

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS CACHOEIRA DO SUL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Bruno Luan da Rosa Machado

**INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE SEMEADURA E DA
IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR NO DESEMPENHO
AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE SOJA**

Cachoeira do Sul, RS
2023

Bruno Luan da Rosa Machado

**INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE SEMEADURA E DA IRRIGAÇÃO
SUPLEMENTAR NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE
SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) – Campus Cachoeira do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Agrícola**.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Zanandra Boff de Oliveira

Cachoeira do Sul, RS
2023

Bruno Luan da Rosa Machado

**INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE SEMEADURA E DA IRRIGAÇÃO
SUPLEMENTAR NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE
SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) – Campus Cachoeira do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Agrícola**.

Aprovado em 14 de junho de 2023:

Zanandra Boff de Oliveira, Dra. (UFSM)
(Presidente/Orientadora)

Ezequiel Saretta, Dr. (UFSM)

Eduardo Leonel Bottega, Dr. (UFSM)

Cachoeira do Sul, RS
2023

DEDICATÓRIA

A minha família e amigos, que com muito amor e apoio me auxiliaram a tornar realidade o sonho de ser Engenheiro Agrícola.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho ocorreu pela dedicação de muitas pessoas que contribuíram para o seu desenvolvimento. Por isso, de uma forma especial, agradeço:

- à Deus, agradeço por minha vida e por guiar meus passos e escolhas que me foram impostas ao longo da minha trajetória;

- à minha orientadora Zanandra Boff de Oliveira, pela oportunidade concedida, pela confiança em mim depositada, pela amizade construída, pelos conhecimentos compartilhados, assim como pela pessoa incentivadora, dedicada, batalhadora e fiel aos seus alunos, obrigado pela orientação;

- aos meus pais Claudiomar Tavares Machado e Ana Patrícia da Rosa Machado, pelo amor, pelo incentivo e apoio em todos os momentos sendo esses fáceis ou difíceis, muito obrigado;

- aos meus amigos que compõem o GEPAB - Grupo de Ensino e Pesquisa em Ambiência e Biometeorologia (UFSM), pela ajuda mútua e incomparável para realização deste trabalho e pela amizade construída;

- à equipe do GEPASA – Grupo de Ensino e Pesquisa em Manejo Integrado da Água e Solo na Agricultura (UERGS), pela parceria para realização da parte de campo desenvolvida nesta pesquisa;

- aos professores que tive a oportunidade de ser aluno ao longo do Curso de Graduação em Engenharia Agrícola da UFSM Campus Cachoeira do Sul, todos foram de extrema importância para minha formação, assim como para a concretização deste trabalho.

- à Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, pelo ensino gratuito e de qualidade, pela oportunidade de desenvolver este estudo e proporcionar minha formação acadêmica.

RESUMO

INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE SEMEADURA E DA IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE SOJA

AUTOR: Bruno Luan da Rosa Machado
ORIENTADORA: Zanandra Boff de Oliveira

Estratégias de manejo que contribuam para o aumento da produtividade da soja são relevantes diante do atual cenário do agronegócio brasileiro em que esta cultura destaca-se como a principal cultura anual de primavera-verão. Com esse estudo, objetivou-se avaliar a produtividade de três cultivares de soja, cultivadas em duas densidades de semeadura, nos regimes hídricos irrigado e sequeiro, para o ano agrícola 2021/22 em Cachoeira do Sul – RS. O experimento foi realizado a campo, na Estação Agronômica da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (29°53' S e 53° 00' W, altitude de 125 m), em solo bem drenado. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso no esquema fatorial (3x2x2), com quatro repetições. O fator A é formado pelas cultivares utilizadas, sendo estas: i) BMX Raio IPRO, ii) BMX Zeus IPRO e iii) BMX Garra IPRO; o fator B da densidade de semeadura: i) 14 plantas m⁻¹ linear (311.100 plantas ha⁻¹) ii) 20 plantas m⁻¹ linear (444.400 plantas ha⁻¹) e o fator C pelos regimes hídricos: i) com irrigação suplementar ii) sem irrigação. O espaçamento entrelinhas de cultivo foi de 45 cm. A irrigação suplementar foi realizada para a partir do balanço hídrico da cultura manter o solo com uma fração de esgotamento de até 40% do total de água disponível. A interação entre os fatores demonstrou que no regime hídrico irrigado as cultivares Zeus e Raio foram as mais produtivas (média de 5344,7 kg ha⁻¹) com a densidade de semeadura de 20 plantas m⁻¹ e no regime hídrico de sequeiro as cultivares Zeus e Garra foram as mais produtivas (média de 2927,3 kg ha⁻¹) sem influência da densidade de semeadura. A irrigação suplementar proporcionou um incremento médio de produtividade para as duas densidades de semeadura de 198% (cultivar Raio), 72 % (cultivar Garra) e de 51% (cultivar Zeus).

Palavras-chave: Densidade de semeadura, *Glycine max*, Irrigação.

ABSTRACT

INFLUENCE OF SEEDING DENSITY AND SUPPLEMENTARY IRRIGATION ON THE AGRONOMIC PERFORMANCE OF SOYBEAN CULTIVARS

AUTHOR: Bruno Luan da Rosa Machado

ADVISOR: Zanandra Boff de Oliveira

Management strategies that contribute to increasing soybean productivity are relevant in view of the current scenario of Brazilian agribusiness in which this crop stands out as the main annual spring-summer crop. The objective of this study was to evaluate the productivity of three soybean cultivars, cultivated at two sowing densities, in irrigated and dryland water regimes, for the 2021/22 agricultural year in Cachoeira do Sul - RS. The experiment was carried out in the field, at the Agronomic Station of the State University of Rio Grande do Sul (29°53' S and 53° 00' W, altitude of 125 m), in well-drained soil. The experimental design used was randomized blocks in a factorial scheme (3x2x2), with four replications. Factor A is formed by the cultivars used, namely: i) BMX Raio IPRO, ii) BMX Zeus IPRO and iii) BMX Garra IPRO; the B factor of sowing density: i) 14 plants m⁻¹ linear (311,100 plants ha⁻¹) ii) 20 plants m⁻¹ linear (444,400 plants ha⁻¹) and the factor C by water regimes: i) with irrigation supplement ii) no irrigation. The row spacing was 45 cm. Supplementary irrigation was performed based on the water balance of the crop to maintain the soil with a depletion fraction of up to 40% of the total available water. The interaction between the factors showed that in the irrigated water regime, the Zeus and Raio cultivars were the most productive (average of 5344.7 kg ha⁻¹) with a sowing density of 20 plants m⁻¹ and in the rainfed water regime, the cultivars Zeus and Garra were the most productive (average of 2927.3 kg ha⁻¹) without influence of sowing density. Supplementary irrigation provided an average yield increase for the two sowing densities of 198 % (Raio cultivar), 72 % (Garra cultivar) and 51 % (Zeus cultivar).

KEYWORDS: Seeding density, *Glycine max*, Irrigation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Instalação dos Sensores FDR a 0-30 cm e a 30-60 cm no perfil do solo. Cachoeira do Sul, RS.....	14
Figura 2 - Análise de Fc através do aplicativo Canopeo. Cachoeira do Sul, RS.	15
Figura 3 - Armazenamento de água no solo (CAD), limite de esgotamento (CAD real) e CAD atual na área irrigada e não irrigada. Cachoeira do Sul, RS.....	16
Figura 4 – Parâmetros do balanço hídrico da cultura da soja irrigada no ano agrícola 2021/22. Cachoeira do Sul, RS.....	17
Figura 5 - Temperatura e radiação solar global para o período de condução do experimento. Cachoeira do Sul, 2023.....	18
Figura 6 – Resultados da produtividade e dos diferentes componentes de rendimento das cultivares de soja para os regimes hídricos irrigado e não irrigado e para as densidades de semeadura e resultados do teste de média (Tukey) comparando os tratamentos. Cachoeira do Sul, 2023.....	19
Figura 7 – Resultados dos componentes de rendimento e produtividade para as cultivares de soja e resultados do teste de média (Tukey) comparando os tratamentos. Cachoeira do Sul, 2023.....	20
Figura 8 – Desdobramento da interação densidade de semeadura e cultivares para PMG. Sendo que, letras maiúsculas comparam as cultivares para uma mesma densidade de semeadura e letras minúsculas comparar a densidade de semeadura para uma mesma cultivar, isso para um mesmo regime hídrico. Cachoeira do Sul, 2023.	22
Figura 9 – Desdobramento da interação densidade de semeadura e cultivares para a produtividade nos dois regimes hídricos estudados. Sendo que, letras maiúsculas comparam as cultivares para uma mesma densidade de semeadura e letras minúsculas comparar a densidade de semeadura para uma mesma cultivar, isso para um mesmo regime hídrico. Cachoeira do Sul, 2023.	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo da análise da variancia (valor do F calculado) para as variáveis respostas. Cachoeira do Sul, RS.	18
Tabela 2 – Desdobramento da interação densidade de semeadura e cultivares, regime hídrico e cultivares e regime hídrico e densidade de semeadura para vagem planta ⁻¹ e grãos vagem ⁻¹ . Cachoeira do Sul, 2023.	21

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 METODOLOGIA.....	13
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	17
4 CONCLUSÕES.....	25
5 REFERÊNCIAS.....	26

1 INTRODUÇÃO

No cenário agrícola com o avanço tecnológico e sistemas de produção evoluídos aliados à sua alta rentabilidade e diversas aplicações da cultura da soja, ela se tornou uma das *commodities* mais cultivada no mundo. Segundo a USDA (2023), na safra de 2021/2022 a produção mundial da oleaginosa foi de 358.140 milhões de toneladas com uma área plantada com cerca de 131.07 milhões de hectares. Atualmente no ranking mundial de produtores de soja, o Brasil ocupa a primeira colocação com cerca de 129.50 milhões de toneladas colhidas em uma área de 41.50 milhões de hectares cultivadas.

O estado do Mato Grosso é o maior produtor de soja brasileiro com cerca de 39.961 milhões de toneladas produzidas do grão em 10.909 milhões de hectares, seguido do Paraná. O Rio Grande do Sul é o terceiro estado mais produtor do país com 9.727 milhões de toneladas, sendo uma área cultivada de 6.358 milhões de hectares (EMBRAPA 2023). O município de Cachoeira do Sul, onde foi realizado este estudo, apresentou uma produção na safra de 21/22 de 341.998 toneladas de soja em 105.800 hectares cultivadas (IBGE 2023).

A produção de soja é uma das atividades econômicas que mais têm apresentado crescimento significativo nas últimas décadas que pode ser atribuído a vários fatores, incluindo: desenvolvimento e estruturação de um mercado internacional relacionado a comercialização de produtos do complexo agroindustrial da soja; a consolidação oleaginosa como importante fonte de proteína vegetal, principalmente para atender as crescentes demandas do setor produtivo produtos de origem animal; a geração e entrega de tecnologias que permitiu a expansão da exploração da soja para diferentes regiões do país mundo (EMBRAPA, 2014). Segundo Cagnin (2022), embora as grandes conquistas no âmbito econômico e tecnológico, a cultura da soja ainda enfrenta muitos desafios, com destaque fatores climáticos.

A produtividade agrícola sempre está sujeita a ação de adversidades climáticas, tais como, temperaturas elevadas ou baixas, pouca luminosidade e excesso ou falta de chuvas, onde a escassez de chuva é o fator mais limitante para a produção de soja (FIOREZE et al., 2011). São comuns perdas anuais em produtividade devido à falta de chuva durante o ciclo da cultura, principalmente na região Sul do Brasil (SILVA, 2013). Nas áreas não irrigadas no Rio Grande do Sul, a variabilidade das chuvas tem sido apontada como a principal causa das oscilações de rendimento na produtividade de grãos (BERGAMASCHI et al., 2004). Para soja atingir bons resultados de produtividade a

disponibilidade de água é um dos fatores mais importantes. Portanto, dependendo das condições climáticas do local, são necessários entre 450 e 800 mm de água no solo durante o ciclo fenológico da oleaginosa (DOORENBOS; KASSAN, 1994). De acordo com Oliveira et al. (2020), a produtividade da soja pode ter ganhos médios de aproximadamente 37% com a irrigação suplementar, chegando a um rendimento de 6757,5 kg ha⁻¹ na região de Cachoeira do Sul - RS.

Almejando a alta produtividade, é importante destacar a interação entre ambiente de produção, planta e manejo. As práticas de manejo afetam diretamente o rendimento da soja, dentre elas a época de semeadura, a escolha da cultivar com seu respectivo grupo de maturidade relativa (GMR), espaçamentos e densidades de semeadura (MAUAD et al, 2010). O GMR da soja, compreende-se como a duração do ciclo de desenvolvimento, portanto, o número de dias que a cultura leva para chegar à sua maturação fisiológica (ALLIPRANDINI et al., 2009). Isso é definido pela resposta ao fotoperíodo e temperatura, o nível de sensibilidade depende da cultivar, sendo assim, as cultivares de soja são classificadas em relação ao seu ciclo, em grupo de maturidade (BEXAIRA et al., 2018), quanto maior o GMR maior é o ciclo e vice-versa.

É necessário coincidir densidade de semeadura e duração do ciclo de desenvolvimento. (KANTOLIC et al., 2013). Também, a densidade de semeadura é um dos principais fatores que provocam a quebra de produtividade (TAGLIAPIETRA et al 2021). Tendo em vista, a interação entre densidade de semeadura, cultivar e disponibilidade hídrica, com esse estudo, objetivou-se avaliar a produtividade de três cultivares de soja cultivadas em duas densidades de semeadura (311.10 e 444.40 plantas ha⁻¹), nos regimes hídricos (irrigado e sequeiro) para o ano agrícola 2021/22 em Cachoeira do Sul – RS.

2 METODOLOGIA

O experimento foi realizado a campo, durante o ano agrícola 2021/22, utilizando a cultura da soja (*Glycine max*) na Estação Agronômica da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), localizada no distrito de Três Vendas no município de Cachoeira do Sul (29°53' S e 53° 00' W, altitude de 125 m), na depressão central do estado. O clima, segundo Köppen, é definido como subtropical úmido (Cfa), predominante na região Sul. O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2013).

O experimento foi conduzido em delineamento experimental de blocos ao acaso no esquema fatorial (3x2x2), com quatro repetições. O fator A é formado pelas cultivares utilizadas, sendo estas: i) BMX Raio IPRO (Raio), ii) BMX Zeus IPRO (Zeus) e iii) BMX Garra IPRO (Garra); o fator B da densidade de sementeira: i) 311.10 plantas ha⁻¹(14plantas m⁻¹ linear) ii) 444.40 plantas ha⁻¹ (20 plantas m⁻¹ linear) e o fator C pelos regimes hídricos: i) com irrigação suplementar ii) sem irrigação. O espaçamento entrelinhas de cultivo foi de 45 cm. Os GMR das cultivares são de 5.0, 5.5 e 6.3 respectivamente, para as cultivares Raio, Zeus e Garra.

A sementeira foi realizada no dia 29 de novembro utilizando um conjunto trator (Massey Ferguson MF4275) – plantadeira (Massey Ferguson MF 407, 7 linhas), com o sistema de plantio direto sobre a cultura do trigo. O manejo da cultura e os devidos tratamentos seguiram as recomendações agronômicas adequadas para a cultura da soja.

No decorrer do experimento foram realizadas irrigações suplementares na área irrigada. O sistema de irrigação foi de aspersão convencional (aspersores do modelo Agropolo NY 25), instalados com espaçamento de 12x12 m, operando a uma taxa de 12 mm h⁻¹. A estrutura de irrigação constou de uma moto bomba de 7 cv, tubulação principal com diâmetro de 75 mm e tubulação secundária de 50 mm.

O manejo de irrigação foi realizado a partir do balanço hídrico da cultura para manter o armazenamento de água no solo com uma fração de esgotamento próximo de 40% da capacidade de água disponível (CAD). Sendo a CAD de 101, 04 mm na profundidade de exploração do sistema radicular da soja de 0 a 60 cm, pois, a umidade volumétrica da capacidade de campo (CC) é de 0,3184 cm³. cm⁻³ e ponto de murcha

permanente (PMP) é de $0,15 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ no perfil de solo determinado por MORAES (2018).

O cálculo de balanço hídrico considerou como entrada as chuvas e as irrigações suplementares de água no sistema, porém, quando a lâmina de água da chuva superou a capacidade de água disponível real para a cultura, o valor excedente foi considerado como perda por escoamento superficial e percolação no perfil do solo. A saída de água do sistema é a evapotranspiração da cultura (ET_c), baseada na metodologia proposta por Allen et al. (1998). A evapotranspiração de referência (ET_o), utilizada para calcular a ET_c, através dos dados meteorológicos obtidos por uma estação meteorológica automática localizada no Campus da UFSM em Cachoeira do Sul próxima ao local do experimento. Desta mesma estação serão apresentados dados de temperatura e radiação solar observados ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura.

O ajuste do valor de K_c (simples), utilizado para o cálculo da ET_c, foi realizado conforme Allen et al. (1998), utilizando fração de cobertura do dossel (F_c) como indicativo da inflexão da curva do K_c. Para o valor de F_c foi utilizado um aplicativo (Canopeo), desenvolvido pela Universidade de Oklahoma, USA. O valor de F_c é dado pelo aplicativo através de uma análise que ele faz de imagens da cultura, fornecidas pelo usuário. As imagens utilizadas foram coletadas a 1,5 m de altura da cultura, como mostra a figura abaixo (Figura 1). Realizaram-se também avaliações fenológicas para o acompanhamento do ciclo de desenvolvimento da cultura.

Figura 1- Análise de F_c através do aplicativo Canopeo. Cachoeira do Sul, RS.



Fonte: Kury, 2022

Para a aferição do balanço hídrico, realizado a partir do primeiro decêndio de janeiro por questões operacionais, o monitoramento da CAD, denominada CAD atual (umidade volumétrica observada - umidade volumétrica no PMP) foi feito por meio da umidade volumétrica do solo obtida utilizando um conjunto FDR (Reflectometria no domínio de frequência, Campbell Scientific) (Figura 2), constituído por sensores cujas hastes possuem 30 cm, sendo estes instalados em pares em duas profundidades: de 0 -30 cm e de 30 - 60 cm de profundidade no perfil do solo, um em área irrigada e outro em área não irrigada.

Figura 2 - Instalação dos Sensores FDR a 0-30 cm e a 30-60 cm no perfil do solo. Cachoeira do Sul, RS.



Fonte: Kury, 2022

A colheita das plantas foi realizada de forma manual na região central de cada parcela experimental (4 m²) e, conseqüentemente, foi feita a contagem das plantas, além da trilha, limpeza, determinação de umidade dos grãos e pesagem. O peso obtido foi corrigido para uma umidade de 13% e extrapolado para um hectare (kg ha⁻¹) desta mesma amostra obteve-se o peso de mil grãos (PMG) a partir de 4 repetições de 100 grãos. Ainda, para definir os componentes de rendimento, foram colhidas oito plantas por parcela, as quais foram processadas manualmente, se analisando o número de vagens por planta e o número de grãos por vagem. As cultivares Raio (irrigada e sequeiro) e Zeus (irrigada) foram colhidas no dia 14/04/2022, as cultivares Zeus (sequeiro) e Garra (irrigada e sequeiro) no dia 27/04/2022.

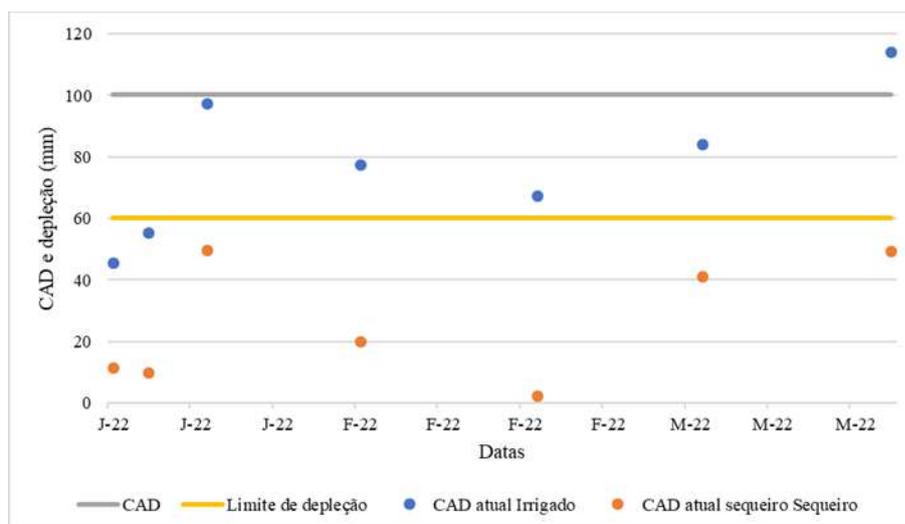
As variáveis repostas obtidas foram submetidas à análise do software Sisvar, sendo elas: vagem por planta, grãos por viagem e peso de mil grãos (g) e produtividade (kg ha⁻¹). Esses dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F e análise

complementar do teste “Tukey” (tratamentos qualitativos) em nível de 5% de probabilidade de erro.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O monitoramento da CAD (Figura 3), demonstra que no início do monitoramento inclusive a CAD atual inclusive das parcelas irrigadas estava abaixo do limite de depleção, isto devido à estiagem na região. Mas, com o auxílio da irrigação suplementar manteve-se a disponibilidade de água no solo acima do limite de depleção até o final do ciclo da cultura. Já, no regime hídrico de sequeiro é possível observar que em todo o período monitorado, a CAD atual esteve abaixo do limite de depleção, indicando elevada severidade do déficit hídrico.

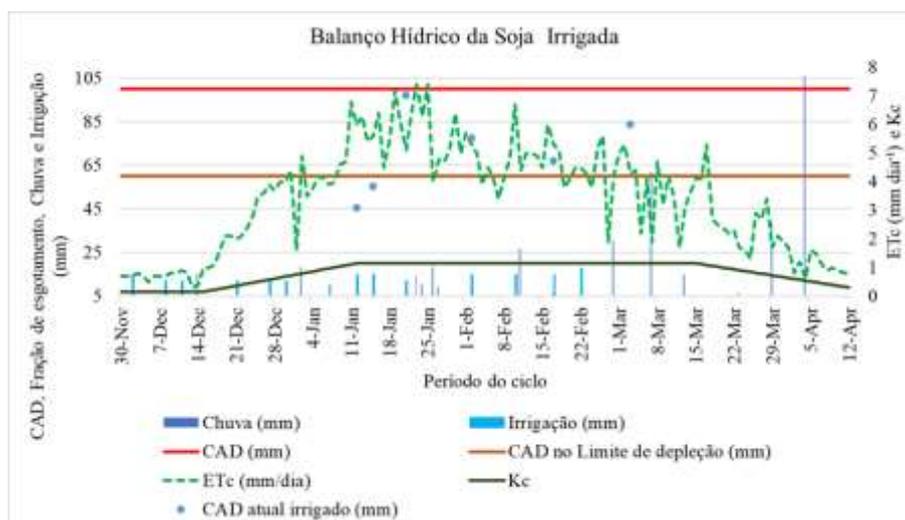
Figura 3 - Armazenamento de água no solo (CAD), limite de esgotamento e CAD atual na área irrigada e não irrigada. Cachoeira do Sul, RS.



Fonte: Autor.

A Figura 4 apresenta o balanço hídrico da cultura da soja irrigada. Percebe-se a distribuição irregular e baixas quantidades de chuvas durante todo o ciclo da cultura, evidenciando o período de estabelecimento da cultura (entre 30/11 e 14/12) e a floração (entre 11 e 25/jan), que são períodos críticos ao déficit hídrico. A distribuição irregular e baixas quantidade das chuvas podem influenciar diretamente nos componentes de rendimento da cultura, pois na fase de estabelecimento reduz o estande de plantas e, na fase de floração impacta no número de vagens plantas⁻¹.

Figura 4 – Parâmetros do balanço hídrico da cultura da soja irrigada no ano agrícola 2021/22. Cachoeira do Sul, RS.



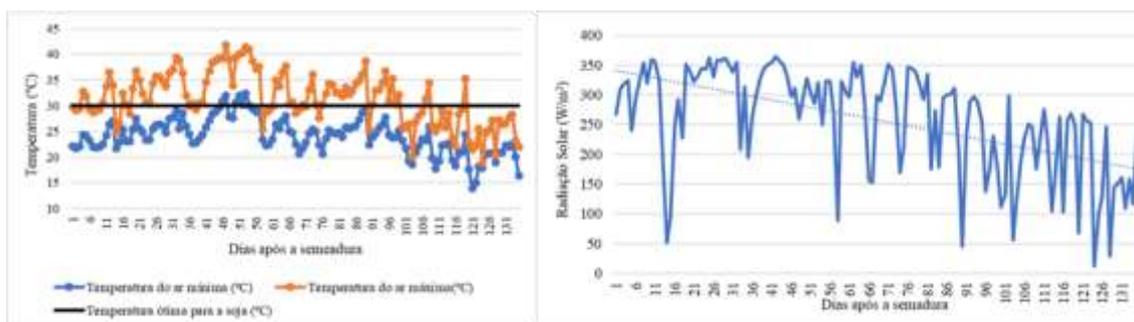
Fonte: Autor.

A irrigação suplementar na cultura da soja pode aumentar significativamente a sua produtividade e estabilizar a produção agrícola, especialmente durante anos de escassez hídrica no Rio Grande do Sul (MONTROYA et al., 2017). Segundo Couto (2003), a produtividade da agricultura irrigada pode chegar a 2,4 vezes superior que a agricultura de sequeiro. Durante a safra 2021/2022 houve a presença da La Niña, pelo segundo ano consecutivo, trazendo períodos de estiagem e déficit hídrico ao Rio Grande do Sul, (IRGA, 2022). Sendo assim, para manter a capacidade de água no solo em níveis desejados, foram realizadas 14 irrigações suplementares, conforme demonstra a Figura 4. A quantidade e frequência de chuvas neste ano aumentou no final de fevereiro e início de março, período em que as plantas estavam na fase de enchimento de grãos, tendo uma contribuição assim para a recuperação parcial na produtividade da soja de sequeiro (aumento no PMG).

Outros fatores ambientais importantes para a cultura da soja, são a temperatura e a radiação solar (Figura 5). Observa-se que a temperatura ultrapassou muitas vezes o valor de 30°C tido como referência para um bom desenvolvimento da cultura da soja, sendo assim, a temperatura ideal é entre 20 e 30°C para a germinação, estabelecimento e desenvolvimento da cultura, onde temperaturas superiores ou inferiores afetam significativamente esses parâmetros (TALHAFERRO et al., 2020). A radiação global passa a decrescer a partir de janeiro, sendo uma característica climática da região de estudo (Latitude de 30° S). De acordo com Zanon et al. (2018) com a adequação da época de

semeadura, é possível ajustar o período crítico da cultura (reprodutivo) ao período de maior radiação solar disponível e, assim, aumentar o potencial de produtividade. Assim, a semeadura na data realizada (30/11) contribuiu para a maximização desta variável ambiental.

Figura 5 - Temperatura e radiação solar global para o período de condução do experimento. Cachoeira do Sul, 2023.



Fonte: Autor.

Os fatores de estudo: densidade de semeadura, regime hídrico e as cultivares escolhidas, promoveram diferenças significativas nas variáveis repostas, conforme demonstra a Tabela 1.

Tabela 1 - Resumo da análise da variância (valor do F calculado) para as variáveis repostas. Cachoeira do Sul, RS.

Fonte de Variação	Valor do F calculado			
	Vagem planta ⁻¹	Grão vagem ⁻¹	PMG	Produtividade
A	43,01*	36,14*	31,89*	12,6*
B	96,71*	3,59 ^{ns}	62,05*	181,65*
C	10,55*	0,31 ^{ns}	4,62*	0,84 ^{ns}
AxB	16,58*	0,27 ^{ns}	3,48*	10,7*
AXC	3,69*	1,89 ^{ns}	7,86*	0,29 ^{ns}
BXC	7,41*	0,16 ^{ns}	9,57*	0,08*
AXBXC	0,01 ^{ns}	2,79 ^{ns}	15,19*	0,14 ^{ns}
Repetição	1,20 ^{ns}	0,23 ^{ns}	1,08 ^{ns}	0,14 ^{ns}
CV (%)	25,4	13,07	4,57	16,23

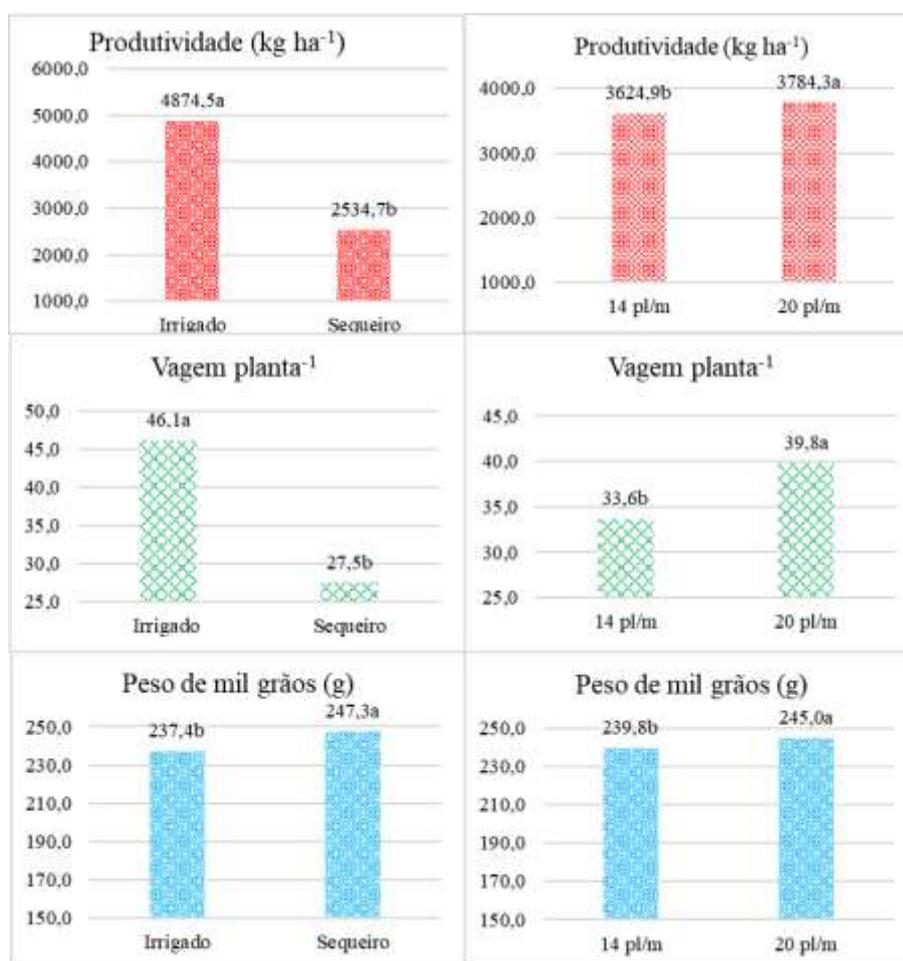
Em que: A: cultivar; B: irrigação; C: densidade de semeadura; PMG = peso de mil grãos; CV = coeficiente de variação; * significativo e ^{ns} não significativo pelo teste “f” em nível de 5% de probabilidade de erro.

Portanto, os tratamentos impactaram nos componentes de rendimento (vagens planta⁻¹ e PMG) e na produtividade da soja. Sendo que, apenas para o número de grãos vagem⁻¹ não houve interação entre os fatores e as diferenças são entre as cultivares sem

impactos da densidade de semeadura e regime hídrico. Destaca-se também que, conforme Mundstock; Thomas (2005), grãos por vagem é um componente de rendimento que está associado principalmente à genética de cada cultivar.

Na Figura 6 observa-se os valores obtidos, analisando isoladamente os fatores regime hídrico e densidade de semeadura para a produtividade e demais componentes de rendimento (vagens planta⁻¹ e PMG).

Figura 6 – Resultados da produtividade e dos diferentes componentes de rendimento das cultivares de soja para os regimes hídricos irrigado e não irrigado e para as densidades de semeadura e resultados do teste de média (Tukey) comparando os tratamentos. Cachoeira do Sul, 2023.



Fonte: Autor.

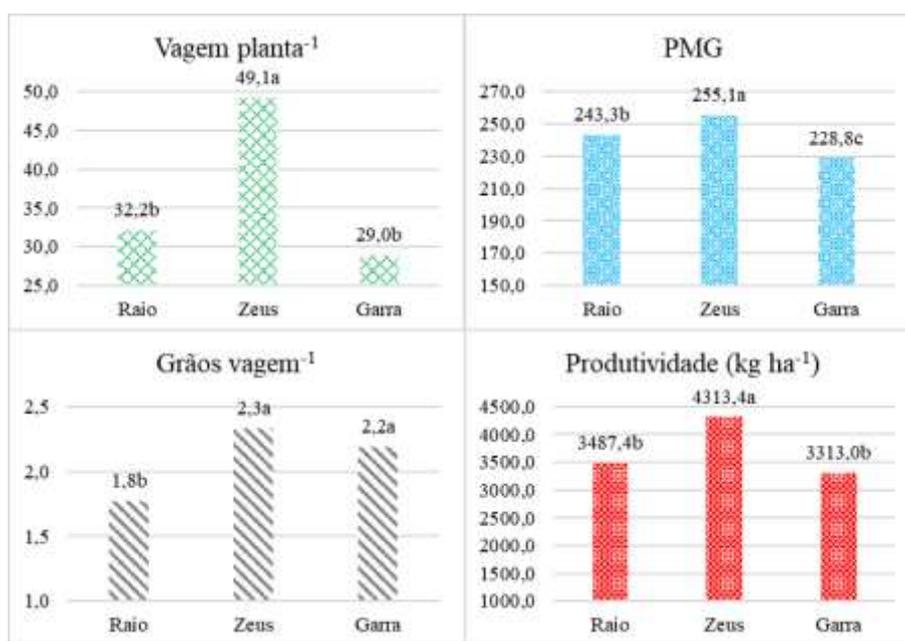
A irrigação suplementar proporcionou incrementos significativos chegando a uma diferença de 2339,8 kg ha⁻¹ entre o regime irrigado e sequeiro. Sendo então, um incremento médio de 92% a mais no regime irrigado. Em relação a densidade de

semeadura, houve um incremento médio da produtividade de 159, 3 kg ha⁻¹ com a densidade maior (20 plantas m⁻¹).

No componente de rendimento vagens planta⁻¹ o aumento foi de 67% no regime hídrico irrigado em relação ao sequeiro, e para a densidade de 20 plantas m⁻¹ a adição chegou a 18% a mais em relação a 14 plantas m⁻¹. Já, para o PMG, houve -se um aumento de 5,2 g no sequeiro em relação ao irrigado, possivelmente pelo fato que em o agravamento do déficit hídrico no sequeiro ocasionou retenção foliar nas plantas e este distúrbio fisiológico contribui para a produção de fotoassimilados ainda no final do ciclo e com o retorno das chuvas pode ter contribuído para um aumento no PMG. Já, em comparação as densidades de semeadura, houve um incremento de 5 g no PMG para a densidade de em 20 plantas m⁻¹. Segundo Cruz et al. (2016), quanto maior a densidade de semeadura a produtividade da soja aumenta, portanto, na densidade de 20 plantas m⁻¹, observa-se maior percentuais de produtividade e componentes de rendimento.

Em relação as cultivares estudadas, observa-se na Figura 7, que a cultivar Zeus destacou-se em relação as demais em todos os componentes de rendimento e na produtividade, onde alcançou o valor médio de 4313,4 kg ha⁻¹, enquanto as outras duas cultivares apresentaram produtividade inferior a 4000 kg ha⁻¹.

Figura 7 – Resultados dos componentes de rendimento e produtividade para as cultivares de soja e resultados do teste de média (Tukey) comparando os tratamentos. Cachoeira do Sul, 2023.



Fonte: Autor.

Na Tabela 2, o desdobramento dos fatores analisados mostra que a cultivar Zeus na densidade de semeadura de 20 plantas m^{-1} foi a que apresentou o maior número de vagens $planta^{-1}$, chegando aproximadamente a 49 vagens e obteve o maior número de grãos $vagem^{-1}$, sem interação com o regime hídrico. Sendo assim, corroborando com Petter et al. (2016.) onde as densidades de 20 e 30 plantas m^{-1} , em comparação a densidades inferiores, proporcionam os melhores resultados em relação a produtividade de grãos na cultura da soja.

Tabela 2 – Desdobramento da interação densidade de semeadura e cultivares, regime hídrico e cultivares e regime hídrico e densidade de semeadura para vagem $planta^{-1}$ e grãos $vagem^{-1}$. Cachoeira do Sul, 2023.

		Vagem $planta^{-1}$				Grãos $vagem^{-1}$			
		Densidade de semeadura							
Cultivar		14 pl/m		20 pl/m		14 pl/m		20 pl/m	
Raio		26,3	bB*	38,1	bA	1,8	cA	1,8	bA
Zeus		45,4	aB	52,8	aA	2,3	aA	2,3	aA
Garra		29,3	bA	28,6	cA	2,1	bA	2,2	aA
		Regime hídrico							
Cultivar		Irrigado		Sequeiro		Irrigado		Sequeiro	
Raio		49,0	aA	16,3	cB	1,8	bA	1,7	bA
Zeus		56,5	aA	42,1	aB	2,4	aA	2,3	aA
Garra		32,8	bA	24,3	bB	2,3	aA	2,1	aA
		Regime hídrico							
Dens. Sem		Irrigado		Sequeiro		Irrigado		Sequeiro	
14 pl/m		40,4	bA	26,9	aB	2,1	aA	2,0	aA
20 pl/m		51,8	aA	27,9	aB	2,2	aA	2,1	aA

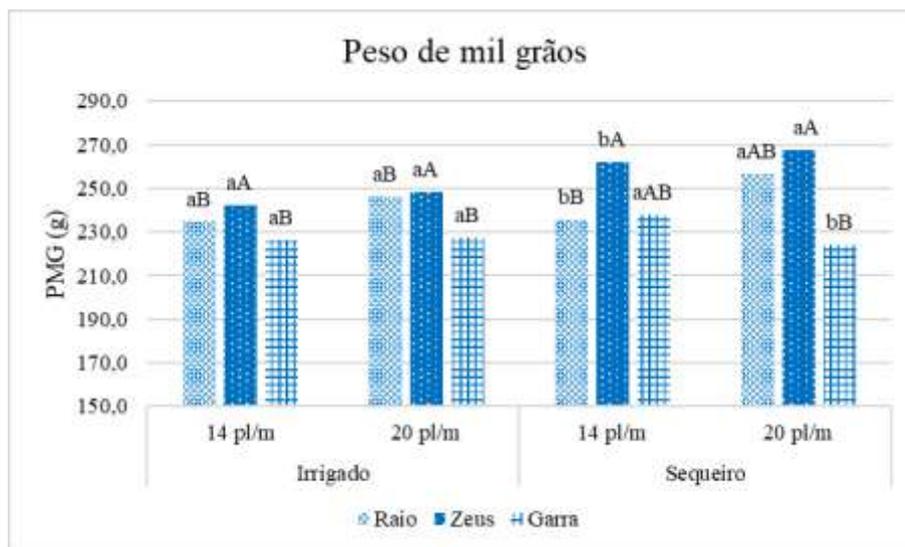
*Em que: letras minúsculas comparam as cultivares para uma mesma densidade de semeadura ou mesmo regime hídrico e letras maiúsculas comparam a densidade de semeadura ou o regime hídrico para uma mesma cultivar.

Analisando o desdobramento da interação para o PMG (Figura 8), observa-se que as cultivares apresentaram maior PMG sem irrigação. Kury (2022) encontrou resultados similares para o mesmo ano agrícola em condições de estudo bem semelhantes a estas. A cultivar Zeus destaca-se em relação as demais para este componente de rendimento na densidade de semeadura de 20 plantas m^{-1} , reforçando que Peixoto et al. (2000) observou um aumento para essa variável em função do aumento da densidade de semeadura.

Na Figura 9, observa-se o desdobramento da interação para a produtividade, os melhores resultados foram obtidos para as cultivares Zeus e Raio no regime hídrico irrigado com a densidade de semeadura de 20 plantas m^{-1} . Segundo Ramos Junior et al. (2020), as cultivares de soja apresentam variações em seus componentes produtivos e na

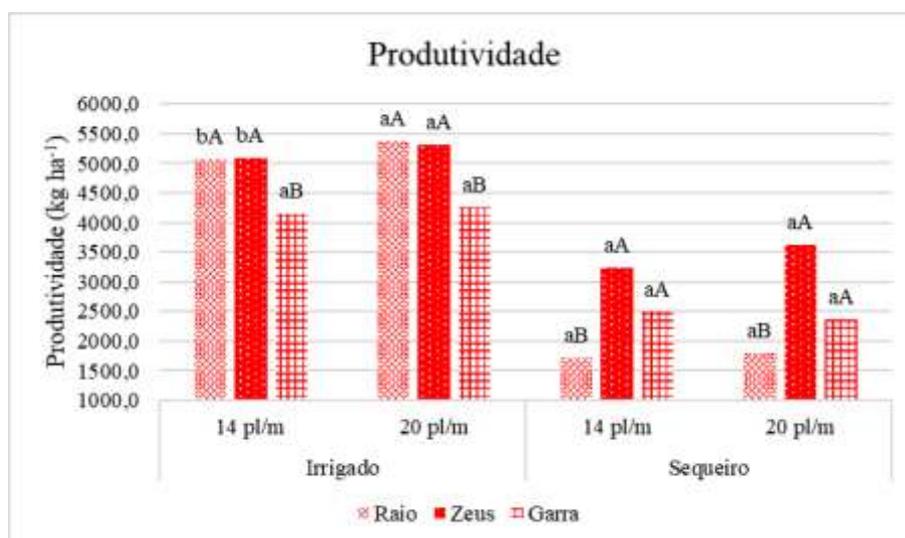
produtividade, em função do aumento na densidade de plantas gerando um acréscimo na produtividade. Enquanto, no regime hídrico de sequeiro, as cultivares mais produtivas foram a Zeus e Garra sem influência da densidade de semeadura.

Figura 8 – Desdobramento da interação densidade de semeadura e cultivares para PMG. Sendo que, letras maiúsculas comparam as cultivares para uma mesma densidade de semeadura e letras minúsculas comparar a densidade de semeadura para uma mesma cultivar, isso para um mesmo regime hídrico. Cachoeira do Sul, 2023.



Fonte: Autor.

Figura 9 – Desdobramento da interação densidade de semeadura e cultivares para produtividade nos dois regimes hídricos estudados. Sendo que, letras maiúsculas comparam as cultivares para uma mesma densidade de semeadura e letras minúsculas comparar a densidade de semeadura para uma mesma cultivar, isso para um mesmo regime hídrico. Cachoeira do Sul, 2023.



Fonte: Autor.

Portanto, os resultados indicam que em um ambiente com restrição hídrica, a densidade de semeadura de 14 plantas m^{-1} é a mais adequada. Além disso, cultivares muito precoces, como é o caso da Raio (GMR 5.0), tem menos tempo para se recuperar dos estresses que ocorrem ao longo do ciclo, no caso deste estudo observou-se déficit hídrico e extremos de temperatura (Figuras 4 e 5), impactando em redução maior de produtividade nesta cultivar. Enquanto, no regime hídrico irrigado, a precocidade da cultivar não é um fator limite à altas produtividade, pois as duas cultivares mais precoces (Raio e Zeus) foram as mais produtivas. Com isso, em áreas irrigadas as cultivares precoces podem ser uma boa opção para liberar a área antes e proporcionar uma segunda safra (primavera/verão).

Para áreas irrigadas utilizando as cultivares Zeus e Raio, a densidade de semeadura de 20 plantas m^{-1} propicia um incremento médio de 4,2 sacas ha^{-1} em comparação a densidade de semeadura de 14 plantas m^{-1} , com um custo adicional de semente ha^{-1} para a semeadura estimado em 0,5 sacas ha^{-1} (considerando um PMG de 230 g). De tal modo, que pode ser recomendada como uma estratégia de manejo que contribui para o incremento de produtividade e lucratividade da lavoura. Pois, o custo de mecanização pra a semeadura é o mesmo, independente da densidade de planta por área.

4 CONCLUSÕES

A irrigação suplementar proporcionou um incremento médio de produtividade para as duas densidades de semeadura de 198% (cultivar Raio), 72 % (cultivar Garra) e de 72 % (cultivar Zeus).

A interação entre os fatores demonstrou que no regime hídrico irrigado as cultivares Zeus e Raio foram as mais produtivas (média de 5344,7 kg ha⁻¹) com a densidade de semeadura de 20 plantas m⁻¹ e no regime hídrico de sequeiro as cultivares Zeus e Garra foram as mais produtivas (média de 2927,3 kg ha⁻¹) sem influência da densidade de semeadura.

5 REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G. et al. Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper 56**, FAO, Rome, Italy, 300 pp, 1998.

ALLIPRANDINI, L. F.; ABATTI, C.; BERTAGNOLLI, P. F.; CAVASSIM, J. E.; GABE, H. L.; KUREK, A.; MATSUMOTO, M. N.; OLIVEIRA, M. A. R. de; PITOL, C.; PRADO, L. C.; STECKLING, C. Understanding soybean maturity groups in brazil: environment, cultivar classification and stability. **Crop Science, Madison**, v.49, mai-jun, p.801-808, 2009.

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

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: UFRGS, 110p, 2003.

BEXAIRA, K. P.; STRECK, N. A.; ZANON, A. J.; ROCHA, T. S. M. da; RICHTER, G. L., SILVA, M. R. da; TAGLIAPIETRA, E. L.; WEBER, P. S.; DUARTE JUNIOR, A. J.; CERA, J. C.; RIBAS, G. G.; UHRY JUNIOR, D.F.; MEUS, L.D.; ALVES, A.F.; BALEST, D. **Grupo de maturidade relativa: Variação no ciclo de desenvolvimento da soja em função da época de semeadura. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Soja**. Goiânia –GO, Brasil. 2018.

CAGNIN, P. R. et al. **O Mercado da Soja. Monografia submetida à apreciação de Banca Examinadora do Departamento de Economia**. Disponível em: <https://repositorio.pucsp.br/bitstream/handle/27734/1/Pedro%20Roberto%20Cagnin_Pedro%20Roberto%20Cagnin.pdf> Acesso em: 10 de abr. 2023.

COUTO, L. **Como iniciar e conduzir um sistema produção agrícola sob irrigação. Apostila de Minicurso**, CONIRD, 2003, 23p.

CRUZ, S. C. S.; SENA-JUNIOR, D. G.; SANTOS, D. M. A.; LUNEZZO, L. O.; MACHADO, C. G. **Cultivo de soja sob diferentes densidades de semeadura e arranjos espaciais. Revista de Agricultura Neotropical, Cassilândia-MS**, v. 3, n. 1, p. 1–6, jan./mar.2016.

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efectos del agua em rendimento de los cultivos**. Campina Grande: UFPB, 1994. (FAO, Estudos de irrigação e drenagem, 33p).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

EMBRAPA SOJA. 2022. **Embrapa, soja em números (safra 2021/22)**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>> Acesso em: 10 de abr. 2023.

EMBRAPA SOJA 2014. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/990000/1/Oagronegociodasojanoscontextosmundialebrasileiro.pdf>> Acesso em: 10 de abr. 2023.

FIOREZE, S. L. et al. **Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação**. Revista Ceres, Viçosa, v. 58, n.3, p. 342-349, maio/jun.2011.

KANTOLIC, A.G., et al. **Seed number responses to extended photoperiod and shading during reproductive stages in indeterminate soybean**. European Journal Agronomy. 51:91–100, Nov. 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1161030113001019>>. DOI: 0.1016/j.eja.2013.07.006.

KURY, A. G. **Produtividade de cultivares de soja com e sem irrigação suplementar na safra 2021/22 em Cachoeira Do Sul-RS. 2022-07-22.** Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2022.

MAUAD, M.; SILVA, T.L.B.; ALMEIDA NETO, A.I.; ABREU, V.G. **Influência da densidade de semeadura sobre características agronômicas na cultura da soja.** Revista Agrarian, Dourados-MS, v. 3, n. 9, p. 175-181, 2010.

MONTOYA, F. 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, Elsevier, v.193, p.30–45, 2017.

MORAES, C. S. **Desempenho agrônômico de cultivares de soja em Dois regimes hídricos e duas épocas de semeadura em Cachoeira do Sul. 2019-07-12.** Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2019.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos.** 2005. 31 p. Engraf. Departamento de Plantas de Lavoura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2005.

OLIVEIRA, Z.B.; KNIES, A. E.; BOTTEGA, E. L.; SILVA, C.M.; GOMES, J. I. T. **Influence of supplementary irrigation on the productivity of soybean cultivars for the 2018-19 and 2019-20 harvest in the central region of RS.** Brazilian Journal of Development, v. 7, p .15580-15595, 2021.

PEIXOTO, C.P.; CÂMARA, G.M.S.; MARTINS, M.C.; MARCHIORI, L.F.S.; GUERZONI, R.A.; MATTIAZZI, P. **Épocas de semeadura e densidade de plantas de soja: I. Componentes da produção e rendimentos de grãos.** Piracicaba: Scientia Agrícola, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 89 - 96, 2000.

PETTER, F.A.; SILVA, J.A.; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F.R.; PACHECO, L.P.; ALMEIDA F.A. (2016). **Elevada densidade de semeadura aumenta a produtividade da soja? Respostas da radiação fotossinteticamente ativa**. *Bragantia*, 75(2), 173–183p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola. Cidades. **Cachoeira do Sul - Safra 21/22**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/cachoeira-do-sul/pesquisa/14/10193> > Acesso em: 10 de abr. 2023.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ 2022. **Cenário da estiagem está se agravando**. Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/cenario-da-estiagem-esta-se-agravando-dia-apos-dia>. Acesso em: 26 de abr. 2023.

RAMOS JUNIOR, E. U.; RAMOS, E. M.; BULHÕES, C. C. **Densidade de plantas nos componentes produtivos e produtividade de cultivares de soja**. *Revista de Ciências Agro-Ambientais*, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 51–56, 2020.

TAGLIAPIETRA, E. L. et al. **Biophysical and management factors causing yield gap in soybean in the subtropics of Brazil**. *Agronomy Journal*, v. 113, n. 2, p. 1882-1894, 2021.

TALHAFERRO, J.; BOMBASSARO NUNES, C.; TOLFO BANDEIRA, C.; SANTOS DA SILVA, M.; RIBEIRO, G. **Comportamento inicial de cultivares de soja em diferentes temperaturas**. *Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão*, v. 6, n. 2, 14 fev. 2020.

USDA - United States Department of Agriculture. World Agricultural Production, **Circular Series WAP 3-23, March 2023**. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>>. Acesso em: 06 abr. 2023.

ZANON, A.J.; SILVA, M.R.; TAGLIAPIETRA, E.L.; CERA, J.C.; BEXAIRA, K.P.; RICHTER, G.L.; DUARTE, A.J.; ROCHA, T.S.M.; WEBER, P.S.; STRECK, N.A. **Ecofisiologia da soja - Visando altas produtividades**. 1. ed. Santa Maria: Palloti/SM, 2018.