\text{US\$ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), and p – is the average grain price ($\text{US\$ kg}^{-1}$), Y – is the crop productivity (kg ha^{-1}), and W – is the total water depth applied during the crop cycle (mm).

Soybean commercialization price was determined using the averages for the state of Rio Grande do Sul in April of 2018 and 2019, following the harvesting, with values of R\$ 74.18 and R\$ 68.18 per bag, respectively. Prices were converted into dollars and during this period the average quotation was R\$ 3.64.

The results were subjected to analysis of variance (ANOVA) at the 5% error probability level using the Sisvar program 5.6. Regression analysis and maximum technical efficiency were performed when there was an interaction between the cultivar factors and irrigation depths. When there was no interaction, the means were compared by the Tukey test for qualitative data (soybean varieties) and regression analysis and maximum technical efficiency for quantitative data (irrigation depths). The regression analysis was performed using the SigmaPlot 11.0 software.

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 2 shows the average maximum and minimum temperatures, effective precipitation, and daily evapotranspiration for Harvests 1 and 2. The average daily air temperature fluctuated between 15 °C and 32 °C for the studied harvests. There were no significant differences for both the maximum average temperature and the minimum average temperature, considering that the appropriate thermal conditions for the growth and development of soybeans are between 20 and 30 °C (Battisti & Sentelhas, 2014).

The effective precipitation showed approximate values for both harvest years, with 369.18 mm and 374.55 mm for Harvests 1 and 2, respectively. These values were insufficient to supply the crop requirements, demanding an irrigation input to ensure production. According to Grassini *et al.* (2015), soybean crops require 450 to 700 mm of water to supply their water needs. For the southern region of Brazil, studies indicate that a water supply of approximately 800 mm (Zanon *et al.*, 2016) and between 765 and 875 mm (Tagliapietra *et al.*, 2021) are enough to maximize soybean productivity. The evapotranspiration values during the entire crop cycle in Harvests 1 and 2 were 336.60 and 315.76 mm, respectively. Bariviera *et al.* (2020) obtained evapotranspiration of 267.06 mm and precipitation of 922.28 mm with 62 precipitation events throughout the crop cycle when studying irrigated soybean crops in the 2015/16 harvest, in Mato Grosso state, which justifies the difference in evapotranspiration demand observed in the present study.

During the development of the crop, seven (Harvest 1) and six (Harvest 2) irrigations were required (Figure 3). The irrigations for each treatment of Harvest 1 totaled 30.28, 60.56, 90, 84, 121.12, and 151.40 mm for depths of 25, 50, 75, 100, and 125% of ET_0 , respectively. The irrigation depths for each treatment of Harvest 2 were 30.17, 60.34, 90.51, 120.68, and 150.85 mm for 25, 50, 75, 100, and 125% of ET_0 , respectively

The analysis of variance showed no interaction between the depth and cultivar factors at the 5% level of significance for the soybean crop productivity. However, the cultivars showed a statistical difference for productivity, water productivity, and economic water productivity in both crops studied (Table 2).

Cultivar BMX Valente presented the highest productivity, water productivity, and economic water productivity values in both harvest years, with no significant difference cultivar BMX Ponta, while cultivar NS 6909 showed the lowest results. Santos *et al.* (2019) found that the cultivars showed a significant difference at the level of 1% error probability for grain production when evaluating the productivity and water productivity of different soybean cultivars, corroborating the results of the present study.

The three cultivars studied responded equally to irrigation, unlike in the study conducted by Gava *et al.* (2017), who found that some genotypes do not respond to irrigation depending on each cultivar's genetic characteristics when evaluating irrigated and non-irrigated soybean cultivars.

According to Kukal & Irmak (2020), irrigation has become a fundamental agricultural production tool, reducing crops' annual variability due to climatic variations and efficient water resource use. Soybean productivity in both harvests responded positively to the amount of water supplied, showing a very similar behavior in both situations studied (Figure 4). This is in agreement with a study conducted by Montoya *et al.* (2017) in Salto, Uruguay, where the authors found that the soybean crop development was similar in both years regarding the total crop cycle and accumulated thermal time.

The maximum technical efficiency for the irrigation depths in Harvest 1 was reached at 73.03% of ET_0 , providing a productivity of 6,602.92 kg ha⁻¹. In Harvest 2, the maximum technical efficiency was achieved with 77.94% of ET_0 , which produced 6,260.36 kg ha⁻¹. The productivity of irrigated soybeans ranged from 4,978.45 kg ha⁻¹ to 6,661.96 kg ha⁻¹ in Harvest 1, and 4,903.75 kg ha⁻¹ to 6,324.44 kg ha⁻¹ in Harvest 2, with little difference between harvests.

The increase in soybean crop productivity with irrigation depths of 25, 50, 75, 100, and 125% of ET_0 compared to productivity without irrigation, presenting values of 20.13%, 30.09%, 28.22%, 33.82%, and 14.69% for Harvest 1 and 16.95%, 24.29%, 24.08%, 28.97%, and 16.82% for Harvest 2. Montoya *et al.* (2017) reported that supplementary irrigation in the soybean crop provided an increase in grain productivity, after two experimental harvests, with grain yield values up to 35% higher than the non-irrigated experiment. The author also reports that, during both seasons studied, the maximum grain yield values were reached at 75% of crop evapotranspiration (ET_C), which is similar to the maximum technical efficiency found in the present study.

The production functions were adjusted to a second-degree polynomial model, with a coefficient of determination inferior to 0.91. The productivity averages with the lowest values were obtained in the control, with 4,978.45 kg ha⁻¹ (Harvest 1) and 4,903.75 kg ha⁻¹ (Harvest 2). The highest values of 6,661.96 kg ha⁻¹ and 6,324.44 kg ha⁻¹ of productivity were found with the depth of 100% ET_0 for Harvests 1 and 2, respectively. There was an increase of 33,82% and 28,97% between the control and the depth of 100% of ET_0 .

Gajić *et al.* (2018) observed an increase of 42% in the treatment that obtained the highest productivity than the non-irrigated treatment. Panday *et al.* (2018) observed an increase in productivity of 27% when comparing irrigated and non-irrigated treatments. Candoğan & Yazgan (2016) report that the highest grain yield was obtained in treatments with total irrigation, presenting an average gain of 50.6% compared to the precipitation treatment.

Gava *et al.* (2018) observed that supplementary irrigation contributes to higher productivity in intermediate cycle cultivars than in super early cycle cultivars. The three

cultivars evaluated in this study are of the intermediate cycle and corroborate that irrigation contributed to the increase in productivity since crop yield increased from the 25% ET_o depth.

Despite the increase in productivity with the depth of 100% in both harvests, water productivity showed the best values at depths of 50% and 25% with productivity of 15.07 and 14.17 kg ha⁻¹ mm⁻¹ for Harvest 1 and 2, respectively. Consequently, the highest economic water productivity was obtained on the same irrigation depths (Table 3).

These results are similar with those found by Candogan *et al.* (2013), who observed the highest water productivity values for 25% of ET_c. However, the authors report that this irrigation strategy can cause a 27.5% reduction in grain yield, differing from this study where reduction in the productivity of was 2.78 % (Harvest 1) and 9.32% (Harvest 2). This information can facilitate decision-making when choosing the type of irrigation to provide greater water availability for an increase in productivity or smaller depths when there is water scarcity in a reservoir or for water cost savings (Candogan *et al.*, 2013; Çetin & Kara, 2019).

Different results were found by Panday *et al.* (2018) when comparing soybean productivity in dryland (600 mm precipitation) and irrigated, finding higher average water productivity values for the treatment that received supplementary irrigation. Adeboye *et al.* (2015) also found a increase in water productivity in full irrigation treatment. In contrast, Gajić *et al.* (2018) obtained a water productivity value in the non-irrigated treatment 10% higher than in the treatment of 100% water replacement.

Montoya *et al.* (2017) found higher water productivity in treatments with less water availability and the lowest result for full water replacement based on the culture's evapotranspiration, which corroborated the findings of this study. The irrigation depth of

125% of ET_0 presented the lowest average value of water productivity, reaffirming that water availability above the crop's evapotranspiration demand reduces the system's productive efficiency.

The economic water productivity values ranged between 3.72 and 5.12 US\$ ha⁻¹ mm⁻¹ for Harvest 1 and 3.40 and 4.42 US\$ ha⁻¹ mm⁻¹ for the Harvest 2. The lowest values were obtained for the depth of 125% of ET_0 and the highest values for the depth of 50% (Harvest 1) and 25% (Harvest 2) of ET_0 , corresponding to an increase of 27.34% and 23.08% in relation to the lowest values of economic water productivity.

The average price of soybeans in Rio Grande do Sul for April 2018 (Harvest 1) was US\$ 20.38 per bag and US\$ 18.73 for Harvest 2 in April 2019. This economic gain increases proportionally to the price of soybean. Noellemeyer *et al.* (2013) found low economic water productivity values for soybean, which reflected a low grain yield that does not counterbalance a high market cost.

Unlike what was found in this study, Adeboye *et al.* (2015) observed higher economic water productivity in the treatment with full irrigation than treatments that underwent water deficit in different phenological stages. Ben *et al.* (2017) report that the use of the lowest amount of irrigation provided the highest economic water productivity for rice crops and that this calculation shows the irrigation condition that makes production economically more efficient, as the volume of water is low enough to allow economic production, corroborating the results found in this study.

Although the 100% ET_0 irrigation depth provides a higher increase in soybean productivity for both studied harvests, in similar years when the rainfall regime is not scarce, one can opt for a lower water supplementation to obtain greater irrigation water productivity cost.

CONCLUSION

Supplementary irrigation provided an increase in grain yield for both crops, presenting a maximum technical efficiency of 73.03% and 77.94% of ET_0 for the irrigation depths. Water productivity demonstrated that better efficiency in water resources could be obtained for lower values of irrigation, minimizing the amount of water used in this process. Economic water productivity could assist in the decision-making of how much to irrigate to reduce production costs and ensure an economic return, even when higher soybean productivity is not achieved.

ACKNOWLEDGEMENTS, FINANCIAL SUPPORT AND FULL DISCLOSURE

This paper was written with the support of the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brazil (CAPES) – Financing Code 001, through the granting of a scholarship. The authors declare that there is no conflict of interest for the publication of this article.

REFERENCES

- Adeboye OB, Schultz B, Adekalu KO & Prasad K (2015) Crop water productivity and economic evaluation of drip-irrigated soybeans (*Glyxine max L. Merr.*). *Agriculture & Food Security*, 4: 1-13.
- Allen RG, Pereira LS, Raes D & Smith M (1998) *Crop evapotranspiration -Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56*. Fao, Rome, 300: D05109.

Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, De Moraes Gonçalves JL & Sparovek G (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22: 711-728.

Araji HA, Wayayok A, Bavani AM, Amiri E, Abdullah AF, Daneshian J & Teh CBS (2018) Impacts of climate change on soybean production under different treatments of field experiments considering the uncertainty of general circulation models. *Agricultural Water Management*, 205: 63-71.

Arruda MR, Moreira A & Pereira JCR (2014) Amostragem e coleta de solos para fins de fertilidade. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. 18 p. (Documento, 115).

Battisti R & Sentelhas PC (2014) New agroclimatic approach for soybean sowing dates recommendation: A case study. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18: 1149-1156.

Battisti R & Sentelhas PC (2017) Improvement of soybean resilience to drought through deep root system in Brazil. *Agronomy Journal*, 109: 1612-1622.

Battisti R, Sentelhas PC, Parker PS, Nendel C, Camara GMS, Farias JRB & Basso CJ (2018) Assessment of crop-management strategies to improve soybean resilience to climate change in Southern Brazil. *Crop and Pasture Science*, 69: 154-162.

Bariviera G, Dallacort R, De Freitas PS, Barbieri JD & Daniel DF (2020) Dual crop coefficient for the early-cycle soybean cultivar SoyTech 815 RR. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24: 75-81.

Ben HM, Monaco F, Facchi A, Romani M, Valè G & Sali G (2017) Desempenho econômico de variedades tradicionais e modernas de arroz sob diferentes sistemas de manejo da água. *Sustentabilidade*, 9: 347.

Candogan B & Yazgan S (2016) Yield and quality response of soybean to full and deficit irrigation at different growth stages under sub-humid climatic conditions. *Journal of Agricultural Sciences*, 22: 129-144.

Candogan BN, Sincik M, Buyukcangaz H, Demirtas C, Goksoy AT & Yazgan S (2013) Yield, quality and crop water stress index relationships for deficit-irrigated soybean [Glycine max (L.) Merr.] in sub-humid climatic conditions. *Agricultural Water Management*, 118: 113-121.

Comissão de Química e Fertilidade do Solo do RS/SC (CQFS RS/SC) (2016) Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11 ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul. 376 p.

Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2020) Acompanhamento da Safra Brasileira - Grãos. Available at: <https://www.conab.gov.br/infoagro/safra/graos>.

Accessed on: October 13th, 2021.

Çetin O & Kara A (2019) Assesment of water productivity using different drip irrigation systems for cotton. *Agricultural Water Management*, 223: 105693.

Gajić B, Kresović B, Tapanarova A, Životić L & Todorović M (2018) Effect of irrigation regime on yield, harvest index and water productivity of soybean grown under different precipitation conditions in a temperate environment. *Agricultural Water Management*, 210: 224-231.

Gava R, Lima SFD, Santos OFD, Anselmo JL, Cotrim MF & Kühn IE (2018) Water depths for different soybean cultivars in center pivot. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22: 10-15.

Gava R, Anselmo JL, Neale CM, Frizzone JA & Leal AJ (2017) Different soybean plant populations under central pivot irrigation. *Engenharia Agrícola*, 37: 441-452.

- Grassini P, Torrion JA, Yang HS, Rees J, Andersen D, Cassman KG & Specht JE (2015) Soybean yield gaps and water productivity in the western U.S. Corn Belt. *Field Crops Research*, Elsevier, 179: 150-163.
- Kirchner JH, Robaina AD, Peiter MX, Torres RR, Mezzomo W, Ben LHB, Pimenta BD & Pereira AC (2019) Funções de produção e eficiência no uso da água em sorgo forrageiro irrigado. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 14: 1-9.
- Kukul MS & Irmak S (2020) Impact of irrigation on interannual variability in United States agricultural productivity. *Agricultural Water Management*, 234: 1-10.
- Millar AA (1978) *Drenagem de terras agrícolas: bases agronômicas*. 1 ed. São Paulo: McGrawHill do Brasil. 276 p.
- Montoya F, García C, Pintos F & Otero A (2017) Effects of irrigation regime on the growth and yield of irrigated soybean in temperate humid climatic conditions. *Agricultural Water Management*, 193: 30-45.
- Nied AH, Heldwein AB, Estefanel V, Silva JC & Alberto CM (2005) Épocas de semeadura do milho com menor risco de ocorrência de deficiência hídrica no município de Santa Maria, RS Brasil. *Ciência Rural*, 35: 995-1002.
- Noellemeyer E, Fernández R & Quiroga A (2013) Crop and tillage effects on water productivity of dryland agriculture in Argentina. *Agriculture*, 3: 1-11.
- Nóia Júnior R de S & Sentelhas PC (2019) Soybean-maize off-season double crop system in Brazil as affected by El Niño Southern Oscillation phases. *Agricultural Systems*, 173: 254-267.
- Panday SC, Choudhary M, Singh S, Meena VS, Mahanta D, Yadav RP, Pattanayak A & Bisht JK (2018) Increasing farmer's income and water use efficiency as affected by

long-term fertilization under a rainfed and supplementary irrigation in a soybean-wheat cropping system of Indian mid-Himalaya. *Field Crops Research*, 219: 214-221.

Pires JLF, Costa JA, Rambo L & Ferreira FG (2005) Métodos para a estimativa do potencial de rendimento da soja durante a ontogenia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40: 337-344.

Ribeiro ABM, Bruzi AT, Zuffo AM, Zambiazzi EV, Soares IO, Vilela NJD, Pereira JL de AR & Moreira SG (2017) Productive performance of soybean cultivars grown in different plant densities. *Ciência Rural*, 47:1-8.

Santos HG dos, Jacomine, PKT, Anjos LHC dos, Oliveira, VA de, Lumbreras J F, Coelho MR, Almeida JA, de Araujo Filho JC, De Oliveira JB, Cunha TJF (2018) Sistema brasileiro de classificação de solos. 5ª ed. Brasília, DF: Embrapa. 356 p.

Santos JWS dos, Barbosa WSS, Teodoro IPO, Silva JAC, Teodoro I & Lyra GB (2019) Desempenho produtivo da soja com irrigação suplementar nos tabuleiros costeiros de alagoas. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 13: 3714-3723.

Tagliapietra EL, Zanon AJ, Streck NA, Balest DS, Rosa SL da, Bexaira KP, Richter GL, Ribas GG & Silva MR da (2021) Biophysical and management factors causing yield gap in soybean in the subtropics of Brazil. *Agronomy Journal*, 113(2): 1882-1894, 2021.

Tewelde AG (2019) Evaluating the Economic Water Productivity underfull and deficit irrigation; the case of sesamecrop (*Sesumum indicum L.*) in woreda Kafta-Humera, Tigray-Ethiopia. *Water Science*, 33: 75-83.

Zanon AJ, Streck NA & Grassini P (2016) Climate and management factors influence soybean yield potential in a subtropical environment. *Agronomy Journal*, 108: 1447-1454.

Zhang B, Feng G, Ahuja LR, Kong X, Ouyang Y, Adeli A & Jenkins JN (2018)
Soybean crop-water production functions in a humid region across years and soils
determined with APEX model. *Agricultural Water Management*, 204: 180-191.

Table 1: Hydro-physical characteristics of the soil in the experimental area.

Soil Profundity (m)	Soil Density (g cm⁻³)	Soil Field Capacity (m³ m⁻³)	Permanent Wilt Point (m³ m⁻³)	Basic Infiltration Speed (mm h⁻¹)	Soil Texture
0-0.2	1.42	0.31	0.14		Loam
0.2-0.4	1.38	0.34	0.17	15	Clay loam
0.4-0.6	1.36	0.37	0.23		Clay

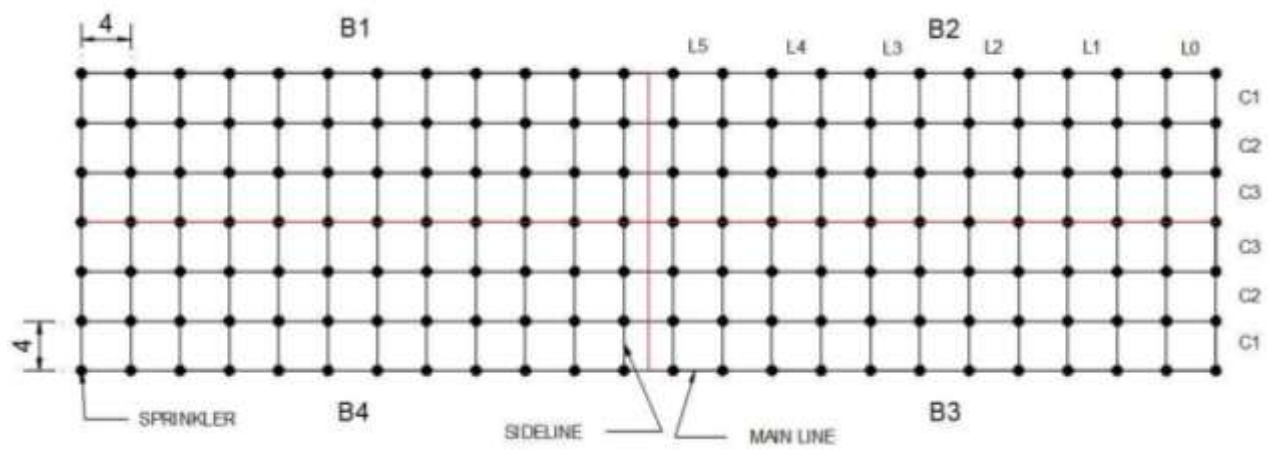


Figure 1: Sketch of the experimental area.

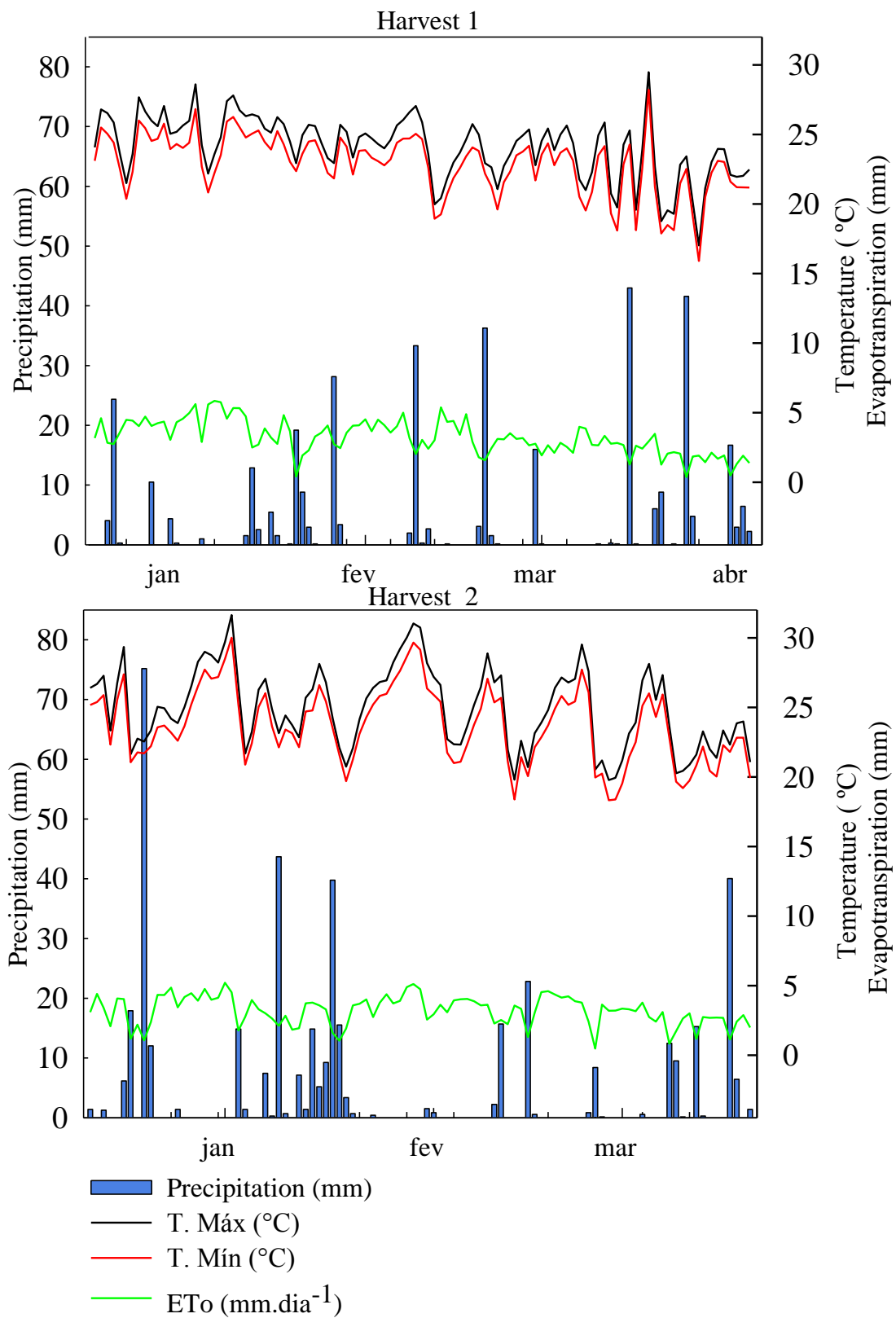


Figure 2: Maximum and minimum temperature (°C), precipitation (mm), and evapotranspiration (mm) data for both analyzed harvests

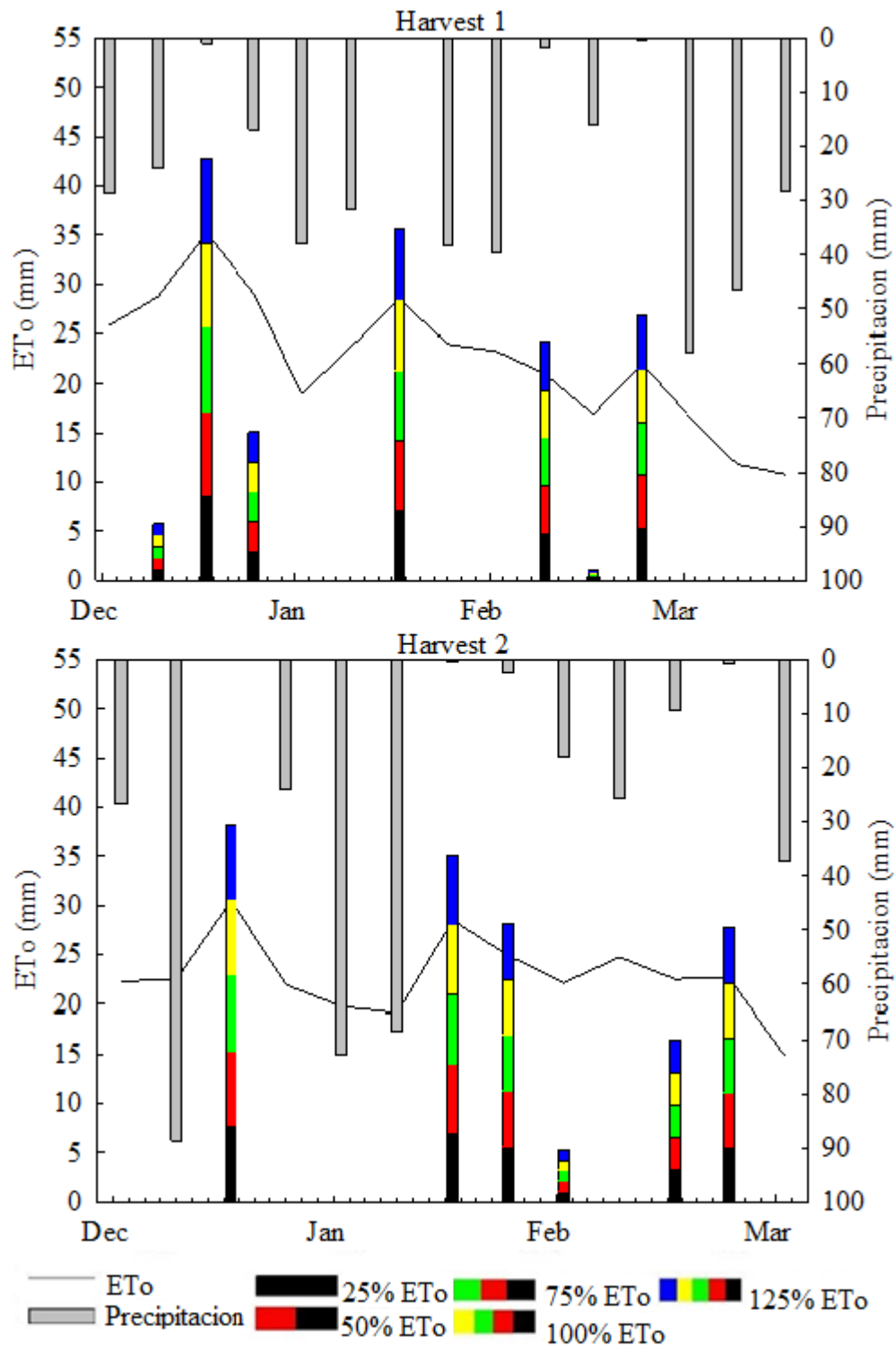


Figure 3: Precipitation (mm), evapotranspiration (mm), and irrigation depth (mm) accumulated for both crop cycles with an interval of seven days

Table 2: Crop productivity (kg ha^{-1}), water productivity (WP) ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$), and economic water productivity (EWP) ($\text{US\$ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) in the different soybean cultivars in Harvests 1 and 2

Cultivars	Productivity		WP		EWP	
	Harvest 1	Harvest 2	Harvest 1	Harvest 2	Harvest 1	Harvest 2
NS 6909	5,715.41b*	5,395.36b	12.92b	12.08b	4.21b	3.77b
BMX Ponta	5,990.72ab	5,916.43a	13.59ab	13.24a	4.43ab	4.13a
BMX Valente	6,389.23a	6,123.94a	14.47a	13.70a	4.72a	4.28a
**CV (%)	12.27	10.27	12.71	11.25	12.71	11.25

*Mean followed by lowercase letters different in the vertical significantly differ at a 5% level of error of probability. **CV = coefficient of variation.

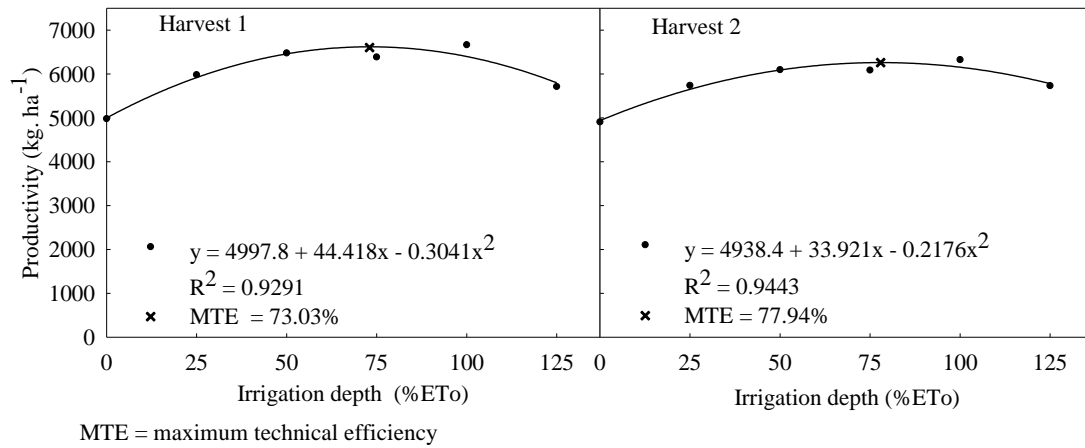


Figure 4: Average productivity of the soybean crop in function of the irrigation depths of Harvests 1 and 2

Table 3: Crop productivity (kg ha^{-1}), water productivity (WP) ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$), and economic water productivity (EWP) ($\text{US\$ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) in the different irrigation depths ($\%ET_0$)

Irrigation Depths	Harvest 1			Harvest 2		
	Productivity	WP	EWP	Productivity	WP	EWP
0	4,978.45	13.49	4.58	4,737.08	12.65	4.09
25	5,980.44	14.97	5.08	5,734.93	14.17	4.42
50	6,476.67	15.07	5.12	6,094.98	14.02	4.38
75	6,383.53	13.88	4.71	5,984.61	12.87	4.08
100	6,661.96	13.59	4.61	6,074.44	12.27	3.99
125	5,709.65	10.97	3.72	5,745.42	10.94	3.40

6 ARTIGO 2 - OIL CONTENT AND ECONOMIC WATER PRODUCTIVITY OF SOYBEAN CULTIVARS UNDER DIFFERENT WATER AVAILABILITY CONDITIONS

Produção de óleo e produtividade econômica da água de cultivares de soja em diferentes disponibilidades hídricas

Oil content and economic water productivity of soybean cultivars under different water availability conditions

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o rendimento, produtividade da água e produtividade econômica da água para o teor de óleo de três cultivares de soja sob diferentes condições hídricas. Os experimentos foram conduzidos nas safras 2017/2018 e 2018/2019. O delineamento experimental constou de um bifatorial em blocos ao acaso, com o primeiro fator de 5 lâminas de irrigação, com base na evapotranspiração de referência (ET_0), mais o tratamento sem irrigação e o segundo fator foram 3 cultivares de soja. Os resultados para o rendimento e produtividade de óleo foram maiores para as lâminas de 75% (safra 1) e 100% da ET_0 (safra 2). Nas avaliações de produtividade da água e produtividade econômica da água os maiores resultados foram obtidos na lâmina de 50% na safra 1 e 25% e 50% na safra 2. A cultivar BRASMAX Ponta apresentou os maiores valores para produção de óleo e a BRASMAX Valente para produtividade de óleo, em ambas as safras. Na safra 1, a BRASMAX Valente obteve os maiores resultados na produtividade de água e produtividade econômica da água e na Safra 2 foi a BRASMAX Ponta que apresentou maiores valores. A irrigação suplementar favoreceu o incremento na produção de óleo e a produtividade de óleo. Para o uso mais eficiente e econômico da água é necessário a utilização de menores lâminas.

Palavras-chave: composição do grão, eficiência do uso da água, *Glycine max (L) Merrill*.

ABSTRACT

The present work aimed to evaluate the yield, water productivity and economic water productivity for the oil content of three soybean cultivars under different water conditions. The experiments were conducted in the 2017/2018 and 2018/2019 harvests. The experimental design consisted of a two-factor randomized block, with the first factor of 5 irrigation depths, based on the reference evapotranspiration (ET_0), plus the treatment without irrigation and the second factor was 3 soybean cultivars. The results found for oil yield and productivity were higher for the depths of 75% (crop 1) and 100% of ET_0 (crop 2). And for the evaluations of water productivity and economic water productivity, the highest results were obtained at the level of 50% in crop 1 and 25% and 50% in crop 2. Cultivar BRASMAX Ponta had the highest values for oil production and BRASMAX Valente for oil yield, in both crops. In Crop 1, the BRASMAX Valente cultivar had the highest results in water productivity and economic water productivity, and in Crop 2, the BRASMAX Ponta cultivar had the highest values. Supplemental irrigation favored the increase in oil production and oil productivity. For a more efficient and economical use of water, it is necessary to use smaller irrigation depths.

Keywords: grain composition, water use efficiency, *Glycine max (L) Merrill*.

INTRODUCTION

Soybean (*Glycine max L.*) is considered a major food crop in the global grain market, and the main factors determining its nutritional value are its oil and protein contents (AYDINSAKIR, 2018), which average approximately 20% and 40%, respectively.

Soybean oil is one of the most widely consumed vegetable oils globally, whereby, increasing it is of great interest. As genetic factors have the greatest influence over soybean nutritional composition, genetic improvement programs have been the focus of much research

aimed at maximizing oil content (SILVA et al., 2021). Thus, studies show significant variability among cultivars for oil content in the grain (FARIA et al., 2018; FLAJŠMAN et al., 2019). Nevertheless, environmental factors also have a significant impact on soybean nutritional composition. As soybean is grown in various regions of the world under vastly different climates, research on the effects of abiotic environmental factors on grain quality and productivity is necessary (MERTZ-HENNING et al., 2018). Among these factors, water availability is considered one of the most important, as water stress resulting from either deficit or excess, can cause significant reduction in crop productivity (WIJEWARDANA; REDDY; BELLALLOUI, 2019). Furthermore, water stress also affects the economic and environmental costs related to water use and productivity, as well as soybean quality parameters such as oil and protein contents (AYDINSAKIR, 2018).

Numerous studies have evaluated the effect of water availability on oil content in the soybean grain and results are controversial. Thus, in some cases, oil content in the grain decreased with increasing irrigation amount (AYDINSAKIR, 2018; KRESOVIĆ et al., 2017; WIJEWARDANA; REDDY; BELLALLOUI, 2019). Conversely, other studies have found a positive relationship between irrigation amount and oil content (CANDOĞAN; YAZGAN, 2016; MERTZ-HENNING et al., 2018; NAGY; PEPÓ, 2019).

Irrigation is primarily used to meet crop water demands in different climatic scenarios, specifically in regions where water scarcity prevails, or where precipitation is insufficient or poorly distributed throughout the crop cycle (GAJIĆ et al., 2018). As grain quality is directly associated with water availability, understanding the performance of soybean cultivars in response to this factor is fundamental. Supplementary irrigation aiming at efficient water management reportedly results in higher crop yields while minimizing the use of water resources (CANDOĞAN; YAZGAN, 2016).

Effective irrigation management involves an efficient use of water resources, satisfactory economic returns, adaptation to climate change, and control of irrigation based on meteorological forecasts throughout the crop cycle (PAREDES et al., 2017).

The economic productivity of water and water use efficiency are indicators that allow a rational evaluation of the cost benefit ratio for irrigation (HAN et al., 2018), and to maximize the ratio between grain quality and water consumption.

In view of the above, this study aimed to evaluate the yield, water productivity, and economic productivity of water for oil content of three soybean cultivars under different irrigation conditions.

MATERIALS AND METHODS

The experiments was conducted using the harvests of the 2017/2018 (crop 1) and 2018/2019 (crop 2) growth seasons in the experimental fields of the Polytechnic College of the Federal University of Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul (RS), Brazil (29° 42' 55.7" S 53° 44' 21.4" W; elevation 120 m). According to the Köppen-Geiger classification, the climate of the region is Cfa (humid subtropical climate), with well-defined seasons (ALVARES et al., 2013). According to INMET, the average annual precipitation in the region is 1450 to 1650 mm, and the average temperature is 18°C – 20°C.

Soil samples for chemical and physical analyses were obtained following the protocols described by ARRUDA, MOREIRA & PEREIRA (2014). Samples were analyzed at the Soil Analysis Laboratory of UFSM, where soil macro- and micro-nutrient were determined. After chemical analysis, fertilization was performed using the amounts recommended by the Fertilization and Liming Manual for RS and SC (2016).

Soybean seeds used for growing crops 1 and 2 were sown on 14/12/2017 and 23/11/2018, respectively. The experimental design consisted in a two-factor randomized blocks

design; the first factor was irrigation, with six irrigation treatments, namely, the 0% control, and 25%, 50%, 75%, 100%, and 125% of the reference evapotranspiration, (ET_O). The second factor was soybean cultivar, including, NS 6909 PRO RR (NS 6909), BRASMAX Ponta IPRO 7166 RSF (BMX Ponta), and BRASMAX Valente RR 6968 RSF (BMX Valente).

For application of irrigation treatments, a fixed conventional sprinkler-type irrigation system was used, which consisted of a 92-m long main line and 24 lateral lines, each 24-m long, laid at 4 m intervals. The sprinklers were distributed along the lateral lines with a spacing of 4 m and at a height of 1.5 m.

A uniformity test (ISO 15886-3:2021) performed with a duration of 2 h allowed us to determine an irrigation application rate of 11.5 mm h^{-1} , and a value of 82% for Christiansen's uniformity coefficient (BERNARDO et al., 2019). Irrigation was applied at 7 day intervals, when precipitation of the period fell below the water demand of the crop. Irrigation management was based on reference evapotranspiration (ET_O) calculated by the Penman-Monteith-FAO equation (ALLEN, et al., 1998). Meteorological data used for calculation of ET_O at the study site were obtained from the automatic weather station of the National Institute of Meteorology at UFSM. The data collected daily included: rainfall (mm), maximum and minimum temperatures ($^{\circ}\text{C}$), relative ambient humidity (%), wind speed (m s^{-1}) and solar radiation (kJ m^{-2}).

The irrigation requirement was determined according to Eq. 1:

$$NI = ET_O - P_{ef} \quad (1)$$

where NI is the irrigation requirement (mm); ET_O is the reference evapotranspiration for the seven-day period (mm); and P_{ef} is the effective precipitation (mm) determined by the method described by MILLAR (1988), which considers soil textural class, slope of the area (%) and

vegetation cover. At the study site, the proportion of rainfall lost through runoff was estimated at 30% of the total precipitation.

Irrigation was conducted according to Eq. 2:

$$T_i = \frac{L_n}{L_r \cdot U_a} \cdot 100 \quad (2)$$

where T_i is the irrigation time (h); L_n is the irrigation depth (mm); L_r is the reference water supply rate (mm h^{-1}); and U_a is the uniformity rate of application (%).

Plants were collected at the end of the cropping cycle from a 4.5 m² effective area and subsequently threshed and the grain harvested was cleaned of impurities, weighed, and corrected to 13% moisture content.

Soybean oil was extracted using petroleum ether solvent in a Soxhlet extractor according to the procedure described in the Analytical Standards of the Adolfo Lutz Institute (1985). The oil yield was calculated by multiplying the oil content of the grain by the grain yield.

To determine water productivity, we adapted the methodology used by ADEBOYE et al. (2015), which determines the relationship between the total volume of water supplied (effective precipitation + irrigation water) and the total oil yield Eq. 3.

$$PA = \frac{Y}{I + P_{ef}} \quad (3)$$

where PA is water productivity ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$); Y is oil productivity (kg ha^{-1}); I is the amount of irrigation water applied (mm); and P_{ef} is the amount of effective precipitation (mm).

In turn, economic water productivity was determined using Eq. 4.

$$PEA = \frac{p \cdot Y}{I + P_{ef}} \quad (4)$$

where PEA is the economic productivity of water (US\$ ha⁻¹ mm⁻¹); p is the average price of crude soybean oil (US\$ kg⁻¹); I is the amount of irrigation water applied (mm); and P_{ef} is the amount of effective precipitation (mm).

For the market price of crude soybean oil, the average prices of the Chicago exchange subsequent to the crop harvest in the month of April were obtained, with values of 0.63 and 0.61 US\$ kg⁻¹ in the years 2018 and 2019, respectively.

The results were subjected to analysis of variance (ANOVA) at 5% probability of error using the Sisvar 5.6 program (FERREIRA, 2011). If an interaction between cultivar and irrigation rate was observed, regression analysis and maximum technical efficiency were performed. If no interaction between the two factors was detected, a comparison of means was performed using the Tukey test for qualitative data (soybean cultivar) and regression analysis and maximum technical efficiency for quantitative data (irrigation depth). Regression analysis was performed using SigmaPlot 11.0 software.

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 shows the values for effective precipitation, irrigation, maximum and minimum temperatures, and evapotranspiration throughout both crop cycles under study. Total effective precipitation was only slightly greater in crop 2 (374.55 mm) than in crop 1 (369.18 mm).

Total water requirement of soybeans throughout the crop cycle reportedly varies between 450 and 700 mm (DOORENBOS; KASSAM, 1979), therefore, supplementary irrigation was necessary in both years of the study, as total rainfall was not sufficient to meet the water demand based on reference evapotranspiration, and rainfall did not present a uniform

distribution over either crop cycle. The total number of irrigation events was seven and six for crops 1 and 2, respectively.

Using simulation models, TANG et al. (2018) evaluated the need for soybean irrigation in the Mississippi region, and observed that the irrigation demand of the crop during the growth cycle varied between 0 to 257 mm during periods of normal precipitation. Consistently, the required irrigation supplementation for soybean crops at the study site was 132 (2017/18 crop) and 135 mm (2018/19 crop), according to work conducted by Oliveira et al. (2020). In agreement with the results reported by these authors, the irrigation requirement for 100% water supplementation was 121.12 (crop 1) and 120.68 mm (crop 2), with a total rainfall of 369.18 and 374.55 mm, respectively.

The average values of oil production and oil yield in relation to the different irrigation treatments for the two years of the study are shown in Figure 2. As there was no interaction between irrigation and cultivar in these evaluations, regression analysis was performed for irrigation treatments. The highest soybean-oil contents were 21.39% and 20.28%, for the 75% ET_0 (crop 1) and 100% ET_0 (crop 2) irrigation treatments, respectively. Furthermore, the lowest contents were observed without irrigation in both crops, with values of 17.73% and 17.47%, respectively. These findings differ from those reported by AYDINSAKIR et al. (2021) for a two-year study in which non-irrigated soybeans showed a significantly higher oil content than irrigated ones. In the same study, mean values of oil content were below 20% for all treatments. Additionally, AYDINSAKIR (2018) found soybean oil contents ranging from 18.2% to 22.3% and, again in this case, the highest values were observed in the non-irrigated treatment. Intriguingly, KRESOVIĆ et al. (2017) observed the highest values for oil content both without irrigation and with full irrigation across all years of their study.

On the other hand, MERTZ-HENNING et al. (2018) observed lower average oil contents in soybean plants subjected to water stress during the reproductive period. Our

measurements for oil productivity had low average values at a 0% ET_0 irrigation rate, with values of 884.65 kg ha⁻¹ for crop 1, and 857.70 kg ha⁻¹ for crop 2. The highest values for oil yield were 1,420.97 (crop 1, 75% ET_0) and 1,283.44 kg ha⁻¹ (crop 2, 100% ET_0). Consistently, supplemental irrigation applied to oilseed crops during periods of increased crop water demand, such as flowering and grain filling can reportedly increase oil productivity (MOHTASHAMI et al., 2020).

As for the evaluation of water productivity and economic productivity of water, according to the analysis of variance at 5% probability of error, no interaction was observed between irrigation treatment and cultivar. The pattern observed for these evaluations was the same for the two crops studied, with the lowest values observed for the 125% ET_0 irrigation treatment, with a water productivity of 2.27 and 2.06 kg ha⁻¹ mm⁻¹ and an economic productivity of water 1.44 and 1.94 US\$ ha⁻¹ mm⁻¹, in crops 1 and 2, respectively (Figure 3).

In the first year of study, the highest values for water productivity and economic productivity of water were obtained under 50% ET_0 , with 3.05 kg ha⁻¹ mm⁻¹ and 1.94 US\$ ha⁻¹ mm⁻¹, respectively. On the other hand, in the second crop, the highest average values were observed for the 25% and 50% of ET_0 irrigation treatments, in which case, water productivity was 2.64 kg ha⁻¹ mm⁻¹ and economic productivity of water was 1.61 US\$ ha⁻¹ mm⁻¹.

Severe water stress can reduce economic water productivity for sunflower oil production by up to 20% (MORADI-GHAHDERIJANI; JAFARIAN; KESHAVARZ, 2017). Similarly, in this study, such reduction was 13.18% for the three soybean cultivars, when the treatments that obtained the highest values under the non-irrigated treatment were compared, and 21.81% relative to the 125% ET_0 irrigation treatment, which showed the highest reduction.

Table 1 shows the average values of oil production, oil yield, water productivity and economic productivity of water for the three cultivars studied. No significant interaction was detected between cultivar and irrigation treatment for any of the measured variables.

Cultivar NS 6909 showed the lowest average values for all variables and differed significantly from the other cultivars tested. The only exception to this was the oil content values of crop 2, in which case there was no significant difference among cultivars.

Cultivar BMX Ponta showed the highest total oil production values in both harvests, although it differed significantly from the other two cultivars only in the first harvest and only from cultivar BMX Valente in the second harvest. In turn, cultivar BMX Ponta did not differ significantly from cultivar BMX Valente for oil yield, water productivity or the economic productivity of water, although it showed the highest values for water productivity and economic productivity of water in crop 2.

As for the evaluation of oil productivity, BMX Valente showed the highest average values in both harvests, but was not statistically different from BMX Ponta. Finally, Valente BMX showed the highest values for water productivity and economic productivity of water in the first harvest but, again, did not significantly differ from BMX Ponta.

Working with seven soybean cultivars, FARIA et al. (2018) observed that cultivars showed significant differences in oil content (ranging between 20.7% and 26.7%) and productivity (ranging between 574 and 1,072 kg ha⁻¹) across four sowing dates and at two locations. Consistently, JUNIOR et al. (2017) measured oil content values of four soybean cultivars that ranged between 17.8% and 20.3% over three sowing seasons. Additionally, analyzing six soybean cultivars, Flajšman et al. (2019) measured oil contents between 16.7% and 22.1%, and a high oil yield of 918.9 kg ha⁻¹.

CONCLUSION

Irrigation rates of 75% and 100% ET_O favored an increase in oil content in the three soybean cultivars under study herein. The cultivar BMX Ponta showed the highest total oil production values in both harvests.

Our data further confirmed that water supplementation is necessary for a greater oil yield. Intermediate irrigation rates of 25% and 50% showed the best results for efficient irrigation and, consequently, a greater economic productivity of water.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brazil (CAPES) - Funding Code.

DECLARATION OF CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there are no conflicts of interest to declare.

AUTHOR CONTRIBUTION

All authors contributed equally to the conception of the study and to the preparation of the manuscript. All authors reviewed the manuscript and approved the final version.

REFERENCES

- ADEBOYE, O. B. et al. Crop water productivity and economic evaluation of drip-irrigated soybeans (*Glyxine max* L. Merr.). **Agriculture & Food Security**, 2015. v. 4, n. 1, p. 10.
- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, v.300, n.9, p. D05109, 1998.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 2013. v. 22, n. 6, p. 711-728.
- ARRUDA, M. R.; MOREIRA, A.; PEREIRA, J. C. R. **Amostragem e coleta de solos para fins de fertilidade**. Embrapa ed. Manaus: [s.n.], 2014.
- AYDINSAKIR, K. Yield and quality characteristics of drip-irrigated soybean under different

irrigation levels. **Agronomy Journal**, 2018. v. 110, n. 4, p. 1473-1481.

_____ et al. Water productivity of soybeans under regulated surface and subsurface drip irrigation conditions. **Irrigation Science**, 2021. v. 39, p. 773-787.

BERNARDO S. et al. **Manual de irrigação**. 9. ed. Viçosa: UFV, 2019, 545 p.

CANDOĞAN, B. N.; YAZGAN, S. Yield and quality response of soybean to full and deficit irrigation at different growth stages under sub-humid climatic conditions. **Journal of Agricultural Sciences**, 2016. v. 22, n. 2, p. 129-144.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. FAO ed. Rome, Italy: FAO Irrigation and Drainage, 1979.

FARIA, L. A. DE et al. Oil and protein content in the grain of soybean cultivars at different sowing seasons. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 2018. v. 13, n. 2, p. 1-7.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**, 2011. v. 35, p. 1039-1042.

FLAJŠMAN, M. et al. Agronomic performance and stability of seed, protein and oil yields of seven soybean cultivars determined in field experiments in slovenia. **GENETIKA**, 2019. v. 51, n. 1, p. 31-46.

GAJIĆ, B. et al. Effect of irrigation regime on yield, harvest index and water productivity of soybean grown under different precipitation conditions in a temperate environment. **Agricultural Water Management**, 2018. v. 210, p. 224-231.

HAN, X. et al. Effects of crop planting structure adjustment on water use efficiency in the irrigation area of Hei River Basin. **Water (Switzerland)**, 2018. v. 10, n. 10.

ISO 15886-3. **Agricultural irrigation equipment - Sprinklers - Part 3: Characterization of distribution and test methods**. 2021

JUNIOR, C. P. et al. Sowing Dates and Soybean Cultivars Influence Seed Yield, Oil and Protein Contents in Subtropical Environment. **Journal of Agricultural Science**, 2017. v. 9, n. 6, p.

188.

KRESOVIĆ, B. et al. Yield and chemical composition of soybean seed under different irrigation regimes in the Vojvodina region. **Plant Soil Environ.** , 2017. v. 63, n. 1, p. 34-39.

MERTZ-HENNING, L. M. et al. Effect of water deficit-induced at vegetative and reproductive stages on protein and oil content in soybean grains. **Agronomy**, 2018. v. 8, n. 1.

MILLAR, A. A. **Drenagem de terras agrícolas: bases agrônômicas**. Editerra ed. [S.l.]: [s.n.], 1988.

MOHTASHAMI, R. et al. Improving yield, oil content and water productivity of dryland canola by supplementary irrigation and selenium spraying. **Agricultural Water Management**, 2020. v. 232, n. February, p. 106046. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106046>>.

MORADI-GHAHDRIJANI, M.; JAFARIAN, S.; KESHAVARZ, H. Alleviation of water stress effects and improved oil yield in sunflower by application of soil and foliar amendments. **Rhizosphere**, 2017. v. 4, p. 54-61.

NAGY, N. E.; PEPÓ, P. Comparative study of different soybean genotypes in irrigation technology. **Acta Agraria Debreceniensis**, 2019. n. 1, p. 91-95.

OLIVEIRA, Z. B. et al. Estimativa da demanda hídrica da soja utilizando modelo de balanço hídrico do solo e dados da previsão do tempo. **IRRIGA**, v2020.. 25, n. 3, p. 492-507.

PAREDES, P. et al. Assessing yield, water productivity and farm economic returns of malt barley as influenced by the sowing dates and supplemental irrigation. **Agricultural Water Management**, 2017. v. 179, p. 132-143.

SILVA, L. C. C. et al. Association studies and QTL mapping for soybean oil content and composition. **Euphytica**, 2021. v. 217, n. 2.

TANG, Q. et al. Rain water deficit and irrigation demand of major row crops in the Mississippi Delta. **Transactions of the ASABE**, 2018. v. 61, n. 3, p. 927-935.

WIJEWARDANA, C.; REDDY, K. R.; BELLALLOUI, N. Soybean seed physiology, quality,

and chemical composition under soil moisture stress. **Food Chemistry**, 2019. v. 278, n. June 2018, p. 92-100. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.035>>.

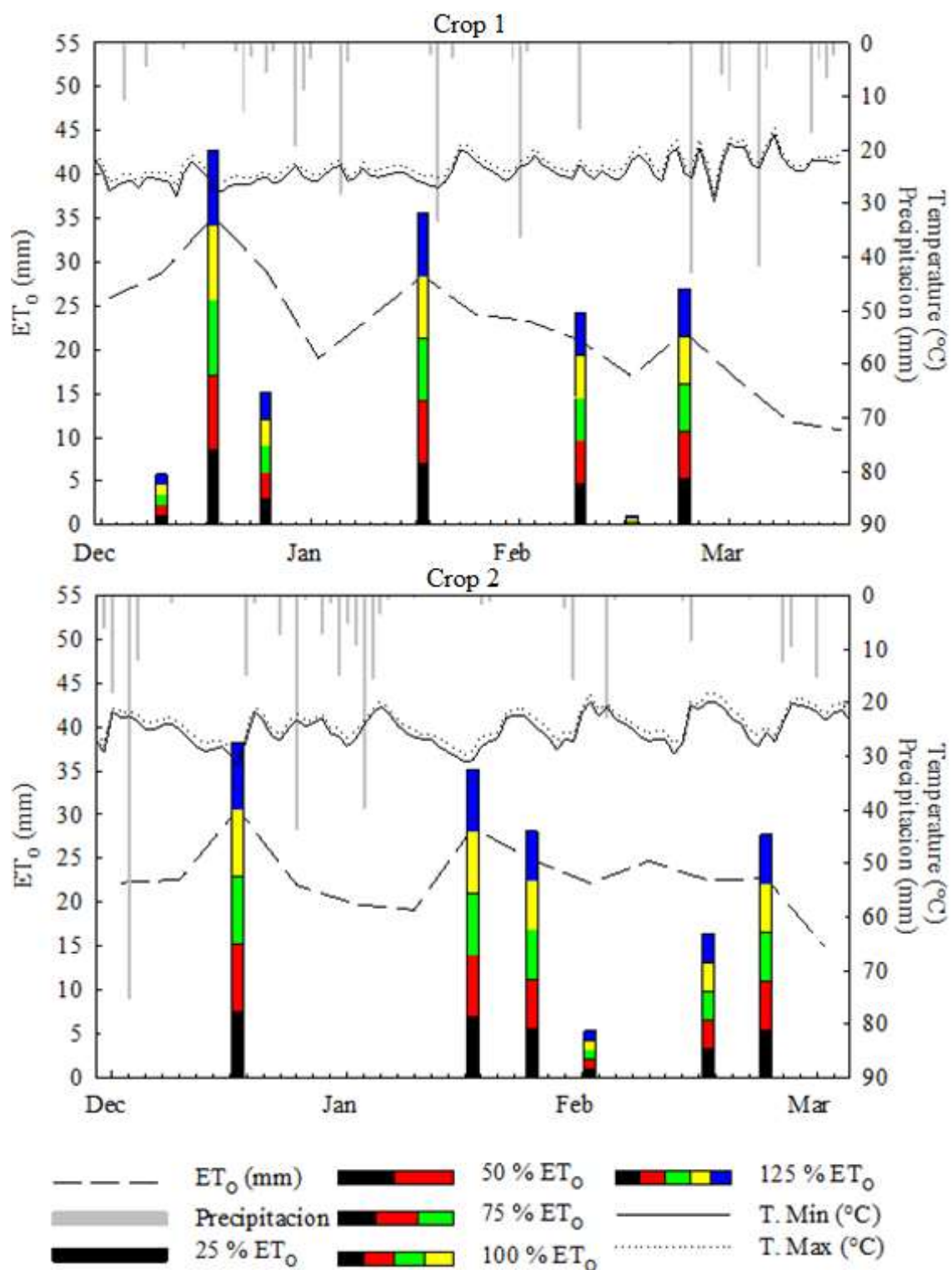


Figure 1 - Effective precipitation, irrigation amount, maximum and minimum temperatures and evapotranspiration throughout the crop cycle for crops 1 and 2.

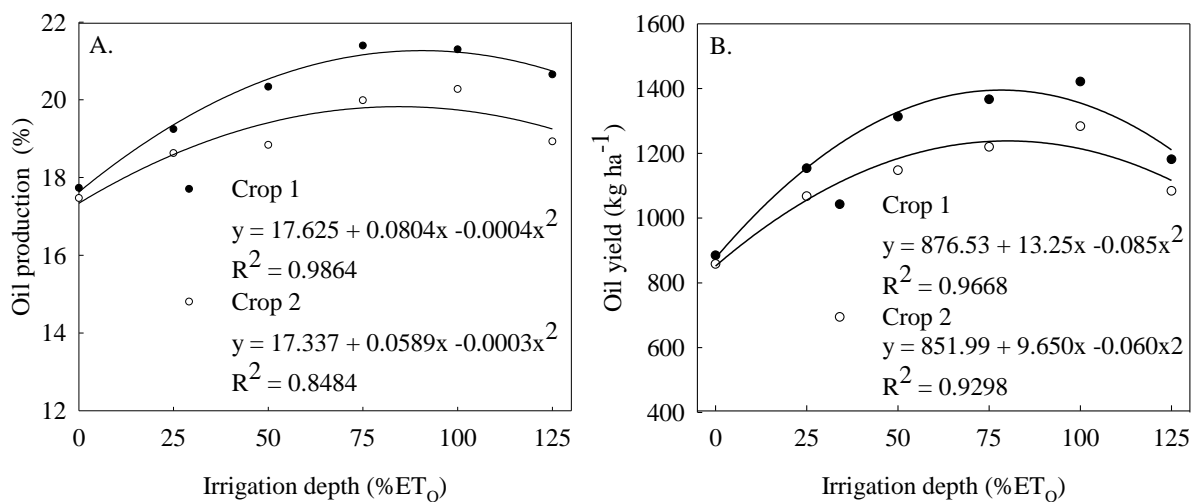


Figure 2 - Oil production (%) (A.) and oil yield (kg ha⁻¹) (B.) for the different irrigation treatments in crops 1 and 2.

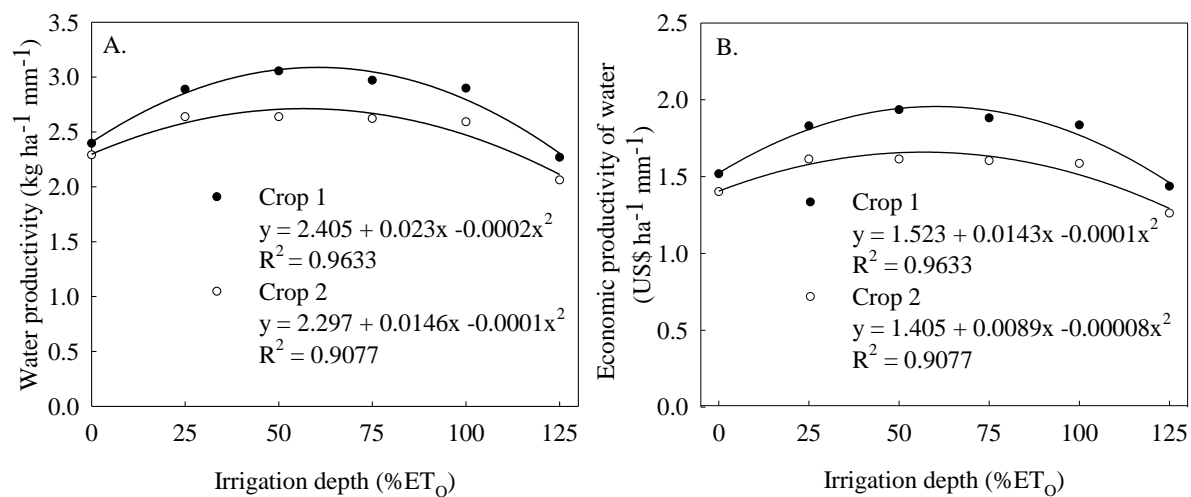


Figure 3 – Water productivity ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) (A.) and economic productivity of water ($\text{US\$ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) (B.) for the different irrigation treatments.

Table1 - Oil production (%), oil productivity (kg ha⁻¹), water productivity (PA, kg ha⁻¹ mm⁻¹) and economic water productivity (PEA, US\$ ha⁻¹ mm⁻¹) for the different cultivars.

Cultivars	Crop 1				Crop 2			
	Oil production	Oil productivity	PA	PEA	Oil production	Oil productivity	PA	PEA
NS 6909	19.38c*	1,114.91b	2.51b	1.59b	18.83ab	1,018.43b	2.27b	1.39b
BMX Point	20.82a	1,252.06a	2.83a	1.79a	19.54a	1,136.77a	2.59a	1.59a
BMX Valiant	20.12b	1,292.46a	2.90a	1.84a	18.69b	1,146.94a	2.55a	1.56a
**VOC (%)	4.29	12.59	12.88	12.88	5.43	12.47	13.32	13.32

* Average values within columns, followed by different lowercase letters differ significantly from at 5% probability of error as per Tukey's test.

**CV = coefficient of variation.

7 ARTIGO 3 - RETORNO ECONÔMICO-FINANCEIRO DA PRODUÇÃO DE ÓLEO VEGETAL DE CULTIVARES DE SOJA IRRIGADA

RETORNO ECONÔMICO-FINANCEIRO DA PRODUÇÃO DE ÓLEO VEGETAL DE CULTIVARES DE SOJA IRRIGADA*

1 RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o retorno econômico-financeiro da produção de óleo de soja considerando diferentes cultivares, lâminas de irrigação e valores de comercialização do óleo de soja. Foram conduzidos dois experimentos nos anos de 2017/2018 e 2018/2019, em área experimental do Colégio Politécnico da UFSM. O delineamento experimental foi um bifatorial em blocos ao acaso, com o primeiro fator de cinco lâminas de irrigação mais a testemunha e o segundo fator três cultivares de soja. Para determinação dos custos relacionados à irrigação, utilizou-se um sistema de aspersão convencional fixo, com turno de rega de 7 dias. Foi realizado o levantamento dos custos de todo sistema produtivo. O retorno econômico-financeiro foi determinado pelos indicadores de investimento: valor presente líquido, taxa interna de retorno, razão benefício/custo e payback, em 72 cenários. Para isto, foram considerados quatro preços de comercialização do óleo bruto (R\$ 2,50, R\$ 4,50, R\$ 6,50 e R\$ 8,50 .kg⁻¹). Os tratamentos de 0% e 100% da ET₀ apresentaram os maiores retornos econômicos, para todos os indicadores. O preço de comercialização do óleo a R\$ 2,50 .kg⁻¹ não foi economicamente viável, nas diferentes lâminas de irrigação e cultivares. Nos preços de R\$ 6,50 e R\$ 8,50 .kg⁻¹, o retorno econômico foi satisfatório para todas as condições testadas.

* Submetido a Revista IRRIGA

Palavras-chave: *Glycine max L.*, manejo de irrigação, preço de produto, indicadores econômicos.

ECONOMIC AND FINANCIAL RETURN ON VEGETABLE OIL PRODUCTION FROM IRRIGATED SOYBEAN CULTIVARS

2 ABSTRACT

The objective of the present work was to evaluate the economic-financial return of the production of soybean oil considering different cultivars, irrigation depths and commercialization values of soybean oil. Two experiments were conducted in the years 2017/2018 and 2018/2019, in an experimental area of the Polytechnic College of UFSM. The experimental design was a two-factor in randomized blocks, with the first factor of five irrigation depths plus the control and the second factor of three soybean cultivars. To determine the costs related to irrigation, a fixed conventional sprinkler system was used, with a 7-day irrigation shift. A survey of the costs of the entire production system was carried out. The economic-financial return was determined by the investment indicators: net present value, internal rate of return, benefit/cost ratio and payback, in 72 scenarios. For this, four crude oil commercialization prices were considered (R\$ 2.50, R\$ 4.50, R\$ 6.50 and R\$ 8.50 .kg⁻¹). The 0% and 100% ET₀ treatments showed the highest economic returns for all indicators. The oil commercialization price at R\$ 2.50 .kg⁻¹ was not economically viable, in the different irrigation

depths and cultivars. At the prices of R\$ 6.50 and R\$ 8.50 .kg⁻¹, the economic return was satisfactory for all the conditions tested.

Keywords: *Glycine max L.*, irrigation management, product price, economics indicators.

3 INTRODUÇÃO

A cultura da soja é um dos principais produtos em área cultivada, produção e exportação, impulsionando o desenvolvimento do Brasil (CATTELAN; DALL'AGNOL, 2018). A soja é utilizada na produção de óleo comestível e matéria-prima para o biodiesel, também gerando outros coprodutos a partir do seu farelo (POTRICH et al., 2020).

Devido a sua distribuição geográfica no país, a compreensão da interferência de fatores ambientais na produção e composição dos grãos de soja é fundamental para o alcance de maiores produtividades e qualidade (MERTZ-HENNING et al., 2018). O conteúdo de óleo do grão de soja é de aproximadamente 20% do seu peso, (CAO et al., 2017), podendo variar por influência de fatores bióticos como ambiente (ASSEFA et al., 2019), temperatura, época de semeadura (MOURTZINIS et al., 2017), e disponibilidade hídrica (MERTZ-HENNING et al., 2018).

A precipitação, na maioria das propriedades, ainda é o único meio de disponibilidade de água para as culturas, porém em locais onde a demanda hídrica não é atendida, o rendimento e a qualidade de grãos são prejudicados (GAJIĆ et al., 2018). Desta forma, a irrigação tem relevância sob a produtividade de grãos e sua influência no conteúdo de óleo apresenta uma variação de acordo com a literatura (AYDINSAKIR, 2018).

Mertz-Henning et al. (2018) e Morsy et al. (2018), relatam que o déficit hídrico no período reprodutivo da cultura da soja reduziu o teor de óleo dos grãos. Por outro lado, Wijewardana et al. (2019), Basal e Szabó (2020) e Aydinsakir et al. (2021), observaram que uma menor disponibilidade hídrica aumentou o teor de óleo dos grãos.

Os processos convencionalmente utilizados na extração de óleo são o mecânico e por solvente (CHENG; ROSENTRATER, 2017). Sendo a abordagem mais utilizada, a extração por solvente hexano (CHENG et al., 2017), com maior capacidade de retirada de óleo do grão, menor custo e reaproveitamento do insumo. As tecnologias utilizadas na indústria são essenciais na determinação dos custos de produção, porém a produtividade e a concentração de óleo dos grãos podem influenciar diretamente estes custos (CHENG et al., 2018).

A implementação de sistemas de irrigação, é uma tecnologia com custo inicial elevado, porém incrementa a produtividade e, conseqüentemente, dilui os custos de produção por hectare (CAVALCANTE et al., 2021). Considerando o investimento necessário e os benefícios do sistema (CARRÊLO et al., 2020).

Para o planejamento, dimensionamento e construção destes sistemas, é fundamental a análise dos parâmetros econômicos, sendo necessários indicadores que auxiliem na tomada de decisão, facilitando a escolha por cenários de maiores retornos financeiros (ALVES JÚNIOR et al., 2018).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar o retorno econômico-financeiro da produção de óleo de soja em vários cenários, com diferentes cultivares, lâminas de irrigação e valores de comercialização.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para a obtenção dos dados de produtividade de soja foram conduzidos dois experimentos nos anos de 2017/2018 (safra 1) e 2018/2019 (safra 2), em área experimental pertencente ao Colégio Politécnico da UFSM, localizada em Santa Maria – RS. As coordenadas da área experimental são 29°42'55.7''S, 53°44'21.4''O e altitude de 120 m. Pela classificação de Köppen-Geiger, o clima da região é tipo Cfa (clima subtropical úmido), com estações do ano bem definidas (Alvares et al., 2013). Segundo o INMET, a precipitação média anual da região é de 1450 a 1650 mm com uma temperatura média de 18-20°C.

As sementeiras, para as safras 1 e 2, foram realizadas nos dias 14/12/2017 e 23/11/2018, respectivamente. O delineamento experimental constou de um bifatorial em blocos ao acaso, com o primeiro fator de 5 lâminas de irrigação mais a testemunha (0, 25, 50, 75, 100 e 125% da evapotranspiração de referência). O segundo fator foram 3 cultivares de soja (*Glycine max* L.), NS 6909 PRO RR, BRASMAX Ponta IPRO 7166 RSF e BRASMAX Valente RR 6968 RSF.

Para a irrigação, utilizou-se um sistema do tipo aspersão convencional fixo. A uniformidade de distribuição da água e a calibração da taxa de aplicação da irrigação (mm.h^{-1}) foram determinadas pelo teste de Uniformidade de Christiansen (CUC). A uniformidade de aplicação de irrigação foi de 82% e a taxa de aplicação do sistema foi de $11,5 \text{ mm.h}^{-1}$.

O momento da irrigação foi realizado com turno de rega fixo de 7 dias entre as irrigações, quando não ocorreu precipitação que suprisse a demanda hídrica da cultura. O manejo da irrigação foi baseado na evapotranspiração de referência (ET_0), calculada pela equação de Penman-Monteith-FAO (Allen et al., 1998).

Os dados meteorológicos foram obtidos através da estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia, localizada na Universidade Federal de Santa Maria. Os dados

coletados diariamente foram: precipitação pluvial (mm), temperaturas máxima e mínima (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento (m.s^{-1}) e radiação solar (kJ.m^{-2}).

A necessidade de irrigação foi determinada conforme a Eq. 1:

$$NI = ET_o - P_{ef} \quad (1)$$

onde NI é a necessidade de irrigação (mm), ET_o é a evapotranspiração de referência do período de sete dias (mm) e P_{ef} é a precipitação efetiva (mm).

A precipitação efetiva foi determinada conforme Millar (1978), que considera os parâmetros de classe textural do solo, declividade da área (%) e cobertura vegetal. Considerou-se a fração de precipitação pluvial perdida por escoamento superficial de 30% do total precipitado.

As lâminas de irrigação foram aplicadas conforme o tempo de irrigação, de acordo com a Eq. 2:

$$Ti = \frac{Ln}{Lr \cdot Ua} \cdot 100 \quad (2)$$

onde TI é o tempo de Irrigação (h), L_n é a lâmina necessária (mm), L_R é a lâmina de referência (mm.h^{-1}) e U_a é a uniformidade de aplicação (%).

Ao final do ciclo da cultura foram coletadas as plantas de uma área útil $4,5 \text{ m}^2$ e, posteriormente, trilhadas, retiradas as impurezas, pesadas e realizada a correção da umidade para 13%. Posteriormente, foi realizada a extração do óleo dos grãos de soja em laboratório, com solvente éter de petróleo em um extrator Soxhlet, segundo o procedimento descrito nas

Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1985). A produtividade de óleo ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) foi calculada através do produto entre conteúdo de óleo do grão e produtividade de grãos.

Foi realizado o levantamento dos custos de todo sistema produtivo e divididos em: custos fixos não relacionados à irrigação (CFNRI), custos fixos relacionados à irrigação (CFRI) e custos variáveis relacionados à irrigação (CVRI), (CONAB, 2010).

Os custos fixos não relacionados à irrigação, foram os valores referentes a adubo, sementes, mão-de-obra, hora-máquina, aquisição e aplicação de defensivos, entre outros materiais necessários à produção, todos estes custos foram ajustados para $\text{R}\$.ha^{-1}$.

Os custos fixos relacionados à irrigação foram determinados com base em um sistema de irrigação padrão adaptado de Torres et al. (2019), com a finalidade de obter os custos de aquisição, instalação e manutenção do sistema. O sistema de irrigação possui um espaçamento entre linhas 24 m, uma área irrigada de 1,84 ha e a potência calculada do conjunto motobomba foi de 15 cv. O valor de aquisição do sistema foi diluído ao longo de sua vida útil, mantendo o valor independente do sistema ser acionado ou não. Foi considerada neste projeto, uma lâmina efetiva de 60% do raio de alcance para os aspersores das pontas do sistema de irrigação.

O cálculo dos custos fixos relacionados à irrigação foi realizado de acordo com a Eq. 3:

$$C_{FRI} = C_D + C_j + C_s \quad (3)$$

onde C_{FRI} é o custo fixo relacionado a irrigação ($\text{R}\$.ha^{-1}$), C_D é o custo com depreciação dos componentes do sistema ($\text{R}\$.ha^{-1}$), C_j é o custo com juros sobre o capital investido ($\text{R}\$.ha^{-1}$) e C_s é o custo com seguro dos componentes do sistema de irrigação ($\text{R}\$.ha^{-1}$).

O custo com depreciação do sistema foi calculado conforme Eq. 4, considerando o valor residual de 20% do bem novo (CONAB, 2010). O valor de aquisição do componente novo foi $\text{R}\$ 19.766,30$.

$$C_D = \left[\frac{VN-VR}{VU_H} \right] \cdot H_S T_R \quad (4)$$

onde C_D é a depreciação do componente do sistema (R\$), VN é o valor de aquisição do componente novo (R\$), VR é o valor residual do componente (R\$), VU_H é a vida útil do componente (h) e $H_S T_R$ é o total de horas trabalhadas por hectare.

Para o cálculo do custo com juros sobre o capital investido (Eq. 5) foi adotada uma taxa de juros sobre o capital investido de 2,8%, conforme taxa Selic em março de 2021.

$$C_J = T_{AJ} \cdot VN \quad (5)$$

onde C_J é o juros sobre o capital investido (R\$), T_{AJ} é a taxa anual de juros (%) e V_{AE} é o valor de aquisição do componente novo (R\$).

O custo com seguro foi determinado como sendo 0,35% do valor médio do investimento (CONAB, 2010), conforme Eq. 6.

$$S = \frac{VN}{2} \cdot 0,0035 \quad (6)$$

onde S é o custo com seguro (R\$) e VN é o valor de aquisição do componente novo (R\$).

Os custos variáveis relacionados à irrigação foram determinados conforme a Eq. 7:

$$C_{VRI} = C_{VE} + C_{VMO} + C_{VMan} \quad (7)$$

onde C_{VRI} é o custo variável relacionado a irrigação (R\$), C_{VE} é o custo variável com energia elétrica (R\$), C_{VMO} é o custo com mão-de-obra empregada na irrigação (R\$), C_{VMan} é o custo com manutenção dos equipamentos (R\$).

Para o cálculo do custo variável da energia elétrica foi considerada a potência do conjunto motobomba e o tempo para aplicação da lâmina de irrigação, conforme Eq. 8. A obtenção do custo da energia elétrica (0,30 R\$ kW h⁻¹) foi realizada de acordo com o preço da energia praticado pela concessionária da região, considerando a tarifa verde (21 horas diárias de operação).

$$C_{VE} = P_W \cdot E_e \cdot T \cdot L \quad (8)$$

onde C_{VE} é o custo variável com energia elétrica (R\$), P_W é a potência do conjunto motobomba (kW h⁻¹), E_e é o preço da energia elétrica (R\$ kW h⁻¹), T é o tempo para aplicação de um milímetro de água (h mm⁻¹) e L é a lâmina de irrigação (mm).

O custo da mão-de-obra foi determinado com o valor horário equivalente ao salário mínimo rural (CONAB, 2010) e calculado conforme a Eq. 9. O salário mínimo rural considerado foi de R\$ 1500,00.

$$C_{VMO} = N_i \cdot N_S \cdot 0,5 \cdot \frac{V_{SMin}}{220} \quad (9)$$

onde C_{VMO} é o custo com mão-de-obra empregada na irrigação (R\$), N_i é o número de irrigações, N_s é o número de setores do sistema de irrigação e V_{SMin} é o valor do salário mínimo rural (R\$).

Os custos de manutenção foram calculados conforme a Eq. 10, considerando os valores relativos a 1% do custo de aquisição do sistema de irrigação e 10% do valor gasto com energia.

$$C_{VMan} = VN \cdot 0,01 \cdot \frac{C_{VE}}{10} \quad (10)$$

onde C_{VMan} é o custo com manutenção dos equipamentos (R\$), VN é o valor de aquisição do componente novo (R\$ ha⁻¹), C_{VE} é o custo variável da energia elétrica.

O retorno econômico-financeiro foi determinado pelos indicadores de investimento, valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), razão benefício/custo (B/C) e payback (PB).

O VPL foi calculado conforme a Eq. 11:

$$VPL = \sum_{t=0}^N \frac{F_t}{(1+j)^t} \quad (11)$$

onde VPL é o valor presente líquido (R\$ ha⁻¹), j é a taxa mínima de atratividade (TMA), N é o horizonte do projeto (anos), t é o período do projeto (anos) e F_t é o fluxo de caixa líquido em cada ano (R\$ ha⁻¹).

A TIR foi calculada de acordo com a Eq. 12.

$$TIR = \sum_{j=0}^N \frac{F_t}{(1+TIR)^t} \quad (12)$$

onde TIR é a taxa interna de retorno, em decimal e j é a taxa mínima de atratividade (TMA), em decimal.

A B/C foi determinada conforme Eq. 13.

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=0}^N B_k (1+j)^{-t}}{\sum_{t=0}^N C_k (1+j)^{-t}} \quad (13)$$

onde B/C é a razão benefício/custo, B são as receitas (R\$ ha⁻¹) e C são as despesas (R\$ ha⁻¹).

O cálculo do PB foi realizado de acordo com a razão do investimento inicial pelo fluxo de caixa médio do período (20 anos). Para a análise da viabilidade econômico-financeira foram elaborados 72 cenários. Considerando três cultivares de soja, 5 lâminas de irrigação mais a testemunha e quatro valores de comercialização do óleo bruto (R\$ 2,50, R\$ 4,50, R\$ 6,50 e R\$ 8,50 .kg⁻¹), levando em consideração que o valor médio nos últimos cinco foi de aproximadamente R\$ 4,00 .kg⁻¹. O custo de produção da tonelada de soja processada foi fixado em R\$ 31,36 .ton⁻¹ (POTRICH et al., 2020), considerando uma cotação do dólar de R\$ 5,38.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O CFNRI foi de R\$ 2.403,38 .ha⁻¹ e o CFRI foi de R\$ 1.378,70 .ha⁻¹, para as três cultivares nos dois anos de experimento. Os CVRI para a safra 1 foram de R\$ 124,04 (25%),

R\$ 142,28 (50%), R\$ 160,51 (75%), R\$ 162,37 (100%) e R\$ 196,99 ha⁻¹ (125%), para a segunda safra foram de R\$ 120,26, R\$ 138,44, R\$ 156,61, R\$ 158,45 R\$ 192,95 ha⁻¹, nas respectivas lâminas de irrigação. Dalchiavon et al. (2019) obtiveram um custo de produção na cultura da soja de R\$ 3.063,00 .ha⁻¹ sem a utilização da irrigação, este valor é 27% superior ao CFNRI deste estudo.

Na primeira safra, os custos médios de produção de óleo entre as lâminas de irrigação, variaram de R\$ 156,15 .ha⁻¹ (0% da ET_O) e R\$ 208,96 .ha⁻¹ (100% da ET_O), estes resultados apresentam diferença de 25,27%.

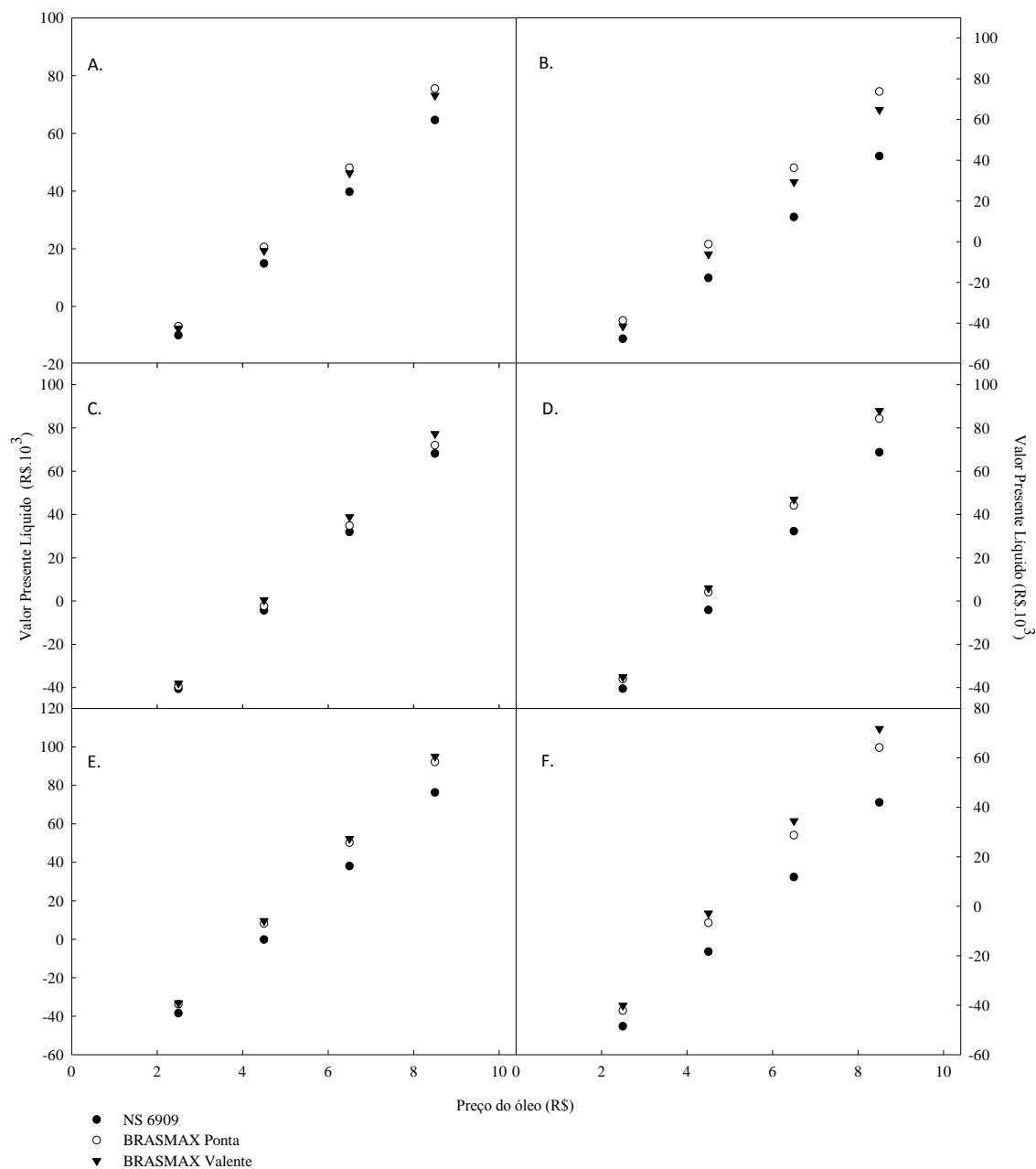
Na testemunha, houve uma variação entre as cultivares de 11,62% nos custos, sendo o menor valor para a NS 6909 (R\$ 144,95 .ha⁻¹) e o maior para a BRASMAX Ponta (R\$ 164,01 .ha⁻¹). A cultivar NS 6909 obteve o valor de R\$ 203,67 .ha⁻¹ e a Valente de R\$ 217,58 .ha⁻¹, na lâmina de 100% da ET_O, variando em 6,39% no custo da produção de óleo.

Os custos médios de produção de óleo entre lâminas de irrigação, na segunda safra, variaram de R\$ 153,81 .ha⁻¹ (0% da ET_O) a R\$ 198,37 .ha⁻¹ (100% da ET_O), representando 22,46% de diferença. A cultivar NS 6909 apresentou um custo de R\$ 150,02 .ha⁻¹ que é 5,47% menor que o custo de óleo para a BRASMAX Valente, que apresentou um valor de R\$ 158,71 .ha⁻¹. Na lâmina de 100% da ET_O, o menor valor foi de R\$ 191,13 .ha⁻¹ para a NS 6909 e o maior valor de R\$ 204,92 .ha⁻¹ para a BRASMAX Valente, o que representou 6,73% de variação.

Os custos de produção para os dois anos de experimento foram menores para a testemunha e cultivar NS 6909 com valores de R\$ 2.548,34 e R\$ 2.553,40, e os maiores valores foram para a cultivar Valente na lâmina de 125% da ET_O de R\$ 4.170,05 e R\$ 4.174,12, respectivamente. Para a safra 1 a diferença entre os custos do tratamento não irrigado e da lâmina de 125% da ET_O foi de 41,04% e, na safra 2, essa amplitude foi de 38,83%.

A Figura 1 apresenta os dados de valor líquido presente (VPL) em função das lâminas de irrigação.

Figura 1. Valores de VPL nos tratamentos 0% (A.), 25% (B.), 50% (C.), 75% (D.), 100% (E.) e 125% da ET_0 (F.) em função dos diferentes preços de venda de óleo.



Observa-se que os maiores valores foram obtidos na lâmina de 100% da ET_0 com um preço de óleo de R\$ 8,50 .kg⁻¹, e VPL de R\$ 76.264,04 (NS 6909), R\$ 92.153,16 (BRASMAX Ponta) e R\$ 95.025,44 (BRASMAX Valente). No cenário de preço de venda de R\$ 2,50 .kg⁻¹ o VPL não demonstrou viabilidade em nenhuma das lâminas e cultivares estudadas.

Corroborando com os resultados deste estudo, onde o investimento se tornou viável para valores superiores ao preço médio de comercialização, Kenkel et al. (2006) ao analisarem a viabilidade econômico-financeira da produção de óleo de canola com quatro preços de comercialização encontraram VPL negativo para os dois menores preços e positivo somente a partir do preço médio de venda.

Para o preço de R\$ 4,50 .kg⁻¹ alguns cenários apresentaram VPL negativo e somente o tratamento não irrigado retornou valores positivos para todas as cultivares, sendo R\$ 14.866,50 para a NS 6909, R\$ 20.559,68 para a BRASMAX Ponta e R\$ 19.288,46 para a BRASMAX Valente.

Com a utilização e o aumento da lâmina de irrigação, o VPL apresentou crescimento, com 75,5%, 22,1% e 30% de diferença entre o tratamento não irrigado e a lâmina de 100% da ET_0 , no cenário de R\$ 8,50 .kg⁻¹, para as cultivares NS 6909, BRASMAX Ponta e BRASMAX Valente, respectivamente. Um acréscimo no VPL de 51,04%, na comparação entre os dois maiores preços de venda, foi observado por Kenkel et al. (2006). No presente estudo, o aumento foi de 72,76% para a cultivar BRASMAX Ponta no tratamento não irrigado e 89,90% para a cultivar BRASMAX Valente na lâmina de 100% da ET_0 , comparando os preços de R\$ 4,50 e R\$ 8,50 .kg⁻¹.

Santos Alves et al. (2017) ao compararem três culturas (soja, canola e girassol), observaram que a soja apresentou rentabilidade na produção de óleo. Segundo os autores, isto se deve à maior produtividade de grãos da soja, visto que o teor de óleo é menor comparado às

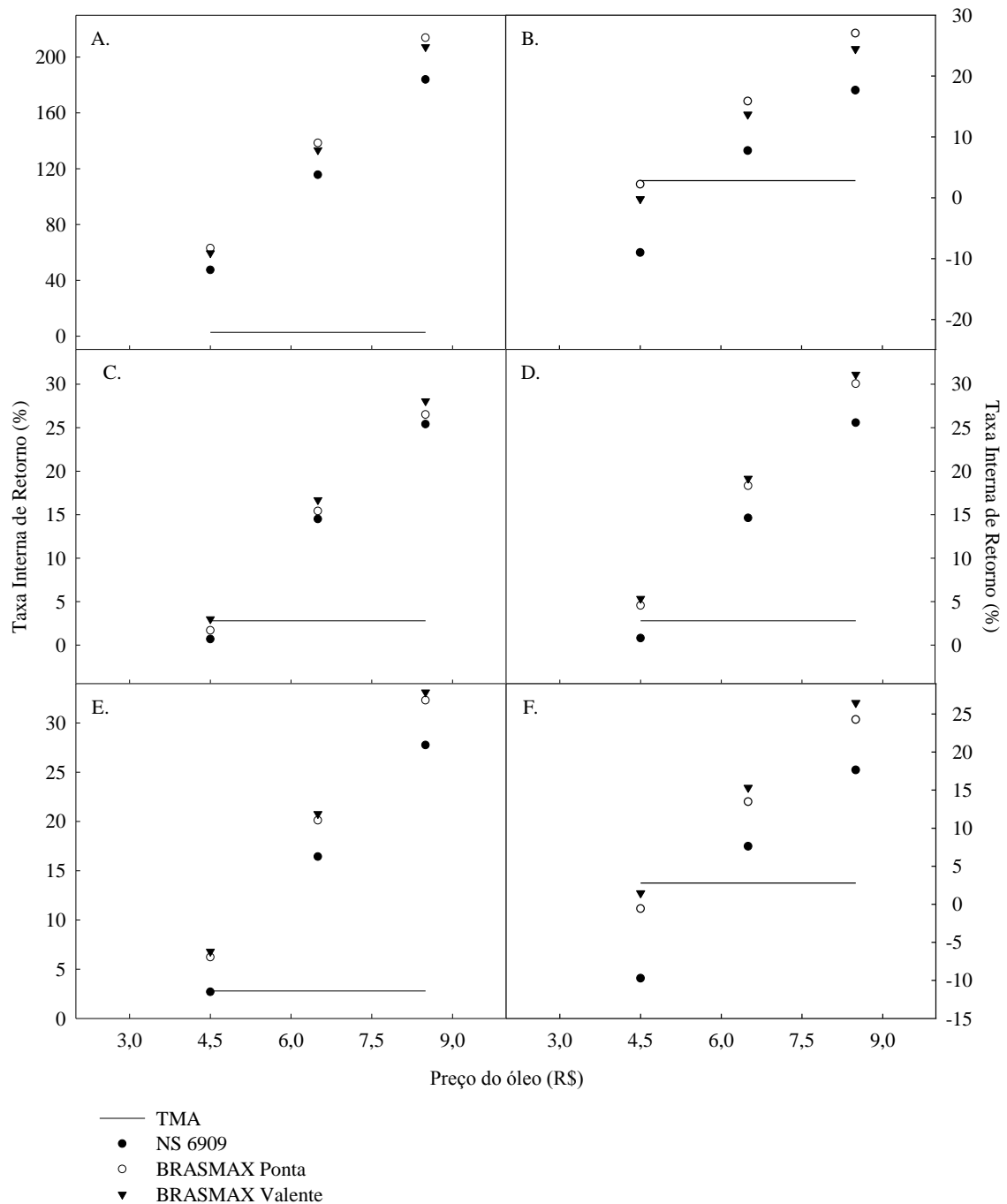
outras duas culturas. Por outro lado, Mupondwa et al. (2016) ao trabalharem com a produção de óleo de camelina em diferentes produtividades de grãos, teores de óleo, TIR, preços de óleo e capacidades de planta de produção, observaram que em baixas produtividades de grãos o VPL retorna negativo em qualquer um dos cenários.

No presente estudo, os maiores lucros líquidos foram diretamente associados ao tratamento com melhor produtividade de grãos (100% da ET₀), com valores de R\$ 1.938,77 .ha⁻¹, R\$ 4.643,18 .ha⁻¹, R\$ 7.347,59 .ha⁻¹, para preços de comercialização de R\$ 4,50, R\$ 6,50 e R\$ 8,50 .kg⁻¹, respectivamente.

Sem considerar a produtividade de grãos, a soja pode trazer retornos menores que culturas com maiores teores de óleo. Adhikari et al. (2017) observaram retornos 31,83% maiores no girassol em relação à cultura da soja, ao avaliarem a viabilidade econômico-financeira da produção de óleo destas culturas.

Os resultados de taxa interna de retorno (TIR) no preço de venda de óleo de R\$ 2,50 .kg⁻¹, não retornaram valores em nenhum dos cenários. Por isso, é possível observar na Figura 2 somente os dados de TIR nos preços de R\$ 4,50, R\$ 6,50 e R\$ 8,50 .kg⁻¹.

Figura 2. Valores de TIR nos tratamentos 0% (A.), 25% (B.), 50% (C.), 75% (D.), 100% (E.) e 125% da ET_0 (F.) em função dos diferentes preços de venda de óleo.



O tratamento sem irrigação apresentou rentabilidade em todos os cenários estudados, com preço de venda de óleo a partir de R\$ 4,50 .kg⁻¹. Entre os tratamentos irrigados o melhor

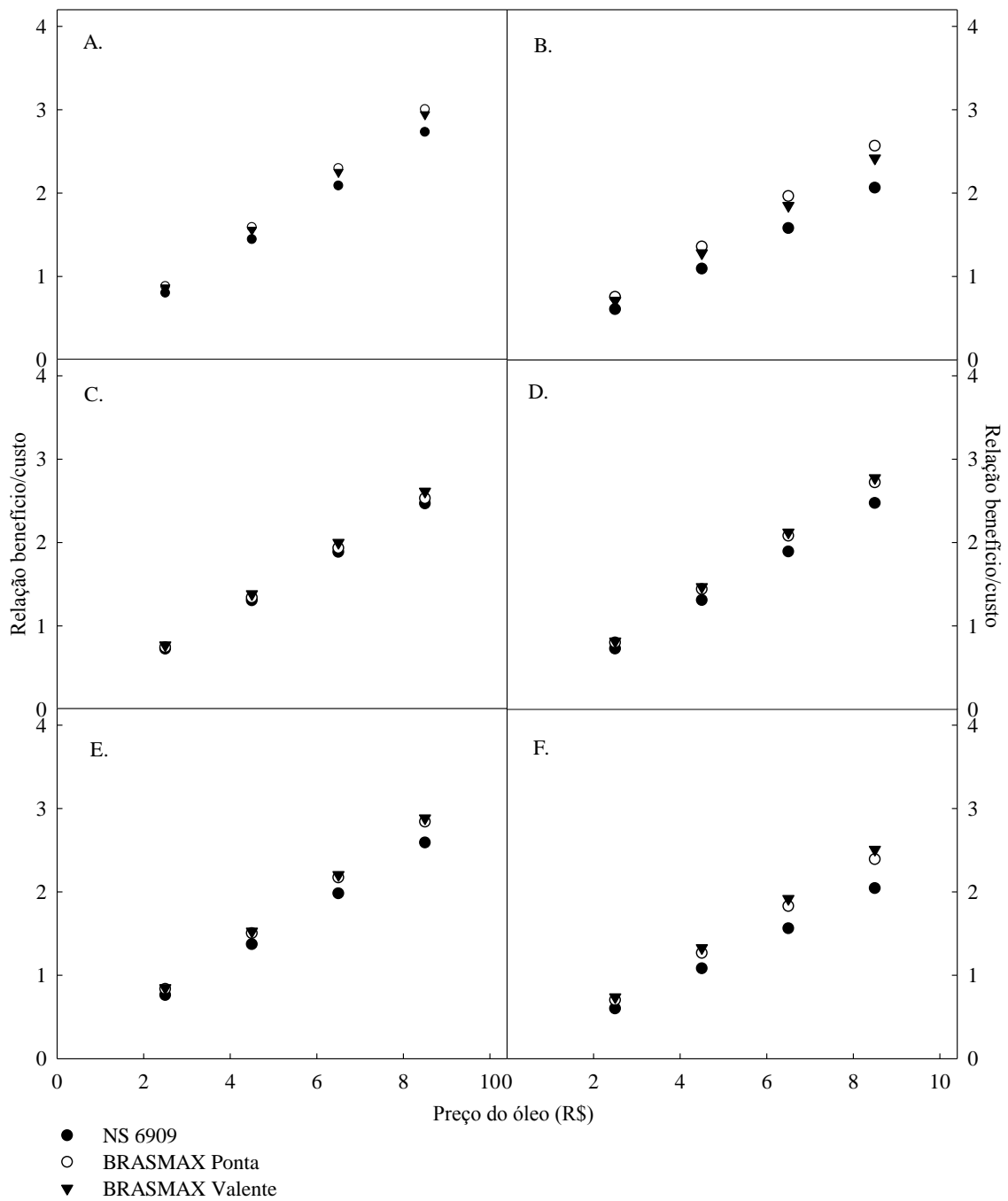
retorno foi observado na lâmina de 100% da ET_o, nos preços de venda de R\$ 6,50 e R\$ 8,50 .kg⁻¹, com valores de 16%, 20% e 21%, e 28%, 32% e 33% para as cultivares NS 6909, BRASMAX Ponta e BRASMAX Valente, respectivamente. Nas lâminas de 25% e 125% da ET_o com preço de R\$ 4,50 .kg⁻¹, os valores da TIR foram menores que a TMA para todas as cultivares.

Kenkel e Holcomb (2008), ao estudarem a produção de biodiesel a partir da canola, girassol e soja, observaram que para baixos preços de comercialização, a soja não é economicamente viável pelo seu teor de óleo, comparada às outras culturas. Os autores ainda destacam, que a produção só se tornou viável com TIR para valores acima do preço médio de mercado, para a cultura da canola.

Kenkel et al. (2006) ao trabalharem com produção de óleo de canola não obtiveram valores de TIR para o menor preço de comercialização, corroborando com os resultados encontrados para o preço de R\$ 2,50 .kg⁻¹. Os mesmos autores também observaram que conforme os preços de venda aumentaram, houve um incremento na TIR, estando de acordo com este estudo.

A relação B/C apresentou valores menores que 1,00 para todas as lâminas e cultivares no preço de venda de óleo de R\$ 2,50 .kg⁻¹, o que demonstra que estes cenários não são favoráveis para o investimento (Figura 3).

Figura 3. Valores de B/C nos tratamentos 0% (A.), 25% (B.), 50% (C.), 75% (D.), 100% (E.) e 125% da ET_0 (F.) em função dos diferentes preços de venda de óleo.

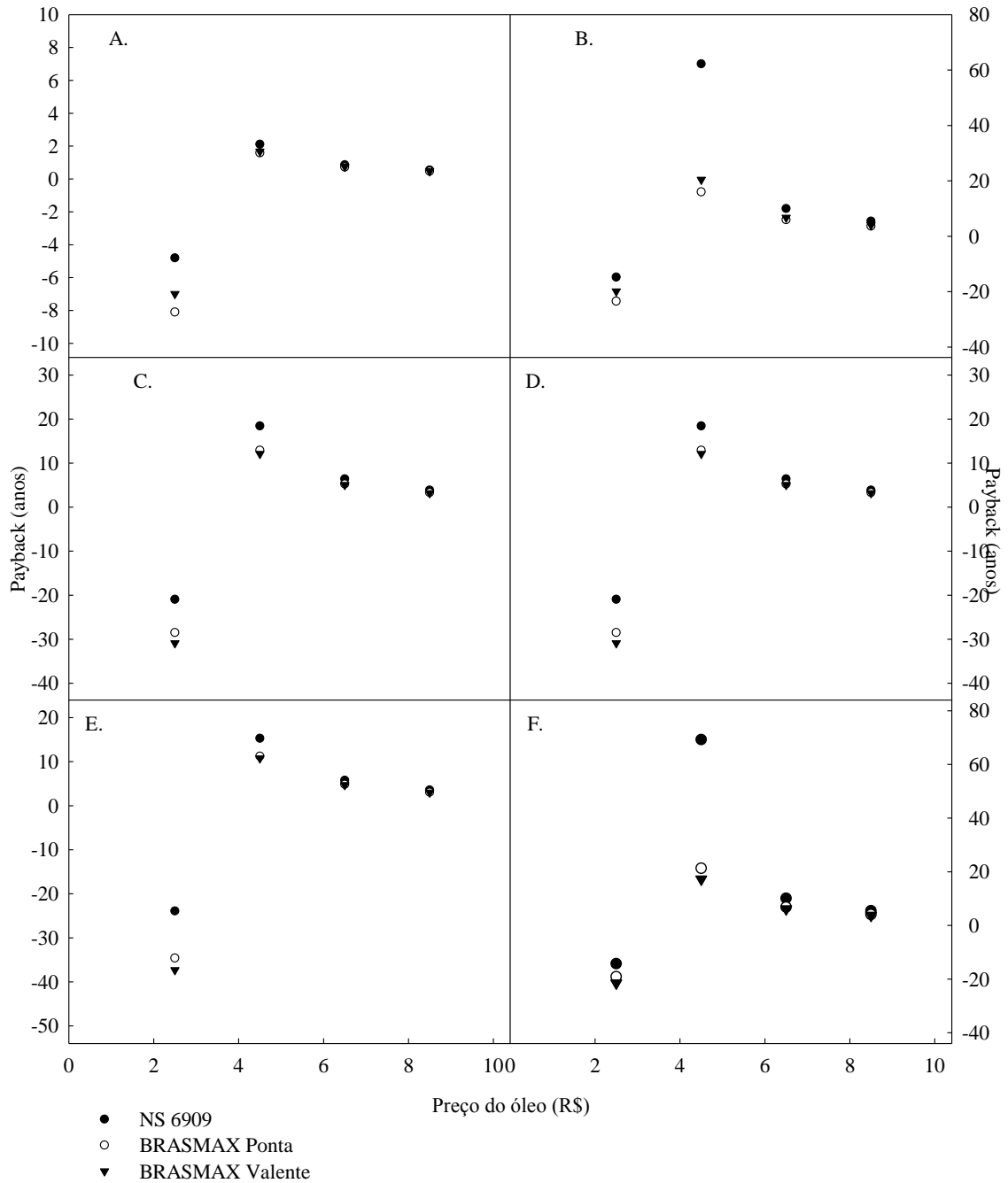


A partir de R\$ 4,50 .kg⁻¹, todos os cenários apresentaram resultados superiores a 1,00, porém os maiores valores foram observados nas lâminas 0% e 100% da ET_O, em todas as cultivares. A irrigação suplementar demonstra ser economicamente viável pois, apesar do tratamento sem irrigação apresentar maiores valores de B/C, os resultados aproximam-se dos valores da lâmina de 100% da ET_O, com diferença de 5,1% para a NS 6909, 5,6% para a BRASMAX Ponta e 2% para a BRASMAX Valente.

Kenkel et al. (2006) observaram uma B/C menor que 1 para dois preços de comercialização mais baixos do óleo de canola, no entanto, a relação se tornou atrativa com o aumento da remuneração. Este comportamento é semelhante ao encontrado neste estudo pois, a B/C foi inferior a 1 para todas as condições testadas com preço de venda de R\$ 2,50 .kg⁻¹ e se tornou rentável com o aumento do valor de comercialização do produto, que foi acima do preço médio.

Na Figura 4 observa-se os valores de PB nos diferentes tratamentos de irrigação em função dos quatro cenários de preços de venda do óleo.

Figura 4. Valores de PB nos tratamentos 0% (A.), 25% (B.), 50% (C.), 75% (D.), 100% (E.) e 125% da ET_O (F.) em função dos diferentes preços de venda de óleo.



Os resultados de PB, a um preço de R\$ 2,50 .kg⁻¹ não foram viáveis para nenhum dos tratamentos de irrigação e cultivares. A venda do óleo a R\$ 4,50 .kg⁻¹ demonstra um PB com alta amplitude, variando entre 2 anos (0% da ET_O), para todas as cultivares, e 69 anos (125% da ET_O) para a NS 6909. Para os preços de R\$ 6,50 .kg⁻¹ e R\$ 8,50 .kg⁻¹, os valores permaneceram abaixo de 10 anos. Mupondwa et al. (2016) observaram que para uma alta produtividade de grãos o PB foi menor que o período de análise, variando entre 0,72 e 17 anos, para qualquer preço de venda do óleo de camelina.

No tratamento sem irrigação foram observados os menores resultados de PB, com seis meses de retorno para todas as cultivares, no preço de R\$ 8,50 .kg⁻¹. Entre os tratamentos irrigados as reposições hídricas de 75% e 100% da ET_O, apresentaram valor médio de 3 anos, representando um retorno econômico mais rápido comparadas às demais lâminas.

Preços de venda maiores e custos de produção mais baixos, apresentaram tempos de retorno menores, como relataram Kenkel et al. (2006), que ao trabalharem com quatro preços de venda de óleo de canola, obtiveram PB somente para as duas remunerações acima do preço médio de comercialização, de 5 e 4 anos, respectivamente. Os resultados de PB encontrados estão de acordo com este estudo, e são semelhantes aos valores do tratamento sem irrigação com preços a partir de R\$ 4,50 .kg⁻¹.

Os resultados demonstram que, a maior rentabilidade foi obtida através de menores custos de produção, alta produção de óleo e maiores preços de venda. O custo da soja e os preços de venda do óleo de soja são fatores críticos para o processo de extração do óleo, por isso preços mais baixos da soja e preços de venda mais altos do óleo são desejáveis (CHENG; ROSENTRATER, 2017).

6 CONCLUSÃO

O tratamento não irrigado e a cultivar NS 6909 apresentaram os menores custos de produção. A lâmina de 125% da ET_0 obteve um custo maior com a cultivar BRASMAX Valente, representando um incremento médio de 39,94%, em relação ao tratamento não irrigado.

Os tratamentos que apresentaram maiores retornos econômico-financeiros foram de 0% e 100% da ET_0 , para todos os indicadores. Os tratamentos de irrigação que apresentaram menor viabilidade econômico-financeiro, segundo os indicadores analisados, foram a 25% e a 125% da ET_0 .

A BRASMAX Valente foi a cultivar que obteve o melhor desempenho nos diferentes cenários para os indicadores analisados. A cultivar que apresentou menor viabilidade econômico-financeira foi a NS 6909.

O preço de comercialização do óleo a R\$ 2,50 .kg⁻¹ não foi economicamente viável, nas diferentes lâminas de irrigação e cultivares. Nos preços de R\$ 6,50 e R\$ 8,50 .kg⁻¹, o retorno econômico-financeiro foi satisfatório para todas as condições testadas.

7 REFERÊNCIAS

ADHIKARI, S.; ILLUKPITIYA, P.; FISSEHA, T.; ENEFIOK, E. **Comparative economic analysis of on-farm biodiesel production**. No. 1377-2016-109908, p. 01-20, 2017. DOI: [10.22004/ag.econ.252766](https://doi.org/10.22004/ag.econ.252766)

ALCON, F.; EGEEA, G.; NORTES, P. A. Financial feasibility of implementing regulated and sustained deficit irrigation in almond orchards. **Irrigation Science**, Berlin, v. 31, n. 5, p. 931-941, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00271-012-0369-6>

ASSEFA, Y.; PURCELL, L. C.; SALMERON, M.; NAEVE, S.; CASTEEL, S. N.; KOVÁCS, P.; ARCHONTOULIS, S.; LICHT, M.; BELOW, F.; KANDEL, H.; LINDSEY, L. E.; GASKA, J.; CONLEY, S.; SHAPIRO, C.; ORLOWSKI, J. M.; GOLDEN, B. R.; KAUR, G.; SINGH, M.; THELEN, K.; LAURENZ, R.; DAVIDSON, D.; CIAMPITTI, I. A. Assessing variation in US soybean seed composition (protein and oil). **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 298, 2019.

AYDINSAKIR, K. Yield and quality characteristics of drip-irrigated soybean under different irrigation levels. **Agronomy Journal**, Madison, v. 110, n. 4, p. 1473-1481, 2018. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.12.0748>

CAO, Y.; LI, S.; WANG, Z.; CHANG, F.; KONG, J.; GAI, J.; ZHAO, T. Identification of major quantitative trait loci for seed oil content in soybeans by combining linkage and genome-wide association mapping. **Frontiers in plant science**, Amsterdam, v. 8, p. 1222, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01222>

CARRÊLO, I.B.; ALMEIDA, R.H.; NARVARTE, L.; MARTINEZ-MORENO, F.; CARRASCO, L.M. Comparative analysis of the economic feasibility of five large-power photovoltaic irrigation systems in the Mediterranean region. **Renewable Energy**, Cyprus. v. 145, p. 2671-2682, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.030>

CATTELAN, A. J.; DALL'AGNOL, A. The rapid soybean growth in Brazil. **Oilseeds & fats Crops and Lipids**. França, v. 25, n. 1, p. D102. 2018. <https://doi.org/10.1051/ocl/2017058>

CAVALCANTE, E. S.; LACERDA, C. F. D.; COSTA, R. N. T.; GHEYI, H. R.; PINHO, L. L.; BEZERRA, F. M. S.; OLIVEIRA, A. C.; CANJÁ, J. F. Supplemental irrigation using brackish water on maize in tropical semi-arid regions of Brazil: yield and economic analysis. **Scientia Agricola**, São Paulo, v. 78, 2021. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2020-0151>

CHENG, M. H.; DIEN, B. S.; SINGH, V. Economics of plant oil recovery: A review. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, Peoria, v. 18, n.1, p. 101056, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101056>

CHENG, M. H.; ROSENTRATER, K. A. Economic feasibility analysis of soybean oil production by hexane extraction. **Industrial crops and products**, Fargo, v. 108, n.1, p. 775-785, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.07.036>

CHENG, M. H.; ROSENTRATER, K. A. Profitability analysis of soybean oil processes. **Bioengineering**, Basel, v. 4, n. 4, p. 83, 2017. <https://doi.org/10.3390/bioengineering4040083>

CHENG, M. H.; ROSENTRATER, K. A. Techno-economic analysis of extruding-expelling of soybeans to produce oil and meal. **Agriculture**, Basel, v. 9, n. 5, p. 87, 2019. <https://doi.org/10.3390/agriculture9050087>

CHENG, M. H.; SEKHON, J. J.; ROSENTRATER, K. A.; WANG, T.; JUNG, S.; JOHNSON, L. A. Environmental impact assessment of soybean oil production: Extruding-expelling process, hexane extraction and aqueous extraction. **Food and Bioprocess Processing**, v. 108, p. 58-68, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.01.001>

DALCHIAVON, F. C.; LORENZON, L. A.; DE ASSIS PERINA, R.; DE OLIVEIRA, R. A.; DOS SANTOS, J. A. Economic opportunity for investment in soybean and sunflower crop system in Mato Grosso, Brazil. **Journal of Experimental Agriculture International**, Hooghly, v.29, n.5, p. 1-12, 2019. <https://doi.org/10.9734/JEAI/2019/45695>

GAJIĆ, B.; KRESOVIĆ, B.; TAPANAROVA, A.; ŽIVOTIĆ, L.; TODOROVIĆ, M. Effect of irrigation regime on yield, harvest index and water productivity of soybean grown under different precipitation conditions in a temperate environment. **Agricultural water management**, Amsterdam, v. 210, n.30, p. 224-231, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.002>

KENKEL, P. L.; HOLCOMB, R. B. **Feasibility of on-farm or small scale oilseed processing and biodiesel**. BC English, J Menard, K Jensen (Eds.), Integration of agricultural and energy systems, Global Bioenergy Partner-ship, Atlanta, Georgia (2008).

KENKEL, P.; HOLCOMB, R. B.; DICKS, M.; DUNFORD, N. **Feasibility of a Producer-Owned Winter Canola Processing Venture**. Oklahoma State University. Alaska, v.1, n.1, p.1-24. 2006.

MERTZ-HENNING, L. M.; FERREIRA, L. C.; HENNING, F. A.; MANDARINO, J. M.; SANTOS, E. D.; OLIVEIRA, M. C.; NEPOMUCENO, A.L.; FARIAS, J. R.B.; NEUMAIER, N. Effect of water deficit-induced at vegetative and reproductive stages on protein and oil content in soybean grains. **Agronomy**, Basel, v. 8, n. 1, p. 3, 2018. <https://doi.org/10.3390/agronomy8010003>

MOURTZINIS, S.; GASPAR, A. P.; NAEVE, S. L.; CONLEY, S. P. Planting date, maturity, and temperature effects on soybean seed yield and composition. **Agronomy Journal**, Madison, v. 109, n. 5, p.2040-2049, 2017. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.05.0247>

MUPONDWA, E.; LI, X.; FALK, K.; GUGEL, R.; TABIL, L. Technoeconomic analysis of small-scale farmer-owned Camelina oil extraction as feedstock for biodiesel production: a case study in the Canadian prairies. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 90, p. 76-86, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.05.042>

POTRICH, E.; MIYOSHI, S. C.; MACHADO, P. F.; FURLAN, F. F.; RIBEIRO, M. P.; TARDIOLI, P. W.; RAQUEL L.C.G.; ANTONIO J.G.C.; GIORDANO, R. C. Replacing hexane by ethanol for soybean oil extraction: Modeling, simulation, and techno-economic-environmental analysis. **Journal of Cleaner Production**. Amsterdam, v. 244, n. 20, p. 118660, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118660>

SANTOS ALVES, C. E.; BELARMINO, L. C.; PADULA, A. D. Feedstock diversification for biodiesel production in Brazil: Using the Policy Analysis Matrix (PAM) to evaluate the impact of the PNPB and the economic competitiveness of alternative oilseeds. **Energy Policy**, Amsterdam, v. 109, p. 297-309, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.07.009>

VAN EIJCK, J.; BATIDZIRAI, B.; FAAIJ, A. Current and future economic performance of first and second generation biofuels in developing countries. **Applied Energy**, Västerås, v. 135, n. 15, p. 115-141, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.015>

1

8 DISCUSSÃO

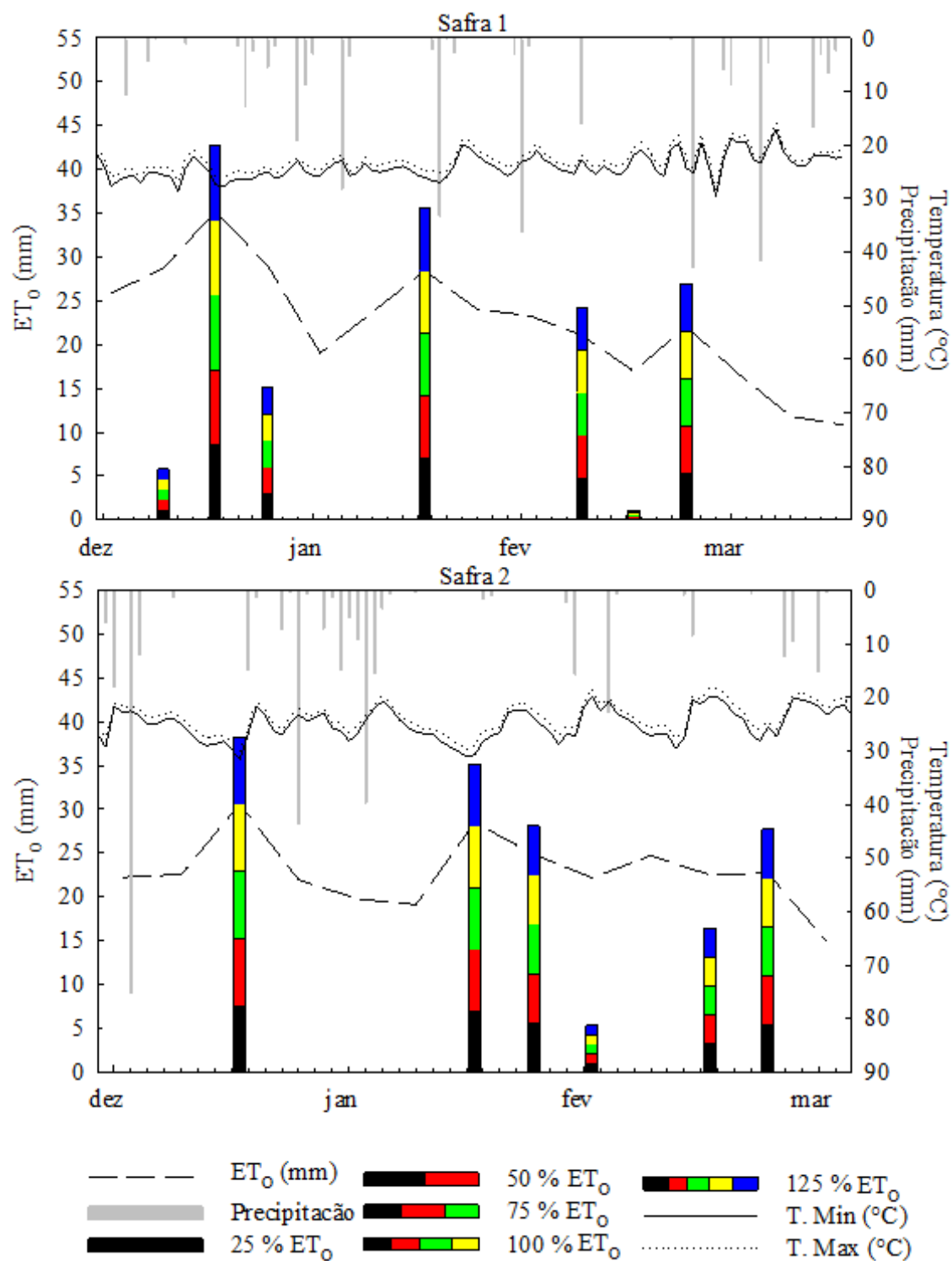
8.1 PRECIPITAÇÃO, EVAPOTRANSPIRAÇÃO E IRRIGAÇÃO

Durante os dois anos de execução do trabalho, a precipitação efetiva apresentou valores aproximados, na safra 1 de 369,18 mm e na safra 2 de 374,55 mm. A irrigação suplementar se fez necessária em ambos os anos, pois a precipitação efetiva não supriu a demanda hídrica e não apresentou distribuição uniforme ao longo dos ciclos. Estudos indicam que um abastecimento de água de aproximadamente 800 mm (ZANON et al., 2016) e entre 765 e 875 mm (TAGLIAPIETRA et al., 2021) são suficientes para maximizar a produtividade da soja.

Os valores de evapotranspiração durante todo o ciclo da cultura nas safras 1 e 2 foram respectivamente de 336,60 e 315,76 mm. Bariviera et al. (2020) em estudos com soja irrigada na safra 2015/16 obtiveram uma evapotranspiração de 267,06 mm e uma precipitação de 922,28 mm com 62 eventos de precipitação ao longo do ciclo da cultura, fato este que justifica a diferença na demanda evapotranspirativa com o presente estudo.

Ao longo do desenvolvimento da cultura foram necessárias a realização de 7 (safra 1) e 6 (safra 2) irrigações (Figura 2). Na safra 1 as irrigações para cada tratamento totalizaram 30,28; 60,56; 90,84; 121,12 e 151,40 mm para as lâminas de 25, 50, 75, 100 e 125% da ET_0 , respectivamente. Na safra 2 as lâminas de irrigação foram de 30,17, 60,34, 90,51, 120,68 e 150,85 mm para 25, 50, 75, 100 e 125% da ET_0 . Corroborando com o presente estudo, Tang et al. (2018) ao avaliarem a necessidade de irrigação da soja na região do Mississippi, observaram que a demanda de irrigação da cultura durante o seu ciclo variou entre 0 a 257 mm para períodos normais de precipitação.

Figura 2 – Dados de precipitação efetiva, evapotranspiração, irrigação e temperaturas máximas e mínimas ao longo do ciclo da cultura, nas safras 1 e 2.



8.2 PRODUTIVIDADE DE GRÃOS, PRODUTIVIDADE DA ÁGUA E PRODUTIVIDADE ECONÔMICA DA ÁGUA

Na produtividade de grãos (Tabela 2), a cultivar BMX Valente obteve os maiores valores de 6.389,23 e 6.123,94 kg.ha⁻¹ nos dois anos, não apresentando diferença estatística significativa com a cultivar BMX Ponta, e os menores resultados foram observados na NS 6909 (5.715,41 e 5.395,36 kg.ha⁻¹). 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.

Tabela 2 - Produtividade de grãos (kg.ha⁻¹), produtividade da água (PA) (kg.ha⁻¹.mm⁻¹) e produtividade econômica da água (PEA) (US\$.ha⁻¹.mm⁻¹) para as diferentes cultivares de soja nas safras 1 e 2.

Cultivares	Produtividade		PA		PEA	
	Safra 1	Safra 2	Safra 1	Safra 2	Safra 1	Safra 2
NS 6909	5.715,41b*	5.395,36b	12,92b	12,08b	4,21b	3,77b
BMX Ponta	5.990,72ab	5.916,43a	13,59ab	13,24a	4,43ab	4,13a
BMX Valente	6.389,23a	6.123,94a	14,47a	13,70a	4,72a	4,28a
**CV (%)	12,27	10,27	12,71	11,25	12,71	11,25

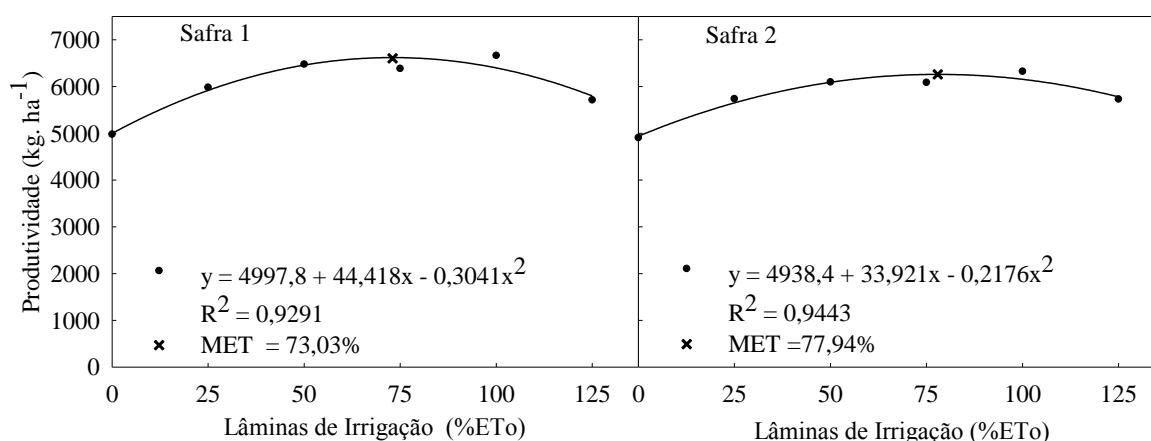
*Médias seguidas de letras minúsculas na vertical diferem-se significativamente entre si à nível de 5% de probabilidade de erro. **CV = coeficiente de variação.

As três cultivares estudadas responderam igualmente a irrigação, diferentemente do estudo 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 produtividade da cultura da soja respondeu positivamente à quantidade de água fornecida, apresentando comportamento semelhante em ambas as safras. Estas respostas estão de acordo com um estudo realizado na cidade de Salto, Uruguai por Montoya et al. (2017) onde constataram que o desenvolvimento da cultura da soja foi semelhante nos dois anos de estudo, em relação ao ciclo total da cultura e ao tempo térmico acumulado.

A máxima eficiência técnica para as lâminas de irrigação na safra 1 foi atingida aos 73,03% da ET_0 , proporcionando uma produtividade de 6.602,92 $kg \cdot ha^{-1}$. Na safra 2, a máxima eficiência técnica foi com 77,94% da ET_0 , o que proporcionou uma produção de 6.260,36 $kg \cdot ha^{-1}$. A produtividade da soja irrigada variou de 4.978,45 a 6.661,96 $kg \cdot ha^{-1}$ na safra 1, e 4.903,75 a 6.324,44 $kg \cdot ha^{-1}$ na safra 2, notando-se pouca diferença entre as safras (Figura 3).

Figura 3 – Produtividade de grãos da cultura da soja em função das diferentes lâminas de irrigação, nas safras 1 e 2.



O incremento na produtividade da soja com as lâminas de irrigação de 25, 50, 75, 100 e 125% da ET_0 em relação ao tratamento sem irrigação, foram respectivamente de 20,13%, 30,09%, 28,22%, 33,82% e 14,69% na safra 1 e de 16,95%, 24,29%, 24,08%, 28,97% e 16,82% na safra 2. Montoya et al. (2017) relatam que o uso de irrigação suplementar na cultura da soja proporcionou aumento na produtividade de grãos em até 35% em relação ao experimento não irrigado. Os autores ainda relatam que os valores máximos de rendimento de grãos foram alcançados no tratamento de irrigação de 75% da evapotranspiração da cultura, sendo esses valores semelhantes a máxima eficiência técnica encontrada no presente estudo.

As menores médias de produtividade de grãos foram obtidas na testemunha com 4.978,45 (safra 1) e 4.903,75 $kg \cdot ha^{-1}$ (safra 2) e as maiores médias de produtividade de 6.661,96 e 6.324,44 $kg \cdot ha^{-1}$ foram obtidas na lâmina de 100% da ET_0 nas duas safras, respectivamente. Apresentando um aumento de 33,82% e 28,97% na comparação entre a testemunha e a lâmina de 100% da ET_0 .

Maiores valores foram observados por Candoğan e Yazgan (2016) e Gajić et al. (2018), que ao avaliarem diferentes tratamentos de irrigação observaram um incremento de 50,6% e 42% do tratamento que obteve maior produtividade com relação ao tratamento não irrigado,

respectivamente. Semelhante a este estudo, Panday et al. (2018) observaram um aumento na produtividade de 27% na comparação entre tratamento irrigado e não irrigado.

Gava et al. (2018) estudando diferentes cultivares de soja, observaram que a irrigação suplementar contribui para uma maior produtividade em cultivares de ciclo intermediário do que em cultivares de ciclo superprecoce. As respostas das três cultivares avaliadas neste estudo, que são de ciclo intermediário, corroboram com os resultados encontrados nestes estudos, pois, a irrigação incrementou da produtividade a partir da lâmina de 25% da ET_0 .

A cultivar BMX Valente obteve valores de produtividade de água de 14,47 (safra 1) e 13,70 $kg \cdot ha^{-1} \cdot mm^{-1}$ (safra 2) e produtividade econômica da água de US\$ 4,72 (safra 1) e US\$ 4,28 $ha^{-1} \cdot mm^{-1}$ (safra 2) para a produção de grãos, sendo estes os maiores resultados na comparação das cultivares, não apresentando diferença estatística significativa com a BMX Ponta. Os menores resultados foram observados para cultivar NS 6909 com valores de produtividade da água de 12,92 e 12,08 $kg \cdot ha^{-1} \cdot mm^{-1}$ e produtividade econômica da água US\$ 4,21 e US\$ 3,77 $ha^{-1} \cdot mm^{-1}$ 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 $kg \cdot ha^{-1} \cdot mm^{-1}$, respectivamente.

Os menores valores de produtividade da água foram obtidos na lâmina de 125% da ET_0 com resultados de 10,97 (safra 1) e 10,94 $kg \cdot ha^{-1} \cdot mm^{-1}$ (safra 2). A maior produtividade econômica da água também foi obtida nas lâminas de 50% e 25% da ET_0 , com resultados de US\$ 5,12 e US\$ 4,42 $ha^{-1} \cdot mm^{-1}$ nas safras 1 e 2, respectivamente.

Os maiores valores de produtividade econômica da água corresponderam de 27,34% e 23,08% de incremento em relação aos menores valores de US\$ 3,72 e US\$ 3,40 $ha^{-1} \cdot mm^{-1}$, obtidos na lâmina de 125% da ET_0 . Reafirmando que, disponibilidades de água acima da demanda evapotranspirativa da cultura, diminuem a eficiência produtiva do sistema.

Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Candogan et al. (2013), que observaram os maiores valores de produtividade da água para uma lâmina de 25% da ET_C . Porém os autores relatam que esta estratégia de irrigação pode causar uma redução de rendimento de grãos de 27,5%, diferenciando-se deste estudo onde foi obtido uma redução na produtividade de 2,78% (safra 1) e 9,32% (safra 2).

A tomada de decisão no momento da irrigação pode ser facilitada com estes resultados, optando-se por fornecer uma disponibilidade de água maior para um maior incremento na produtividade, ou em um momento de escassez de água em reservatório ou economia de custos com água, por uma lâmina menor (CANDOGAN et al., 2013; ÇETIN; KARA, 2019).

Resultados diferentes foram encontrados por Panday et al. (2018), ao compararem a produtividade de soja em sequeiro (600 mm de precipitação no ciclo) e irrigada, obtiveram maiores valores de produtividade da água no tratamento que recebeu irrigação suplementar. Assim como Adeboye et al. (2015) que obteve o pico na produtividade de água no tratamento de irrigação plena. Em contrapartida, Gajić et al. (2018) obteve um valor de produtividade da água no tratamento não irrigado 10% maior que no tratamento de 100% de reposição de água.

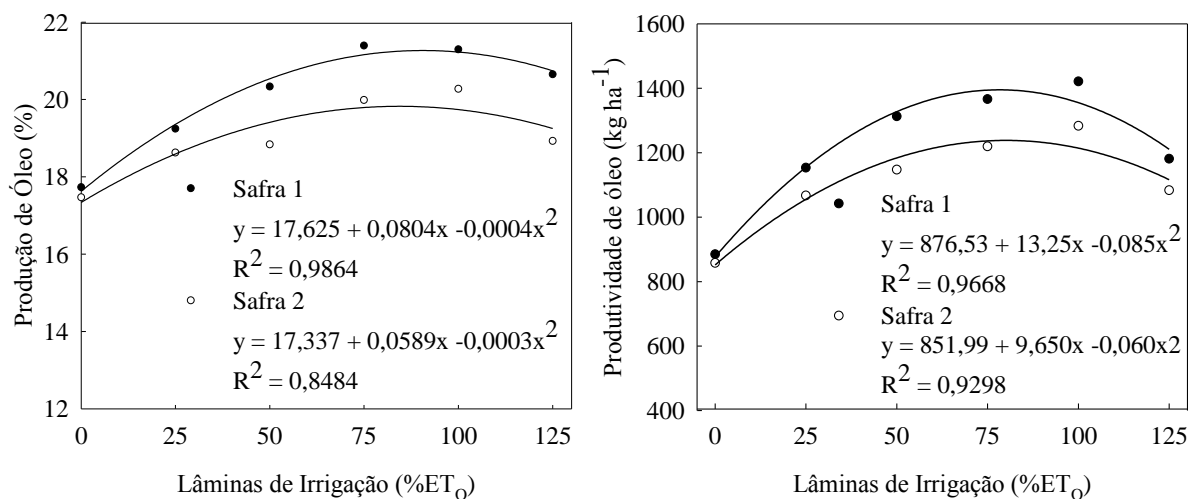
Já Montoya et al. (2017) verificaram que a produtividade da água foi maior nos tratamentos com menor disponibilidade hídrica e o menor resultado no tratamento com plena reposição de água com base na evapotranspiração da cultura.

Diferentemente do que foi encontrado neste estudo, Adeboye et al. (2015) observaram uma maior produtividade econômica da água no tratamento de plena irrigação comparado a tratamentos que receberam déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos da soja. Ben et al. (2017) relatam que a utilização da menor quantidade de irrigação proporcionou a maior produtividade econômica da água para cultura do arroz, e que este cálculo mostra a condição da irrigação que torna a produção economicamente mais eficiente, pois o volume de água é suficientemente baixo para permitir uma produção econômica, estando de acordo com os resultados encontrados neste estudo.

8.3 CONTEÚDO DE ÓLEO, PRODUTIVIDADE DE ÓLEO, PRODUTIVIDADE DA ÁGUA E PRODUTIVIDADE ECONÔMICA DA ÁGUA

Em relação ao conteúdo de óleo no grão os maiores valores foram obtidos nas lâminas de 75% (safra 1) e 100% (safra 2), sendo 21,39% e 20,28%, respectivamente (Figura 4). Em ambas as safras, os menores valores foram observados no tratamento sem irrigação, com aproximadamente 17%. Diferentemente do presente estudo, Aydinsakir et al. (2021) ao avaliarem o conteúdo de óleo da soja em diferentes disponibilidades hídricas, observaram que em dois anos de estudo os maiores valores encontrados foram no tratamento sem irrigação. Neste mesmo estudo foram observados valores de conteúdo de óleo que ficaram abaixo de 20% em todos os tratamentos. Por outro lado, Aydinsakir (2018) encontrou resultados de conteúdo de óleo que variaram entre 18,2 e 22,3% e com os maiores valores no tratamento não irrigado.

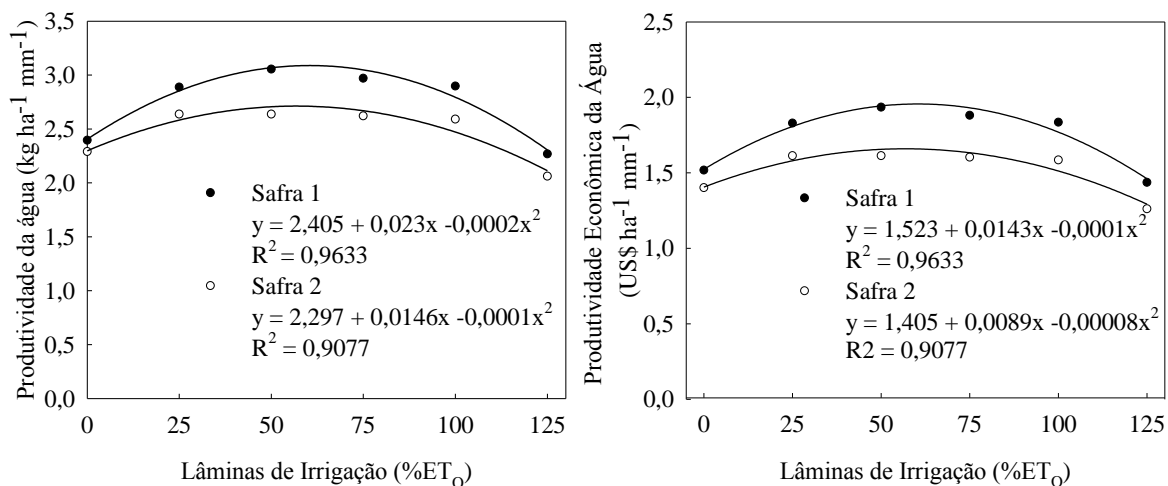
Figura 4 - Produção de óleo (%) e produtividade de óleo (kg ha⁻¹) para as diferentes lâminas de irrigação nas safras 1 e 2.



Os menores resultados para produtividade de óleo, foram obtidos na lâmina de 0% da ET₀, apresentando valores de 884,65 kg.ha⁻¹ (safra 1) e 857,70 kg.ha⁻¹ (safra 2). Já os maiores valores foram de 1.420,97 kg.ha⁻¹ (safra 1) e 1.283,44 kg.ha⁻¹ (safra 2), na lâmina de irrigação de 100% da ET₀, respectivamente. A suplementação da irrigação nas oleaginosas em períodos de maior demanda da cultura como na floração e enchimento de grãos favorece o aumento da produtividade de óleo (MOHTASHAMI et al., 2020).

Para as avaliações de produtividade da água e produtividade econômica da água na produção de óleo não foi observada interação entre os fatores lâminas de irrigação e cultivares, segundo a análise de variância a nível de 5% de probabilidade de erro (Figura 5). O comportamento observado para estas avaliações foi o mesmo para as duas safras, sendo que os menores valores foram para a lâminas de 125% da ET₀, com produtividade da água de 2,27 e 2,06 kg.ha⁻¹.mm⁻¹ e produtividade econômica da água de 1,44 e 1,94 US\$.ha⁻¹.mm⁻¹, nas safras 1 e 2.

Figura 5 – Produtividade da água ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) e produtividade econômica da água ($\text{US\$ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) para as diferentes lâminas de irrigação.



No primeiro ano de estudo, os maiores valores para produtividade da água e produtividade econômica da água foram obtidos na lâmina de 50% da ET_0 com $3,05 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ e $\text{US\$ } 1,94 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$. Por outro lado, na segunda safra foram observados os maiores valores médios para as lâminas de 25% e 50% da ET_0 , sendo a produtividade da água $2,64 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ e a produtividade econômica da água $\text{US\$ } 1,61 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$.

O estresse hídrico severo pode reduzir a produtividade econômica da água para a produção de óleo de girassol em até 20% (MORADI-GHAHDERIJANI; JAFARIAN; KESHAVARZ, 2017). No presente estudo, para as três cultivares de soja, esta redução foi de 13,18% comparando os tratamentos que obtiveram os maiores valores com o tratamento não irrigado, e 21,81% em comparação ao tratamento de 125% que apresentou a maior redução.

A cultivar NS 6909 obteve os menores valores médios em todas as análises, com resultados de produção de óleo de 19,38% e 18,83%, produtividade de óleo de 1.114,91 e 1.018,43 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, produtividade da água de 2,51 e 2,27 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ e produtividade econômica da água de $\text{US\$ } 1,59$ e $\text{US\$ } 1,39 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$, para as safras 1 e 2, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3 – Produção de óleo (%), produtividade de óleo ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), produtividade da água (PA, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) e produtividade econômica da água (PEA, $\text{US}\$\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) para as diferentes cultivares.

Cultivares	Safrá 1				Safrá 2			
	Produção de óleo	Produtividade de óleo	PA	PEA	Produção de óleo	Produtividade de óleo	PA	PEA
NS 6909	19,38c*	1.114,91b	2,51b	1,59b	18,83ab	1.018,43b	2,27b	1,39b
BMX Ponta	20,82a	1.252,06a	2,83a	1,79a	19,54a	1.136,77a	2,59a	1,59a
BMX Valente	20,12b	1.292,46a	2,90a	1,84a	18,69b	1.146,94a	2,55a	1,56a
**CV (%)	4,29	12,59	12,88	12,88	5,43	12,47	13,32	13,32

* Médias seguidas de letras minúsculas na vertical diferem-se significativamente entre si à nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey.

**CV = coeficiente de variação.

A cultivar BMX Ponta apresentou os maiores valores de produção de óleo de 20,82% e 19,54%, em ambas as safras. Apresentando os maiores valores na safra 2 para produtividade da água ($2,59 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) e produtividade econômica da água ($\text{US}\$ 1,59 \cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$).

Para as avaliações de produtividade de óleo a cultivar BMX Valente apresentou os maiores valores médios de 1.292,46 e 1.146,94 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ nas safras 1 e 2, respectivamente. A produtividade da água foi de $2,90 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ e a produtividade econômica da água de $\text{US}\$ 1,84 \cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$, sendo estes os maiores valores no primeiro ano de estudo (safra 1).

Estes resultados estão de acordo com Junior et al. (2017), que obtiveram valores de conteúdo de óleo de quatro cultivares de soja que variaram entre 17,8% e 20,3%. Assim como Flajšman et al. (2019), que observaram valores de conteúdo de óleo entre 16,7% e 22,1%, e maior produtividade de óleo de $918,9 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, trabalhando com seis cultivares de soja. Por outro lado, Faria et al. (2018) trabalhando com sete cultivares de soja, obtiveram resultados de conteúdo e produtividade de óleo entre 20,7% e 26,7% e 574 e $1.072 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente.

8.4 CUSTOS E INDICADORES ECONÔMICOS

O CFNRI foi de $\text{R}\$ 2.403,38 \cdot\text{ha}^{-1}$ e o CFRI foi de $\text{R}\$ 1.378,70 \cdot\text{ha}^{-1}$, para as três cultivares nos dois anos de experimento. Os CVRI para a safra 1 foram de $\text{R}\$ 124,04$ (25%), $\text{R}\$ 142,28$ (50%), $\text{R}\$ 160,51$ (75%), $\text{R}\$ 162,37$ (100%) e $\text{R}\$ 196,99 \cdot\text{ha}^{-1}$ (125%), para a

segunda safra foram de R\$ 120,26, R\$ 138,44, R\$ 156,61, R\$ 158,45 R\$ 192,95 .ha⁻¹, nas respectivas lâminas de irrigação. Dalchiavon et al. (2019) obtiveram um custo de produção na cultura da soja de R\$ 3.063,00 .ha⁻¹ sem a utilização da irrigação, este valor é 27% superior ao CFNRI deste estudo.

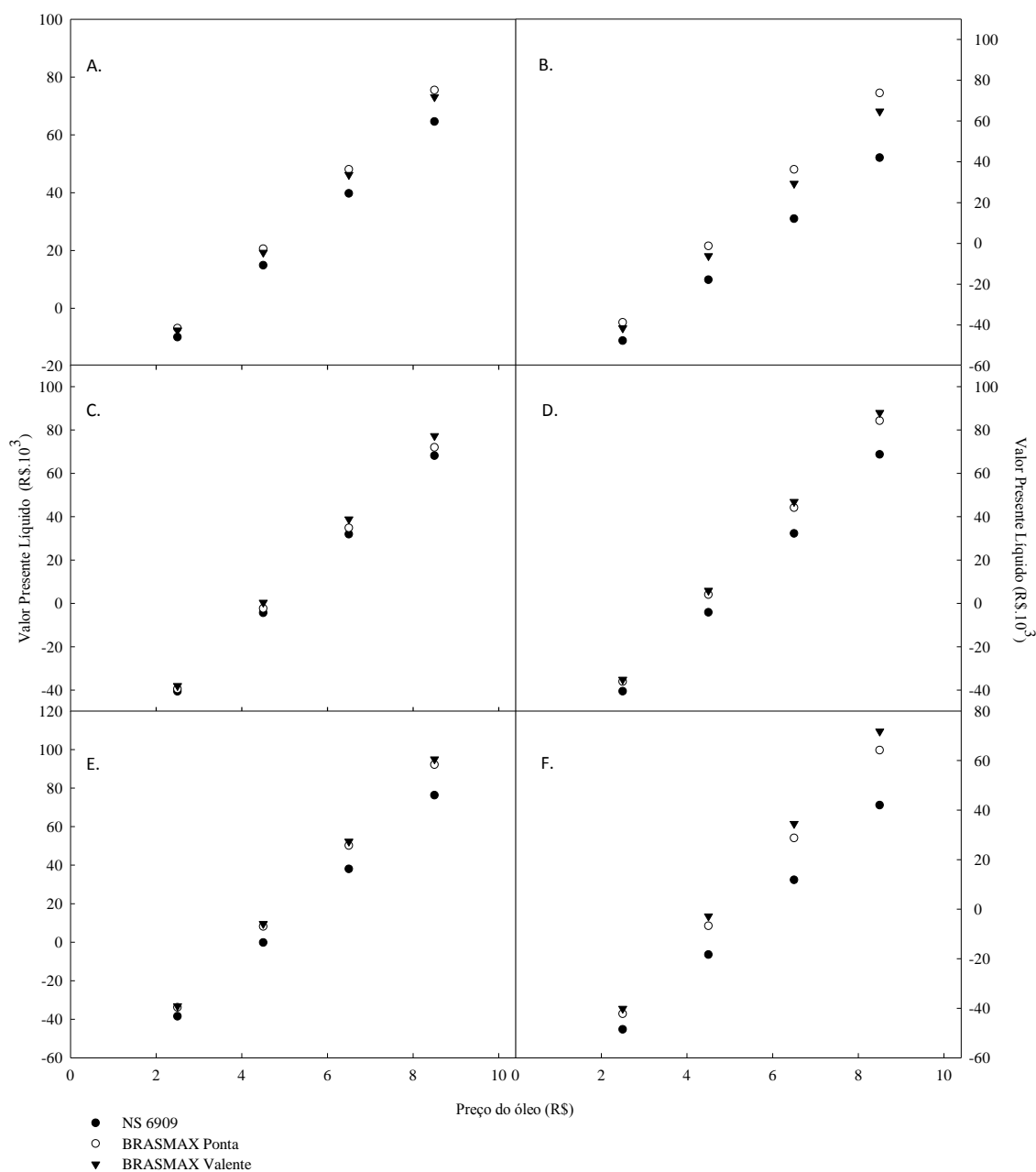
Na primeira safra, os custos médios de produção de óleo entre as lâminas de irrigação, variaram de R\$ 156,15 .ha⁻¹ (0% da ET_O) e R\$ 208,96 .ha⁻¹ (100% da ET_O), estes resultados apresentam diferença de 25,27%. Na testemunha, houve uma variação entre as cultivares de 11,62% nos custos, sendo o menor valor para a NS 6909 (R\$ 144,95 .ha⁻¹) e o maior para a BMX Ponta (R\$ 164,01 .ha⁻¹). A cultivar NS 6909 obteve o valor de R\$ 203,67 .ha⁻¹ e a BMX Valente de R\$ 217,58 .ha⁻¹, na lâmina de 100% da ET_O, variando em 6,39% no custo da produção de óleo.

Os custos médios de produção de óleo entre lâminas de irrigação, na segunda safra, variaram de R\$ 153,81 .ha⁻¹ (0% da ET_O) a R\$ 198,37 .ha⁻¹ (100% da ET_O), representando 22,46% de diferença. A cultivar NS 6909 apresentou um custo de R\$ 150,02 .ha⁻¹ que é 5,47% menor que o custo de óleo para a BMX Valente, que apresentou um valor de R\$ 158,71 .ha⁻¹, na testemunha. Na lâmina de 100% da ET_O, o menor valor foi de R\$ 191,13 .ha⁻¹ para a NS 6909 e o maior valor de R\$ 204,92 .ha⁻¹ para a BMX Valente, o que representou 6,73% de variação.

Os custos de produção para os dois anos de experimento foram menores no tratamento sem irrigação para a cultivar NS 6909 com valores de R\$ 2.548,34 e R\$ 2.553,40 nas safras 1 e 2, respectivamente. Os maiores valores foram para a cultivar BMX Valente na lâmina de 125% da ET_O de R\$ 4.170,05 e R\$ 4.174,12 nas safras 1 e 2, respectivamente. Na safra 1 a diferença entre os custos do tratamento não irrigado e da lâmina de 125% da ET_O foi de 41,04% e, na safra 2, essa amplitude foi de 38,83%.

Os maiores valores de VPL foram obtidos na lâmina de 100% da ET_O com um preço de óleo de R\$ 8,50 .kg⁻¹, sendo de R\$ 76.264,04 (NS 6909), R\$ 92.153,16 (BMX Ponta) e R\$ 95.025,44 (BMX Valente). No cenário de preço de venda de R\$ 2,50 .kg⁻¹ o VPL não demonstrou viabilidade em nenhuma das lâminas e cultivares estudadas (Figura 6).

Figura 6 - Valores de VPL nos tratamentos 0% (A.), 25% (B.), 50% (C.), 75% (D.), 100% (E.) e 125% da ETo (F.) em função dos diferentes preços de venda de óleo.



Corroborando com os resultados deste estudo, onde o investimento se tornou viável para valores superiores ao preço médio de comercialização, Kenkel et al. (2006) ao analisarem a viabilidade econômico-financeira da produção de óleo de canola com quatro preços de comercialização encontraram VPL negativo para os dois menores preços e positivo somente a partir do preço médio de venda.

Para o preço de R\$ 4,50 .kg⁻¹ alguns cenários apresentaram VPL negativo e somente o tratamento não irrigado retornou valores positivos para todas as cultivares, sendo R\$ 14.866,50 para a NS 6909, R\$ 20.559,68 para a BMX Ponta e R\$ 19.288,46 para a BMX Valente.

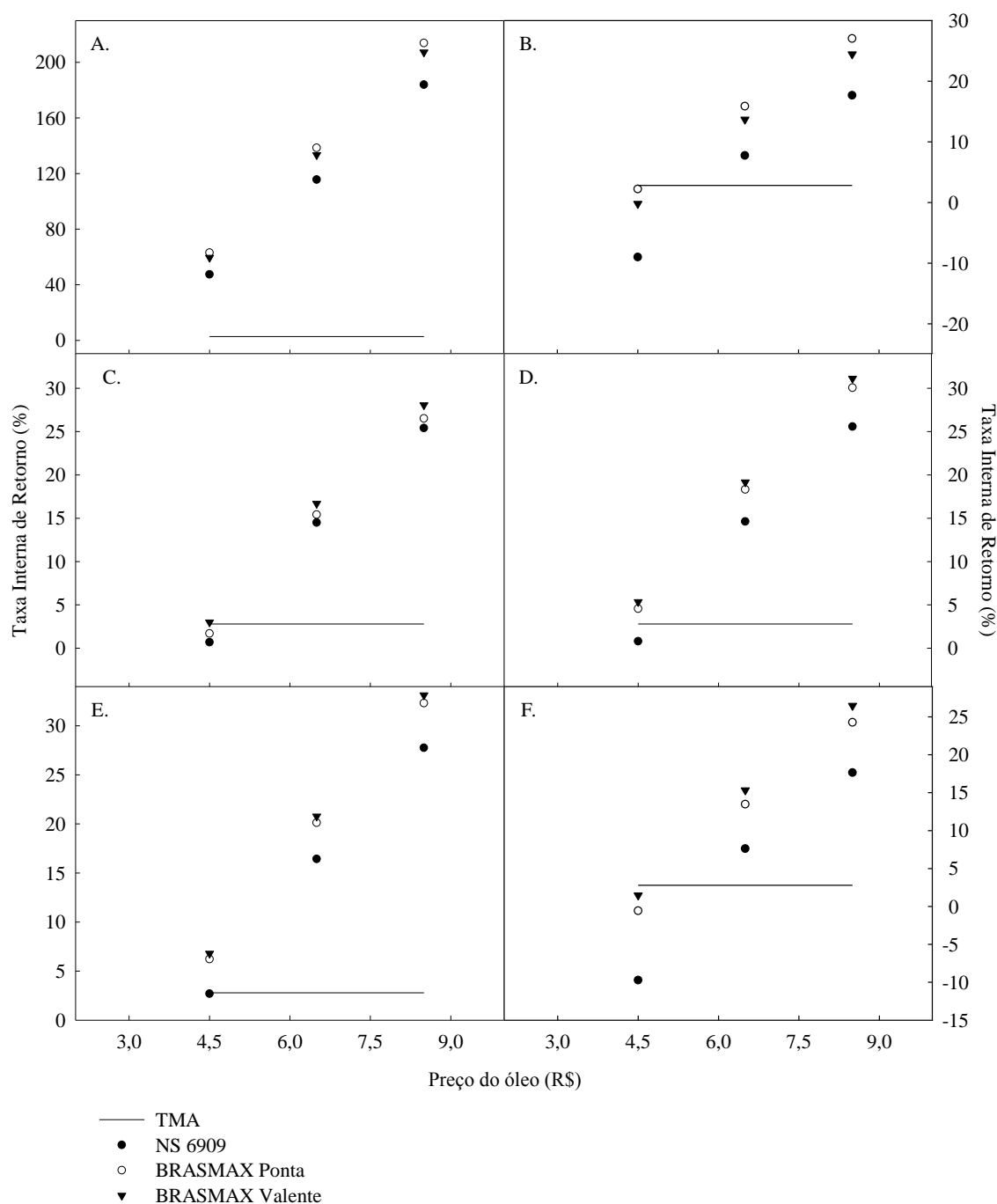
Com a utilização e o aumento da lâmina de irrigação, o VPL apresentou crescimento de 75,5%, 22,1% e 30% entre o tratamento não irrigado e a lâmina de 100% da ET_O, no cenário de R\$ 8,50 .kg⁻¹, para as cultivares NS 6909, BMX Ponta e BMX Valente, respectivamente. Um acréscimo no VPL de 51,04%, na comparação entre os dois maiores preços de venda, foi observado por Kenkel et al. (2006). No presente estudo, o aumento foi de 72,76% para a cultivar BMX Ponta no tratamento não irrigado e 89,90% para a cultivar BMX Valente na lâmina de 100% da ET_O, comparando os preços de R\$ 4,50 e R\$ 8,50 .kg⁻¹.

Santos Alves et al. (2017), ao compararem três culturas (soja, canola e girassol), observaram que a soja apresentou rentabilidade na produção de óleo. Segundo os autores, isto se deve à maior produtividade de grãos da soja, visto que o teor de óleo é menor comparado às outras duas culturas. Por outro lado, Mupondwa et al. (2016) ao trabalharem com a produção de óleo de camelina em diferentes produtividades de grãos, teores de óleo, TIR, preços de óleo e capacidades de planta de produção, observaram que em baixas produtividades de grãos o VPL retorna negativo em qualquer um dos cenários.

No presente estudo, os maiores lucros líquidos foram diretamente associados ao tratamento com melhor produtividade de grãos (100% da ET_O), com valores de R\$ 1.938,77, R\$ 4.643,18 e R\$ 7.347,59 .ha⁻¹, para preços de comercialização de R\$ 4,50, R\$ 6,50 e R\$ 8,50 .kg⁻¹, respectivamente. Sem considerar a produtividade de grãos, a soja pode trazer retornos menores que culturas com maiores teores de óleo. Adhikari et al. (2017) observaram retornos 31,83% maiores no girassol em relação à cultura da soja, ao avaliarem a viabilidade econômico-financeira da produção de óleo destas culturas.

Os resultados de taxa interna de retorno (TIR) no preço de venda de óleo de R\$ 2,50 .kg⁻¹, não retornaram valores em nenhum dos cenários. O tratamento sem irrigação apresentou rentabilidade em todos os cenários estudados, com preço de venda de óleo a partir de R\$ 4,50 .kg⁻¹. Entre os tratamentos irrigados o melhor retorno foi observado na lâmina de 100% da ET_O, nos preços de venda de R\$ 6,50 e R\$ 8,50 .kg⁻¹, com valores de 16%, 20% e 21%, e 28%, 32% e 33% para as cultivares NS 6909, BMX Ponta e BMX Valente, respectivamente. Nas lâminas de 25% e 125% da ET_O com preço de R\$ 4,50 .kg⁻¹, os valores da TIR foram menores que a TMA para todas as cultivares (Figura 7).

Figura 7 - Valores de TIR nos tratamentos 0% (A.), 25% (B.), 50% (C.), 75% (D.), 100% (E.) e 125% da ETo (F.) em função dos diferentes preços de venda de óleo.

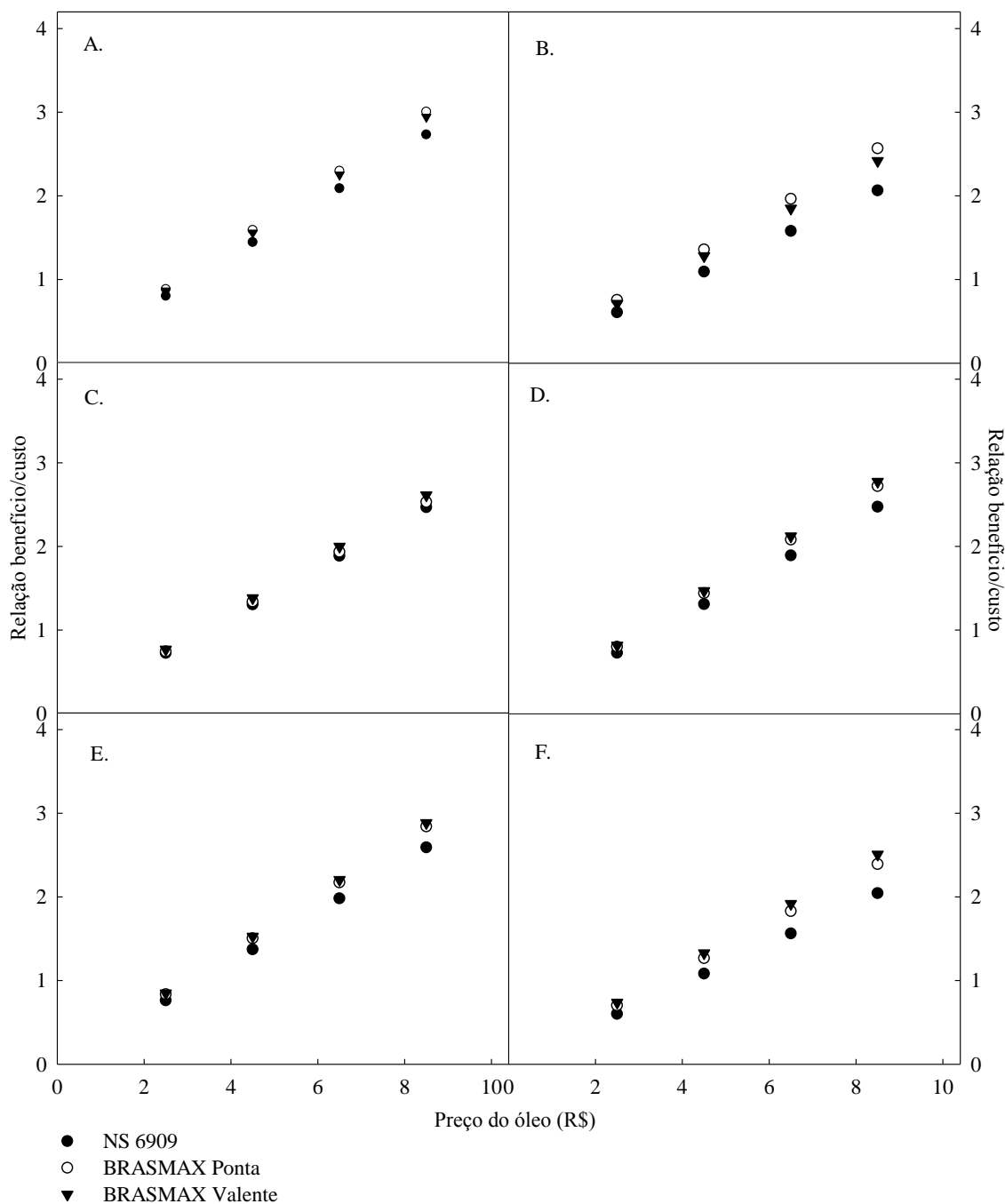


Kenkel e Holcomb (2008), ao estudarem a produção de biodiesel a partir da canola, girassol e soja, observaram que para preços menores de comercialização, a soja não é economicamente viável pelo seu baixo teor de óleo, comparada às outras culturas. Os autores ainda destacam, que a produção só se tornou viável com TIR para valores acima do preço médio de mercado, para a cultura da canola.

Kenkel et al. (2006), ao trabalharem com produção de óleo de canola não obtiveram valores de TIR para o menor preço de comercialização, corroborando com os resultados encontrados para o preço de R\$ 2,50 .kg⁻¹. Os mesmos autores também observaram que conforme os preços de venda aumentaram, houve um incremento na TIR, estando de acordo com este estudo.

A relação B/C apresentou valores menores que 1,00 para todas as lâminas e cultivares no preço de venda de óleo de R\$ 2,50 .kg⁻¹, o que demonstra que estes cenários não são favoráveis para o investimento. A partir de R\$ 4,50 .kg⁻¹, todos os cenários apresentaram resultados superiores a 1,00, porém os maiores valores foram observados nas lâminas 0% e 100% da ET₀, em todas as cultivares (Figura 8).

Figura 8 - Valores de B/C nos tratamentos 0% (A.), 25% (B.), 50% (C.), 75% (D.), 100% (E.) e 125% da ETo (F.) em função dos diferentes preços de venda de óleo.

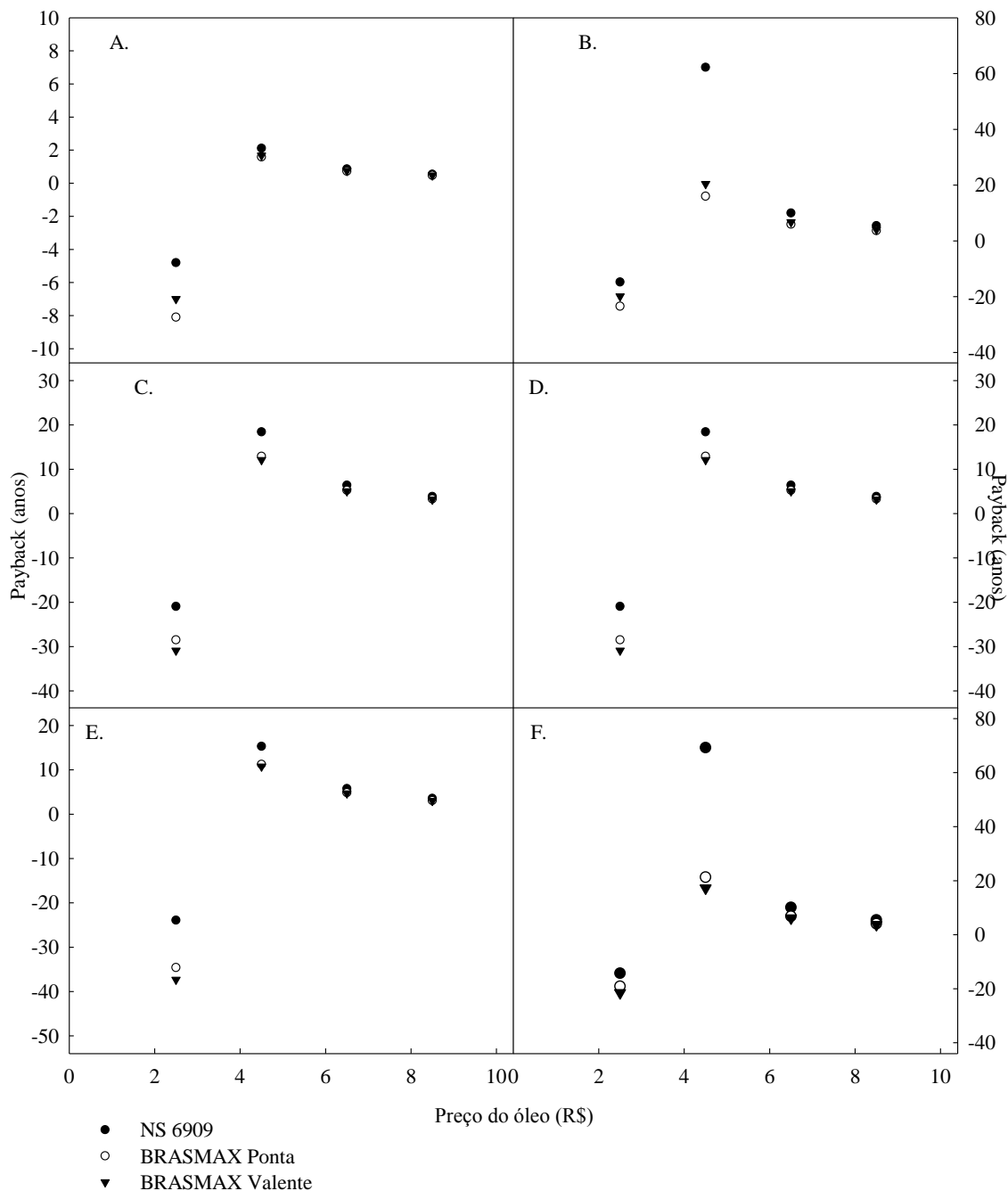


A irrigação suplementar demonstra ser economicamente viável pois, apesar do tratamento sem irrigação apresentar maiores valores de B/C, os resultados aproximam-se dos valores da lâmina de 100% da ETo , com diferença de 5,1% para a NS 6909, 5,6% para a BMX Ponta e 2% para a BMX Valente. Comportamento semelhante a este estudo foi encontrado por Kenkel et al. (2006), que observaram uma B/C menor que 1 para dois preços de comercialização

mais baixos do óleo de canola, no entanto, a relação se tornou atrativa com o aumento da remuneração.

Os resultados de PB, a um preço de R\$ 2,50 .kg⁻¹ não foram viáveis para nenhum dos tratamentos de irrigação e cultivares. A venda do óleo a R\$ 4,50 .kg⁻¹ demonstra um PB com alta amplitude, variando entre 2 anos (0% da ET_O), para todas as cultivares, e 69 anos (125% da ET_O) para a NS 6909. Para os preços de R\$ 6,50 .kg⁻¹ e R\$ 8,50 .kg⁻¹, os valores permaneceram abaixo de 10 anos (Figura 9). Mupondwa et al. (2016), observaram que para uma alta produtividade de grãos o PB foi menor que o período de análise, variando entre 0,72 e 17 anos, para qualquer preço de venda do óleo de camelina.

Figura 9 - Valores de PB nos tratamentos 0% (A.), 25% (B.), 50% (C.), 75% (D.), 100% (E.) e 125% da ETo (F.) em função dos diferentes preços de venda de óleo.



No tratamento sem irrigação foram observados os menores resultados de PB, com seis meses de retorno para todas as cultivares, no preço de R\$ 8,50 .kg⁻¹. Entre os tratamentos irrigados as reposições hídricas de 75% e 100% da ETo, apresentaram valor médio de 3 anos,

representando um retorno econômico mais rápido comparadas às demais lâminas, para o mesmo preço de comercialização.

Preços de venda maiores e custos de produção mais baixos, apresentaram tempos de retorno menores, como relataram Kenkel et al. (2006), que ao trabalharem com quatro preços de venda de óleo de canola, obtiveram PB somente para as duas remunerações acima do preço médio de comercialização, de 5 e 4 anos, respectivamente. Os resultados de PB encontrados estão de acordo com este estudo, e são semelhantes aos valores do tratamento sem irrigação com preços a partir de R\$ 4,50 .kg⁻¹.

Os resultados demonstram que, a maior rentabilidade foi obtida através de menores custos de produção, alta produção de óleo e maiores preços de venda. O custo da soja e os preços de venda do óleo de soja são fatores críticos para o processo de extração do óleo, por isso preços mais baixos da soja e preços de venda mais altos do óleo são desejáveis (CHENG; ROSENTRATER, 2017).

9 CONCLUSÃO

A irrigação suplementar proporciona aumento na produtividade de grãos, apresentando máximas eficiências técnicas lâminas de 73,03% (safra 1) e 77,94% (safra 2) da ET_0 . A cultivar que apresenta as maiores produtividades de grãos é a BRASMAX Valente, não diferindo estatisticamente da BRASMAX Ponta, nas duas safras.

As lâminas de irrigação de 75% e 100% da ET_0 , nas safras 1 e 2, respectivamente, favoreceram o incremento do conteúdo de óleo para as três cultivares. Houve um aumento de 17,11% e 13,81%, na primeira e segunda safras, respectivamente, em relação ao tratamento não irrigado. A cultivar BRASMAX Ponta apresentou os maiores valores de produção de óleo em ambas as safras, diferindo-se estatisticamente das demais na safra 1 e somente da BRASMAX Valente na safra 2.

A produtividade da água e a produtividade econômica da água na produção de grãos apresentaram os melhores resultados nas lâminas de 50% (safra 1) e 25% (safra 2), com uma diferença média de 27,4% e 23,06%, respectivamente, em comparação ao tratamento de 125% da ET_0 , o qual obteve os menores valores. A cultivar BRASMAX Valente apresentou os maiores resultados em ambas as safras, diferindo-se estatisticamente somente da NS 6909.

Para a produção de óleo de soja, a produtividade da água e a produtividade econômica da água demonstraram maiores valores na lâmina intermediária de 50% nas safras 1 e 2, estes resultados representaram um acréscimo médio de 25,65% e 21,71% em comparação à lâmina de 125% da ET_0 , nas duas avaliações. A BRASMAX Valente e a BRASMAX Ponta foram as cultivares que obtiveram os maiores resultados, no primeiro e segundo ano de cultivo, não diferindo estatisticamente entre si.

A lâmina de 125% da ET_0 obteve um custo maior com a cultivar BRASMAX Valente, representando um incremento médio de 39,94%, em relação ao tratamento não irrigado com a cultivar NS 6909, que apresentaram os menores custos de produção.

As lâminas de irrigação com os maiores retornos econômicos foram de 0% e 100% da ET_0 , para todos os indicadores. Os tratamentos de irrigação que apresentaram menor viabilidade econômica, segundo os indicadores analisados, foram a 25% e a 125% da ET_0 .

A BRASMAX Valente, foi a cultivar que obteve o melhor desempenho nos diferentes cenários para os indicadores analisados. A cultivar que apresentou menor viabilidade econômica foi a NS 6909.

O preço de comercialização do óleo a R\$ 2,50 .kg⁻¹ não foi economicamente viável, nas diferentes lâminas de irrigação e cultivares. Nos preços de R\$ 6,50 e R\$ 8,50 .kg⁻¹, o retorno econômico foi satisfatório para todas as condições testadas.

A irrigação suplementar incrementa o rendimento de grãos e óleo das cultivares de soja. Lâminas de irrigação menores, aumentam a produtividade da água e conseqüentemente a produtividade econômica da água para produção de grãos e conteúdo de óleo, acarretando numa melhor gestão do recurso hídrico. Podendo ser uma alternativa, em anos de baixa disponibilidade hídrica, para suprir as necessidades de água da cultura e ao mesmo tempo obter resultados satisfatórios de rendimento.

Para preços de comercialização de óleo bruto acima da média dos últimos anos, o investimento em sistemas de irrigação para fins de obtenção de maiores produtividades e produção de óleo demonstrou ser economicamente viável conforme os indicadores econômicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEBOYE, O. B.; SCHULTZ, B.; ADEKALU, K. O.; PRASAD, K. Crop water productivity and economic evaluation of drip-irrigated soybeans (*Glycine max* L. Merr.). **Agriculture & Food Security**, v. 4, n. 1, p. 10, 2015.
- ADHIKARI, S.; ILLUKPITIYA, P.; FISSEHA, T.; ENEFIOK, E. **Comparative economic analysis of on-farm biodiesel production**. No. 1377-2016-109908, p. 01-20, 2017. DOI: [10.22004/ag.econ.252766](https://doi.org/10.22004/ag.econ.252766)
- ALI, N. Soybean processing and utilization. In: SINGH, G. **The soybean: botany, production and uses**. CABI, 2010, 494 p.
- ALI, M. H.; TALUKDER, M. S. U. Increasing water productivity in crop production—a synthesis. **Agricultural water management**, v. 95, n. 11, p. 1201-1213, 2008.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration -Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. **Fao, Rome**, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.
- ALMEIDA, V.; JÚNIOR, J. A.; MESQUITA, M.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D.; BATTISTI, R. Comparação da viabilidade econômica da agricultura irrigada por pivô central em sistemas de plantios convencional e direto com soja, milho e tomate industrial. **Global Science and Technology**, v. 11, n. 2, 2018.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVEZ, J. D. de; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ARRUDA, M. R.; MOREIRA, A.; PEREIRA, J. C. R. **Amostragem e coleta de solos para fins de fertilidade**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. 2014. 18 p. Documento 115.
- ASSEFA, Y.; PURCELL, L. C.; SALMERON, M.; NAEVE, S.; CASTEEL, S. N.; KOVÁCS, P.; ARCHONTOULIS, S.; LICHT, M.; BELOW, F.; KANDEL, H.; LINDSEY, L. E.; GASKA, J.; CONLEY, S.; SHAPIRO, C.; ORLOWSKI, J. M.; GOLDEN, B. R.; KAUR, G.; SINGH, M.; THELEN, K.; LAURENZ, R.; DAVIDSON, D.; CIAMPITTI, I. A. Assessing variation in US soybean seed composition (protein and oil). **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 298, 2019.
- AYDINSAKIR, K. Yield and quality characteristics of drip-irrigated soybean under different irrigation levels. **Agronomy Journal**, Madison, v. 110, n. 4, p. 1473-1481, 2018. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.12.0748>
- AYDINSAKIR, K.; DINC, N.; BUYUKTAS, D.; KOCATURK, M.; OZKAN, C. F.; KARACA, C. Water productivity of soybeans under regulated surface and subsurface drip irrigation conditions. **Irrigation Science**, v. 39, n. 6, p. 773-787, 2021.

- BAIÃO, D. B.; GARÉ, B. S.; RIBEIRO, A. C. M.; TROVÃO, N. G.; CONDOTTA, R. Estudo da utilização de solvente alternativo no processo de extração do óleo de soja. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 3, n. 2, p. 197-214, 2017.
- BARIVIERA, G.; DALLACORT, R.; FREITAS, P. S. de; BARBIERI, J. D.; DANIEL, D. F. Dual crop coefficient for the early-cycle soybean cultivar SoyTech 815 RR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 75-81, 2020.
- BELLALOUI, N.; BRUNS, H. A.; ABBAS, H. K.; MENGISTU, A.; FISHER, D. K.; REDDY, K. N. Agricultural practices altered soybean seed protein, oil, fatty acids, sugars, and minerals in the Midsouth USA. **Frontiers in plant science**, v. 6, n. 31, 2015.
- BELLALOUI, N.; MENGISTU, A. Seed composition is influenced by irrigation regimes and cultivar differences in soybean. **Irrigation Science**, v. 26, n. 3, p. 261-268, 2008.
- BEN, H. M.; MONACO, F.; FACCHI, A.; ROMANI, M.; VALÈ, G.; SALI, G. Desempenho econômico de variedades tradicionais e modernas de arroz sob diferentes sistemas de manejo da água. **Sustentabilidade**, v. 9, p. 347, 2017.
- BENTO, J. A.; SILVA, M. O.; SILVA, N. P.; GONÇALVES, M. A.; EVANGELISTA, A. W.; DE MOURA, C. J.; NOGUEIRA, R. G. Avaliação das metodologias de prensagem a frio, soxhlet e bligh dyer, na extração do óleo de pinhão manso. **Revista Processos Químicos**, v. 11, n. 21, p. 47-50, 2017.
- BRITO, L. T. D. L.; CAVALCANTI, N. D. B.; SILVA, A. D. S.; PEREIRA, L. A. Produtividade da água de chuva em culturas de subsistência no semiárido pernambucano. **Engenharia Agrícola**, v. 32, p. 102-109, 2012.
- CANDOGAN, B. N.; SINCIK, M.; BUYUKCANGAZ, H.; DEMIRTAS, C.; GOKSOY, A. T.; YAZGAN, S. Yield, quality and crop water stress index relationships for deficit-irrigated soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] in sub-humid climatic conditions. *Agricultural Water Management*, v. 118, p. 113-121, 2013.
- CANDOGAN, B. N.; YAZGAN, S. Yield and quality response of soybean to full and deficit irrigation at different growth stages under sub-humid climatic conditions. **J. Agric. Sci.**, v. 22, p. 129-144, 2016.
- CASTRO JÚNIOR, W. L.; DE OLIVEIRA, R. A.; SILVEIRA, S. D. F.; JÚNIOR, A. S. D. A. Viabilidade econômica de tecnologias de manejo da irrigação na produção do feijão-caupi, na região dos Cocais-MA. **Engenharia Agrícola**, n. 35, v. 3, p. 406-418, 2015.
- ÇETIN, O.; KARA, A. Assesment of water productivity using different drip irrigation systems for cotton. **Agricultural Water Management**, v. 223, p. 105693, 2019.
- CHENG, M. H.; DIEN, B. S.; SINGH, V. Economics of plant oil recovery: A review. **Biocatalysis and agricultural biotechnology**, v. 18, p. 101056, 2019.
- CHENG, M. H.; ROSENTRATER, K. A. Profitability analysis of soybean oil processes. **Bioengineering**, Basel, v. 4, n. 4, p. 83, 2017. <https://doi.org/10.3390/bioengineering4040083>

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Custos de produção agrícola: a metodologia da Conab**. 2010.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. 2021.

CONTINI, E.; GAZZONI, D.; ARAGÃO, A.; MOTA, M.; MARRA, R. **Complexo da soja – caracterização e desafios tecnológicos**. In: **Série desafios do agronegócio brasileiro**. Embrapa, 2018. Nota Técnica.

CQFS-RS/SC – Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2016. 376p.

DALCHIAVON, F. C.; LORENZON, L. A.; DE ASSIS PERINA, R.; DE OLIVEIRA, R. A.; DOS SANTOS, J. A. Economic Opportunity for Investment in Soybean and Sunflower Crop System in Mato Grosso, Brazil. **Journal of Experimental Agriculture International**, 1-12, 2019.

DE LIMA, A. M. N.; PELUZIO, J. M.; SIQUEIRA, F. L. T. DE; OLIVEIRA JUNIOR, W. P. de. Effect of drought and sowing time on content and oil and protein yields in soybean cultivars in Tocantins. **Revista de la Facultad de Agronomía (La Plata)**, v. 116, n. 2, p. 193-199, 2017.

DU, T.; KANG, S.; ZHANG, J.; DAVIES, W. J. Deficit irrigation and sustainable water-resource strategies in agriculture for China's food security. **Journal of experimental botany**, v. 66, n. 8, p. 2253-2269, 2015.

EL-MOHSEN, A. A. A.; MAHMOUD, G. O.; SAFINA, S. A. Agronomical evaluation of six soybean cultivars using correlation and regression analysis under different irrigation regime conditions. **Journal of plant breeding and crop science**, v. 5, n. 5, p. 91-102, 2013.

ESPÍNDOLA, C. J.; CUNHA, R. C. C. A dinâmica geoeconômica recente da cadeia produtiva de soja no Brasil e no Mundo. **GeoTextos**, v. 11, n. 1, p. 217-238, 2015.

FARIA, L. A.; PELUZIO, J. M.; DOS SANTOS, W. F.; DE SOUZA, C. M.; COLOMBO, G. A.; AFFÉRI, F. S. Oil and protein content in the grain of soybean cultivars at different sowing seasons. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 2, p. 1-7, 2018.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Embrapa Soja, 2007. Circular Técnica.

FLAJŠMAN, M.; ŠANTAVEC, I.; KOLMANIČ, A.; KOŠMELJ, K.; KOCJAN-AČKO, D. Agronomic performance and stability of seed, protein and oil yields of seven soybean cultivars determined in field experiments in Slovenia. **Genetika**, v. 51, n. 1, p. 31-46, 2019.

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. **Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimento**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005.

- GAJIĆ, B.; KRESOVIĆ, B.; TAPANAROVA, A.; ŽIVOTIĆ, L.; TODOROVIĆ, M. Effect of irrigation regime on yield, harvest index and water productivity of soybean grown under different precipitation conditions in a temperate environment. **Agricultural Water Management**, v. 210, p. 224-231, 2018.
- GAVA, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; DE ALMEIDA, B. M.; DE FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R. Estratégias de manejo de déficit hídrico na irrigação da cultura da soja. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 10, n. 3, p. 305-315, 2016.
- 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.
- GAVA, R.; LIMA, S. F. D.; SANTOS, O. F. D.; ANSELMO, J. L.; COTRIM, M. F.; KÜHN, I. E. Water depths for different soybean cultivars in center pivot. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, p. 10-15, 2018.
- GHASSEMI-GOLEZANI, K.; FARSHBAF-JAFARI, S. Influence of water deficit on oil and protein accumulation in soybean grains. **International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences**, v. 2, n. 3, p. 46-52, 2012.
- GONÇALVES, C. G.; SILVA JUNIOR, A. C. da.; SCARANO, M.; PEREIRA, M. R. R.; MARTINS, D. Chlorimuron-ethyl in conventional and transgenic soybean cultivars under water deficit stress. **Caatinga**, v. 31, n. 4, p. 832-842, 2018.
- HE, J.; DU, Y. L.; WANG, T.; TURNER, N. C.; YANG, R. P.; JIN, Y.; XI, Y.; ZHANG, C.; CUI, T.; FANG, X. W.; LI, F. M. Conserved water use improves the yield performance of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under drought. **Agricultural Water Management**, v. 179, p. 236-245, 2017.
- HU, M.; WIATRAK, P. Effect of planting date on soybean growth, yield, and grain quality. **Agronomy Journal**, v. 104, n. 3, p. 785-790, 2012.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. São Paulo, v.1, p. 533. 1985.
- JIN, J.; LIU, X.; WANG, G.; MI, L.; SHEN, Z.; CHEN, X.; HERBERT, S. J. Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China. **Field Crops Research**, v. 115, n. 1, p. 116-123, 2010.
- JUMRANI, K.; BHATIA, V. S. Impact of combined stress of high temperature and water deficit on growth and seed yield of soybean. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 24, n. 1, p. 37-50, 2018.
- JUNIOR, C. P.; KAWAKAMI, J.; SCHWARZ, K.; UMBURANAS, R. C.; DEL CONTE, M. V.; MÜLLER, M. M. L. Sowing dates and soybean cultivars influence seed yield, oil and protein contents in subtropical environment. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, n. 6, p. 188, 2017.
- KEMPER, T. G. Oil extraction. **Bailey's industrial oil and fat products**, 2005.

KENKEL, P.; HOLCOMB, R. B.; DICKS, M.; DUNFORD, N. **Feasibility of a Producer-Owned Winter Canola Processing Venture**. Oklahoma State University. Alaska, v.1, n.1, p.1-24. 2006.

KENKEL, P. L.; HOLCOMB, R. B. **Feasibility of on-farm or small scale oilseed processing and biodiesel**. BC English, J Menard, K Jensen (Eds.), Integration of agricultural and energy systems, Global Bioenergy Partner-ship, Atlanta, Georgia (2008).

KIRCHNER, J. H.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; TORRES, R. R.; MEZZOMO, W.; PIMENTA, B. D. Viabilidade financeira da irrigação em sorgo forrageiro em sistema de aspersão para bovinocultura de corte. **Irriga**, v. 24, n. 1, p. 143-161, 2019.

KRISHNAN, P.; SINGH, R.; VERMA, A. P. S.; JOSHI, D. K.; SINGH, S. Changes in seed water status as characterized by NMR in developing soybean seed grown under moisture stress conditions. **Biochem. Bioph. Res. Co.** v. 444, n. 4, p. 485–490, 2014.

KUO, S. F.; LIU, C. W. Simulation and optimization model for irrigation planning and management. **Hydrological processes**, v. 17, n. 15, p. 3141-3159, 2003.

LI, M. W.; XIN, D.; GAO, Y.; LI, K. P.; FAN, K.; MUÑOZ, N. B.; YUNG, W. S.; LAM, H. M. Using genomic information to improve soybean adaptability to climate change. **Journal of Experimental Botany**, v. 68, n. 8, p. 1823-1834, 2017.

LUENENBERG, Z. A. V.; NETO, P. H. W.; GARBUIO, P. W.; DELALIBERA, H. C. Consumo e custo da aplicação de água por irrigação Consumption and application cost of irrigation water. **Ambiência**, v. 5, n. 2, p. 293-300, 2009.

MACÊDO, A.; COSTA, R. N.; ARAÚJO, D. F. D.; NUNES, K. G. Produtividade da água com irrigação localizada utilizando águas subterrâneas e de reúso no cultivo de espécies vegetais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 219-224, 2020.

MACHADO, B. Q. V.; NOGUEIRA, A. P. O.; HAMAWAKI, O. T.; JORGE, G. L.; REZENDE, G. F.; GLASENAPP, J. S.; HAMAWAKI, R. L.; HAMAWAKI, C. D. L. Agronomic performance and genetic diversity among lines and soybean cultivars. **Bioscience Journal**, v. 33, n. 6, 2017.

MANDARINO, J. M. G.; HIRAKURI, M. H.; ROESSING, A. C. **Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos**. 2ª Ed. Embrapa Soja, 2015, 41 p. Documento 171.

MERTZ-HENNING, L. M.; FERREIRA, L. C.; HENNING, F. A.; MANDARINO, J. M. G.; SANTOS, E. D.; OLIVERIA, M. C. N. D.; NEPOMUNECENO, A. L.; FARIAS, J. R. B.;

MOHTASHAMI, R.; DEHNAVI, M. M.; BALOUCHI, H.; FARAJI, H. Improving yield, oil content and water productivity of dryland canola by supplementary irrigation and selenium spraying. **Agricultural Water Management**, v. 232, p. 106046, 2020.

MORADI-GHAHDERIJANI, M.; JAFARIAN, S.; KESHAVARZ, H. Alleviation of water stress effects and improved oil yield in sunflower by application of soil and foliar

amendments. **Rhizosphere**, 2017. v. 4, p. 54-61.

MILLAR, A. A. **Drenagem de terras agrícolas: bases agronômicas**. Editerra, 1978.

MINUZZI, A.; RANGEL, M. A. S.; BRACCINI, A. D. L.; SCAPIM, C. A.; MORA, F., ROBAINA, A. D. Rendimento teores de óleo e proteínas de quatro cultivares de soja, produzidas em dois locais no estado do Mato Grosso do Sul. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 4, p. 80-93, 2009.

MONTOYA, F.; GARCÍA, C.; PINTOS, F.; OTERO, A. Effects of irrigation regime on the growth and yield of irrigated soybean in temperate humid climatic conditions. **Agricultural Water Management**, v. 193, p. 30-45, 2017.

MOURTZINIS, S.; GASPAR, A. P.; NAEVE, S. L.; CONLEY, S. P. Planting date, maturity, and temperature effects on soybean seed yield and composition. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 5, p. 2040-2049, 2017.

NAGY, N. E.; PEPÓ, P. Comparative study of different soybean genotypes in irrigation technology. **Acta Agraria Debreceniensis**, n. 1, p. 91-95, 2019.

NAVABPOUR, S.; HEZARJARIBI, E.; MAZANDARANI, A. Evaluation of drought stress effects on important agronomic traits, protein and oil content of soybean genotypes. **Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences**, v. 10, n. 4, p. 491-503, 2017.

NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N. **Características da soja**. Embrapa, 2008. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01_24_271020069131.html>. Acesso em: 12 fev. 2022.

NEUMAIER, N. Effect of water deficit-induced at vegetative and reproductive stages on protein and oil content in soybean grains. **Agronomy**, v. 8, n. 1, p. 3, 2018.

OLIVEIRA, E. L. D.; FARIA, M. A. D.; REIS, R. P.; SILVA, M. D. L. Manejo e viabilidade econômica da irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro acaia considerando seis safras, **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 5, p. 887-896, 2010.

PANDAY, S. C.; CHOUDHARY, M.; SINGH, S.; MEENA, V. S.; MAHANTA, D.; YADAV, R. P.; PATTANAYAK, A.; BISHT, J. K. Increasing farmer's income and water use efficiency as affected by long-term fertilization under a rainfed and supplementary irrigation in a soybean-wheat cropping system of Indian mid-Himalaya. **Field Crops Research**, v. 219, p. 214-221, 2018.

PELUZIO, J. M.; PIRES, L. P. M.; CANCELLIER, L. L.; AFFÉRI, F. S.; COLOMBO, G. A.; TEIXEIRA JÚNIOR, T.; RIBEIRO, G. R. D. S. Genetic divergence among soybean cultivars in irrigated lowland in the State of Tocantins. **Ciência Rural**, v. 42, n. 3, p. 395-400, 2012.

PEREIRA, L. S. Uso sustentável da água e convivência com a escassez: revisitando conceitos e indicadores. **Ingeniería del agua**, v. 14, n. 3, p. 237-250, 2007.

PEREIRA, L. S.; CORDERY, I.; IACOVOS, I. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. **Agricultural Water Management**, v.108, p.39-51, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2011.08.022>

PEREIRA, R. M.; ALVES JÚNIOR, J.; CASAROLI, D., SALES, D. L.; RODRIGUEZ, W. D. M.; SOUZA, J. M. F. Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no cerrado brasileiro, **Irriga**, edição especial, p. 149-157, 2015.

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, n. 11, p. 1517-1524, 2009.

PÍPOLO, A. E.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; MANDARINO, J. M. G. **Teores de óleo e proteína em soja: fatores envolvidos e qualidade para a indústria**. Embrapa Soja, 2015. Comunicado Técnico (INFOTECA-E).

POTRICH, E.; MIYOSHI, S. C.; MACHADO, P. F.; FURLAN, F. F.; RIBEIRO, M. P.; TARDIOLI, P. W.; RAQUEL L.C.G.; ANTONIO J.G.C.; GIORDANO, R. C. Replacing hexane by ethanol for soybean oil extraction: Modeling, simulation, and techno-economic-environmental analysis. **Journal of Cleaner Production**. Amsterdam, v. 244, n. 20, p. 118660, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118660>

REBELATTO, D. **Projeto de investimento**. Editora Manole Ltda, 2004.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. 3. ed. Viçosa-MG: Editora UFV. v. 1. 2013. 386 p.

REIFSCHNEIDER, F. J. B.; HENZ, G. P.; RAGASSI, C. F.; DOS ANJOS, U. G.; FERRAZ, R. M. **Novos ângulos da história da agricultura no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010.

SALAM, M. A.; KAMRUZZAMAN, M. Comparative and competitive advantage of soybean cultivation in Noakhali and Laxmipur District of Bangladesh. **Journal of the Bangladesh Agricultural University**, v. 13, n. 2, p. 265-272, 2015.

SALIN, D. L. **Soybean Transportation Guide: Brazil 2020**. U.S. Dept. of Agriculture, Agricultural Marketing Service, 2021. <http://dx.doi.org/10.9752/TS048.08-2021>

SANTOS ALVES, C. E.; BELARMINO, L. C.; PADULA, A. D. Feedstock diversification for biodiesel production in Brazil: Using the Policy Analysis Matrix (PAM) to evaluate the impact of the PNPB and the economic competitiveness of alternative oilseeds. **Energy Policy**, Amsterdam, v. 109, p. 297-309, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.07.009>

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.

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenaz, 2009. 314 p.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A. C.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil – magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **The journal of agricultural science**, v. 153, n. 8, p. 1394-1411, 2015.

SHARMA, P. Costs, returns and profitability of soybean cultivation in India: Trends and prospects. **Economic Affairs**, v. 61, n. 3, p. 413, 2016.

SILVA, A. L. da; FARIA, M. A. de; REIS, R. P. Viabilidade técnico-econômico do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 37-44, 2003.

SILVA, K. B., BRUZI, A. T., ZUFFO, A. M., ZAMBIAZZI, E. V., SOARES, I. O., DE REZENDE, P. M.; FRONZA, V.; VILELA, G. D. L.; BOTELHO, E. B. S.; TEIXEIRA, C. M.; COELHO, M. A. de O. Adaptability and phenotypic stability of soybean cultivars for grain yield and oil content. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 2, 2016.

SONG, W.; YANG, R.; WU, T.; WU, C.; SUN, S.; ZHANG, S.; JIANG, B.; TIAN, S.; LIU, X.; HAN, T. Analyzing the effects of climate factors on soybean protein, oil contents, and composition by extensive and high-density sampling in China. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 64, n. 20, p. 4121-4130, 2016.

TAGLIAPIETRA, E. L.; ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; BALEST, D. S.; ROSA, S. L. da; BEXAIRA, K. P.; RICHTER, G. L.; RIBAS, G. G.; SILVA, M. R. da. Biophysical and management factors causing yield gap in soybean in the subtropics of Brazil. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 2, p. 1882-1894, 2021.

TANG, Q. et al. Rain water deficit and irrigation demand of major row crops in the Mississippi Delta. **Transactions of the ASABE**. v. 61, n. 3, p. 927-935., 2018.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. 2011. ISBN 978-85-99678-10-7 e-book.

TORRES, R. R.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; BEN, L. H. B.; MEZZOMO, W.; KIRCHNER, J. H.; PEREIRA, T. S.; BUSKE, T. C.; VIVAN, G. A.; GIRARDI, L. B. Economic of the irrigated production of forage millet. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 2, p. 623-638, 2019.

WIJEWARDANA, C.; REDDY, K. R.; BELLALLOUI, N. Soybean seed physiology, quality, and chemical composition under soil moisture stress. **Food chemistry**, v. 278, p. 92-100, 2019.

ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; GRASSINI, P. Climate and management factors influence soybean yield potential in a subtropical environment. **Agronomy Journal**, v. 108, p. 1447-1454, 2016.

ZHANG, G.; LIU, C.; XIAO, C.; XIE, R.; MING, B.; HOU, P.; LIU, G.; XU, W.; SHEN, D.; WANG, K.; LI, S. Optimizing water use efficiency and economic return of super high yield

spring maize under drip irrigation and plastic mulching in arid areas of China. **Field Crops Research**, n. 211, p. 137–146, 2017.