

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

Alexandre Gonçalves Kury

**PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE SOJA COM E SEM
IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR NA SAFRA 2021/22 EM CACHOEIRA
DO SUL-RS**

Cachoeira do Sul, RS
2022

Alexandre Gonçalves Kury

**PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE SOJA COM E SEM IRRIGAÇÃO
SUPLEMENTAR NA SAFRA 2021/22 EM CACHOEIRA DO SUL-RS**

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
2022

Alexandre Gonçalves Kury

**PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE SOJA COM E SEM IRRIGAÇÃO
SUPLEMENTAR NA SAFRA 2021/22 EM CACHOEIRA DO SUL-RS**

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 22 de julho de 2022:

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

Alberto Eduardo Knies, Dr. (UERGS)

Clarissa Moraes da Silva, MSc.

Cachoeira do Sul, RS
2022

DEDICATÓRIA

A minha família e amigos, que apesar da distância, me apoiaram e incentivaram, com muito amor e zelo, a almejar ser Engenheiro Agrícola.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi materializado graças ao apoio, carinho, empenho e dedicação de muitas pessoas, assim eu agradeço especialmente:

- à meus pais, Alexandre e Silvia Helena, que me apoiaram incondicionalmente, suportando a saudade e a distância, me orientando, incentivando a ser uma pessoa melhor e a buscar novos desafios.

- à minha irmã Juliana e ao meu cunhado Carlos Henrique, que mesmo longe não me deixaram esmorecer, sempre com carinho e alegria vibraram cada passo que trilhei.

- à minha namorada Eloisa e a sua família, que me acolheram e me apoiaram com muito carinho e zelo durante todos os momentos.

- aos meus amigos, que ao longo do tempo pude chamar de família, pela paciência, companheirismo e pela ajuda.

- à minha orientadora Prof^a Zanandra, que foi de extrema importância para o meu desenvolvimento e aprendizado ao longo da graduação, sempre disposta a ajudar e acolher seus alunos com carinho de mãe.

- ao GEPAB - Grupo de Ensino e Pesquisa em Ambiente e Biometeorologia (UFSM), pelo constante aprendizado, pela ajuda e pela amizade construída;

- ao Prof^o Alberto e à equipe do GEPASA – Grupo de Ensino e Pesquisa em Manejo Integrado da Água e Solo na Agricultura (UERGS), pela parceria e suporte para o desenvolvimento desta pesquisa a campo;

- aos professores que tive a oportunidade de ser aluno, todos fizeram a diferença ao longo da minha graduação.

- à Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, pelo ensino de qualidade e por proporcionar minha formação acadêmica no Curso de Engenharia Agrícola.

RESUMO

PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE SOJA COM E SEM IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR NA SAFRA 2021/22 EM CACHOEIRA DO SUL-RS

AUTOR: Alexandre Gonçalves Kury

ORIENTADORA: Zanandra Boff de Oliveira

O objetivo deste estudo foi avaliar a produtividade de três cultivares de soja sob dois regimes hídricos na safra 2021-22, no município de Cachoeira do Sul – RS. O experimento foi conduzido na área da Estação Experimental da UERGS, com semeadura no dia 29 de novembro, em delineamento experimental de blocos ao acaso no esquema fatorial (3x2), com 4 repetições. O fator A foi constituído de três cultivares: i) BMX Raio IPRO (Grupo de maturidade relativa - GMR 5.0), ii) BMX Zeus IPRO (GMR 5.5) e iii) BMX Garra IPRO (GMR 6.3) e, o fator B dos regimes hídricos: i) com irrigação e ii) sem irrigação. Os componentes de rendimento como: grãos vagem⁻¹ e vagem planta⁻¹ foram processados de forma manual de 8 plantas parcela⁻¹. A produtividade foi realizada a partir da colheita de todas as plantas dentro de 4 m² e a massa total dos grãos por parcela foi corrigido para uma umidade de 13% e extrapolado para kg ha⁻¹. Dessa mesma amostra obteve-se a massa de mil grãos (MMG) a partir de quatro repetições de 100 grãos. Todas as variáveis repostas foram submetidas a análise da variância e análise complementar “Teste de Tukey” em nível de 5% de probabilidade de erro. A utilização da irrigação suplementar foi essencial para a manutenção da umidade do solo em níveis adequados à cultura da soja, sobretudo durante o período de estabelecimento e floração em que as chuvas foram irregulares e em menor quantidade. O componente de rendimento mais influenciado pela irrigação foi o número de vagem planta⁻¹, em especial para cultivares mais precoces (Raio e Zeus). Sendo que, as cultivares Raio, Zeus e Garra apresentaram acréscimo de 30, 10 e 3 vagens planta⁻¹, respectivamente. Por outro lado, observou-se um aumento médio de 15 g no MMG das plantas de sequeiro em comparação às plantas irrigadas, o que pode ser atribuído a elevada retenção foliar das plantas de sequeiro no final do ciclo, aliada ao retorno das chuvas no período de enchimento de grãos, podendo resultar em uma contribuição dessa área foliar verde na produção de fotoassimilados. As cultivares Raio e Zeus apresentaram produtividades similares sob irrigação e máximas de 5082,15 kg ha⁻¹ e a cultivar Zeus apresentou a maior produtividade na área de sequeiro com 3232,0 kg ha⁻¹ seguida da cultivar Garra com 2496,0kg ha⁻¹. O incremento da produtividade média da soja no ano agrícola 2021/22 com a irrigação suplementar foi de 38 sacas ha⁻¹ ou de 48%.

Palavras-chave: *Glycine max*, irrigação, produtividade.

ABSTRACT

PRODUCTIVITY OF SOYBEAN CULTIVARS WITH AND WITHOUT SUPPLEMENTARY IRRIGATION IN THE 2021/22 CROP IN CACHOEIRA DO SUL-RS

AUTHOR: Alexandre Gonçalves Kury

ADVISOR: Zanandra Boff de Oliveira

The objective of this study was to evaluate the productivity of three soybean cultivars under two water regimes in the 2021-22 harvest, in the municipality of Cachoeira do Sul - RS. The experiment was carried out in the area of the UERGS Experimental Station, with sowing on November 29, in a randomized block experimental design in a factorial scheme (3x2), with 4 replications. Factor A consisted of three cultivars: i) BMX Raio IPRO (Relative maturity group - GMR 5.0), ii) BMX Zeus IPRO (GMR 5.5) and iii) BMX Garra IPRO (GMR 6.3) and the B factor of the water resources: i) with irrigation and ii) without irrigation. Yield components such as: grains pod⁻¹ and pod plant⁻¹ were manually processed from 8 plants plot⁻¹. Yield was performed from the harvest of all plants within 4 m² and the total weight of grains per plot was corrected for a moisture content of 13% and extrapolated to kg ha⁻¹. From the same sample, the weight of one thousand grains (MMG) was obtained from four repetitions of 100 grains. All the variables answered were submitted to analysis of variance and complementary analysis "Tukey's test" at a 5% error probability level. The use of supplementary irrigation was essential to maintain soil moisture at levels suitable for soybean cultivation, especially during the period of establishment and flowering in which rainfall was irregular and in smaller amounts. The yield component most influenced by irrigation was the number of pod plant⁻¹, especially for earlier cultivars (Raio and Zeus). The Raio, Zeus and Garra cultivars showed an increase of 30, 10 and 3 pods plant⁻¹, respectively. On the other hand, an average increase of 15 g in the GMP of rainfed plants compared to irrigated plants was observed, which can be attributed to the high foliar retention of rainfed plants at the end of the cycle, combined with the return of rains in the period of grain filling, which may result in a contribution of this green leaf area in the production of photoassimilates. The Raio and Zeus cultivars had similar yields under irrigation and maximum yields of 5082.15 kg ha⁻¹ and the Zeus cultivar had the highest yield in the rainfed area with 3232.0 kg ha⁻¹ followed by the Garra cultivar with 2496.0 kg ha⁻¹. The increase in average soybean productivity in the 2021/22 crop year with supplementary irrigation was 38 bags ha⁻¹ or 48%.

Key-words: *Glycine max*, irrigation, productivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Armazenamento de água no solo (CAD), limite de esgotamento (CAD real) e CAD atual na área irrigada e não irrigada. Cachoeira do Sul, RS	13
Figura 2 - Instalação dos Sensores FDR a 0 - 30 cm e a 30 - 60 cm no perfil do solo. Cachoeira do Sul, RS.....	13
Figura 3 - Análise de Fc através do aplicativo Canopeo. Cachoeira do Sul, RS.....	14
Figura 4 - Balanço hídrico da cultura da soja irrigada no ano agrícola 2021/22. Cachoeira do Sul, RS.....	16
Figura 5 - Índice de área foliar de plantas irrigadas e de sequeiro determinado em estágio de R1 (floração). Cachoeira do Sul, RS	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo da análise da variância para as variáveis respostas. Cachoeira do Sul, 2022.....	18
Tabela 2 – Resultados dos diferentes componentes de rendimento das cultivares de soja para os regimes hídricos irrigado e não irrigado. Cachoeira do Sul, 2022.	18

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 METODOLOGIA.....	15
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
4 CONCLUSÕES.....	31
5 REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

Com o atual cenário agrícola globalizado, a soja tornou-se o grão mais cultivado do mundo devido seu alto teor proteico, superior a outras oleaginosas, e sua ampla gama de aplicações como matéria-prima. Na safra 2020/21 foram colhidos, no mundo, cerca de 362.947 milhões de toneladas com área de 127.842 milhões de hectares cultivados. Sendo que o Brasil se encontra em primeiro lugar no ranking mundial de produtores de soja, colhendo cerca de 135.409 milhões de toneladas em 38.502 milhões de hectares (CONAB, 2021).

No Brasil, o estado do Mato Grosso é o líder de produção, com 35,947 milhões de toneladas em 10,294 milhões de hectares. Já o Rio Grande do Sul, quarto maior produtor nacional, é responsável por 20,164 milhões de toneladas em 6,055 milhões de hectares (CONAB, 2021), tornando-se o quarto maior produtor nacional. O município de Cachoeira do Sul – RS, local alvo deste estudo, é o nono município no ranking de produção estadual, e obteve sua produção em torno de 139,309 toneladas em 105,500 hectares, segundo (IBGE 2020).

Para obter altas produtividades, o vigor, a qualidade das sementes e o tratamento adequado das mesmas são fatores essenciais para o sucesso da safra, refletindo no seu rendimento. Em contrapartida, a utilização de sementes com baixo vigor e qualidade, não oferecem um estande de plantas uniforme, prejudicando o idealizado na produção (KRZYZANOWSKI, 2003; THOMAS, 2005). Além disso, o ciclo fenológico e o rendimento de grãos de uma lavoura são afetados principalmente pelo clima, alterando os prospectos de uma safra. A influência do clima pode gerar até 93% das perdas de uma safra devido à estiagem (BERLATO & FONTANA, 2003).

O Rio Grande do Sul sofre influência dos fenômenos climáticos El Niño e La Niña. De forma que o El Niño gera uma irregularidade que favorece a precipitação pluviométrica, enquanto a La Niña provoca redução das chuvas abaixo da normal climatológica, prolongando as estiagens, especialmente na primavera e no início de verão (FONTANA & BERLATO, 1996).

Segundo MATZENAUER (2017), o estado gaúcho sofreu influência dos fenômenos ENOS nas últimas três safras. O El Niño, presente na safra 2019 - 20, maior quantidade de chuvas em todas as estações do ano, com maior desaque para a primavera. Durante as safras 2020 - 21 e 2021 - 22, prevaleceu o evento La Niña, destacando negativamente as precipitações pluviométricas durante a primavera.

Para que a soja apresente um desenvolvimento adequado e com bons resultados de produtividade, a disponibilidade hídrica é um dos fatores primordiais. Sendo necessários entre

450 a 800 mm de água no solo ao longo do ciclo fenológico, dependendo das condições climáticas do local (DOORENBOS & KASSAN, 1994). Durante o ciclo da cultura, as fases críticas nas quais não se deve ter déficit de água são: estabelecimento da cultura, uma vez que se não ocorrer a germinação do grão, haverá menos plantas produzindo e ainda, durante o enchimento de grãos até sua maturação, de forma progressiva (KASSAN, 1994; COSTA, 2010).

De acordo com a Organização para a Alimentação e Agricultura (FAO), em 2017 o Brasil esteve entre os dez países com maior área irrigada, totalizando 8,2 milhões de hectares irrigados (ANA) e o estado gaúcho possui cerca de 178.050 hectares, representando 2,98% do total das lavouras de soja cultivadas em 2019-20 (RIBEIRO et al., 2018). Essa tecnologia é utilizada para suplementar a necessidade hídrica de diversas culturas, porém a maioria das áreas cultivadas com soja possui o sistema de produção de sequeiro (SENTELHAS et al., 2015).

Os efeitos desta falta de água sob a fisiologia da planta impactarão de acordo com a intensidade, duração, frequência e a interação com os componentes presentes no solo como fertilidade e acidez. Este déficit atua nos processos fotossintéticos, na respiração, no crescimento e no transporte de nutrientes (CUNHA et al., 2001). Segundo Oliveira et al (2020) a irrigação suplementar propicia ganhos médios de produtividade em torno de 37%, sendo possível atingir a produtividade de 6757,5 kg ha⁻¹ na região de Cachoeira do Sul.

Além da necessidade hídrica, a cultura da soja também precisa se adequar a fatores climáticos como a temperatura, fotoperíodo e radiação solar, ajustando a semeadura de acordo com a adaptabilidade da cultivar e seu grupo de maturidade relativa (GMR) com a janela de semeadura da região, que corresponde aos meses de agosto a fevereiro. Sendo que o GMR representa a duração do ciclo de desenvolvimento da soja (ALLIPRANDINI et al., 2009). Com isso, é possível melhorar o manejo das áreas cultivadas, minimizando os efeitos adversos do clima e auxiliando a produtividade da soja.

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo foi avaliar os componentes de rendimento e a produtividade de cultivares de soja com diferentes GMR em um ano de La Niña na região central do estado Rio Grande do Sul.

2 METODOLOGIA

O experimento foi realizado a campo, durante a safra 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's,

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 (3x2), com quatro repetições. O fator A foi formado pelas cultivares utilizadas, sendo estas: i) BMX Raio IPRO, ii) BMX Zeus IPRO e iii) BMX Garra IPRO e o fator B foi dois regimes hídricos: i) com irrigação suplementar e ii) sem irrigação. Os GMR das cultivares são de 5.0, 5.5 e 6.3 respectivamente, para as cultivares Raio, Zeus e Garra.

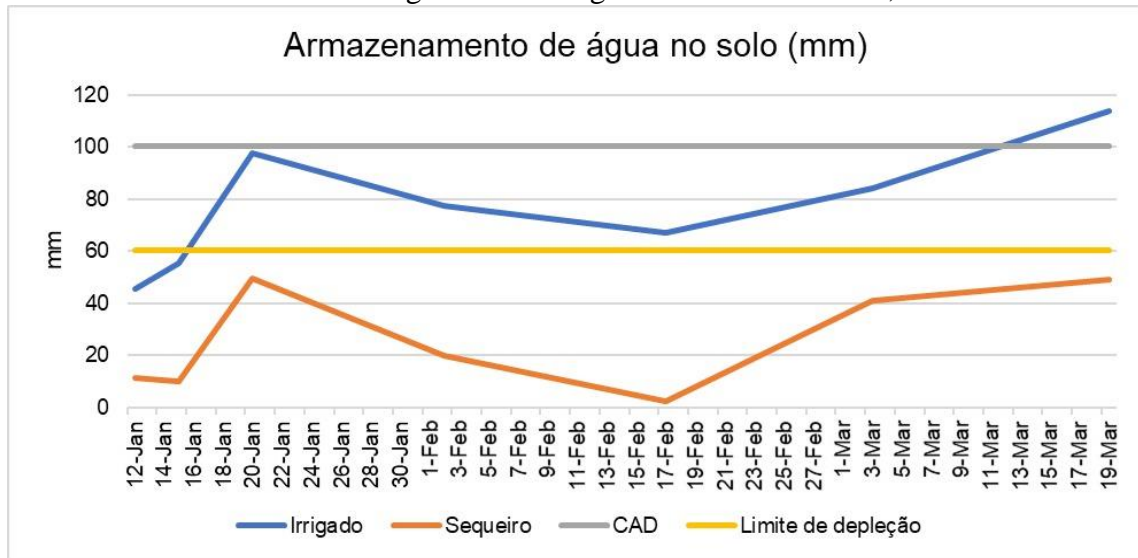
A semeadura foi realizada no dia 29 de novembro utilizando um conjunto trator (Massey Ferguson MF4275) – plantadeira (Massey Ferguson MF 407, 7 linhas), com parcelas de 5 x 10 m e ainda, sob sistema de plantio direto sobre outras culturas. O espaçamento entre linhas foi de 0,45 m, contendo 14 plantas por metro linear e densidade de semeadura de 310.000 plantas por hectare. O manejo da cultura e os devidos tratamentos seguiram as recomendações agrônomicas adequadas para a cultura da soja.

O sistema de irrigação foi de aspersão convencional (modelo AGROPOLO NY30), 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 para manter a capacidade de água disponível (CAD) acima de 60% do seu total, sendo este total de 100,3 mm, como mostra a Figura 1. A umidade volumétrica da capacidade de campo é de 0,3184 cm³. cm⁻³ e ponto de murcha permanente é de 0,15 cm³. cm⁻³ no perfil de solo com profundidade de 0 a 60 cm (SILVA, 2019). A água disponível armazenada no solo (CAD real) correspondeu a 40,4mm.

O monitoramento da CAD, denominada CAD atual (Figura 1) 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 hastas 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 1 - Armazenamento de água no solo (CAD), limite de esgotamento (CAD real) e CAD atual na área irrigada e não irrigada. Cachoeira do Sul, RS.



Fonte: Autor.

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

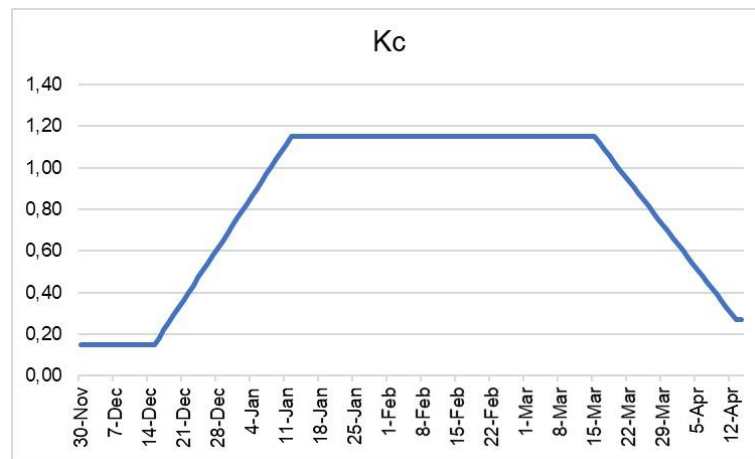


Fonte: Autor.

O cálculo do balanço hídrico considerou as chuvas e as irrigações suplementares como entrada de água no sistema, porém, quando a lâmina de água da chuva superou a capacidade de água disponível real, o valor excedente foi considerado como perda por escoamento superficial e percolação no perfil do solo. A saída de água do sistema foi a evapotranspiração da cultura (ET_c), baseada na metodologia proposta por Allen et al. (1998). A evapotranspiração de referência (ET_o), utilizada para o cálculo da ET_c , foi calculada através dos dados meteorológicos obtidos por uma estação meteorológica automática posicionada próxima ao local do experimento, sendo estes dados gerenciados e disponibilizados pelo Irriga Global®.

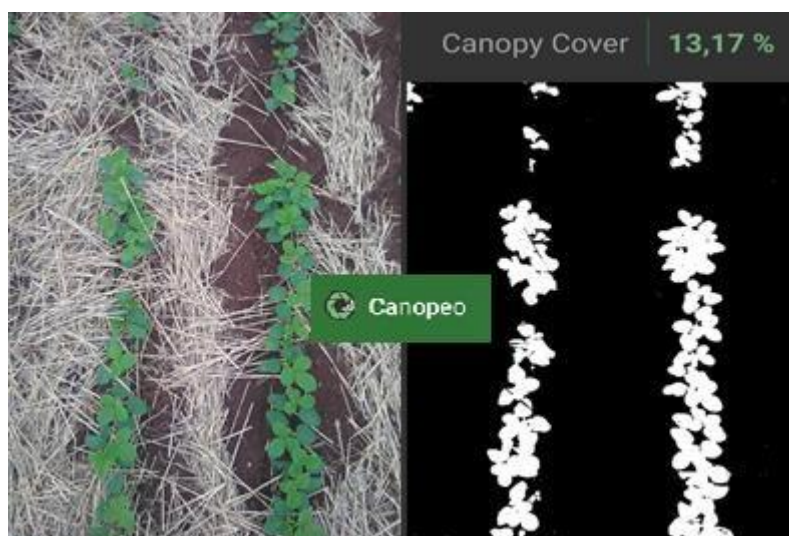
Ainda, o valor de K_c (simples), também utilizado para o cálculo da ET_c , foi ajustado como proposto na metodologia de Allen et al. (1998) com a fração de cobertura do dossel (F_c) como indicativo da inflexão da curva do K_c , Figura XXX. Para o valor de F_c foi utilizado um aplicativo (Canopeo), desenvolvido pela Universidade de Oklahoma, USA. O valor de F_c é dado pelo aplicativo através de uma análise que o mesmo 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 3). Realizaram-se também avaliações fenológicas para o acompanhamento do ciclo de desenvolvimento da cultura.

Figura 1 - Curva do K_c . Cachoeira do Sul, RS.



Fonte: Autor.

Figura 3- Análise de F_c através do aplicativo Canopeo. Cachoeira do Sul, RS.



Fonte: Autor.

Além disso, foram feitas avaliações morfológicas das plantas coletadas de ambas as parcelas, medindo a área foliar através do comprimento e da maior largura do folíolo central do trifólio de forma manual, com o auxílio de uma régua. No dia 15 de dezembro, as plantas

apresentaram 10% de fechamento entre linhas e seu índice de área foliar (IAF), obtido pela equação 1, foi de 0,168. No dia 12 de janeiro as plantas atingiram 100% do fechamento entre linhas, no estágio fenológico em R1 e IAF igual a 5,58.

A área foliar foi estimada, conforme sugere Richter et al (2014).

$$AF = 2,0185 \times C \times L \quad (1)$$

Em que:

C: comprimento do folíolo central de cada trifólio (cm);

L: largura do folíolo central de cada trifólio (cm).

Após, foram calculados os índices de área foliar (IAF), conforme mostra a eq. (2):

(2)

$$IAF = \frac{AF}{AP}$$

Em que:

AF: área foliar (cm²);

AP: área ocupada pela planta (cm²).

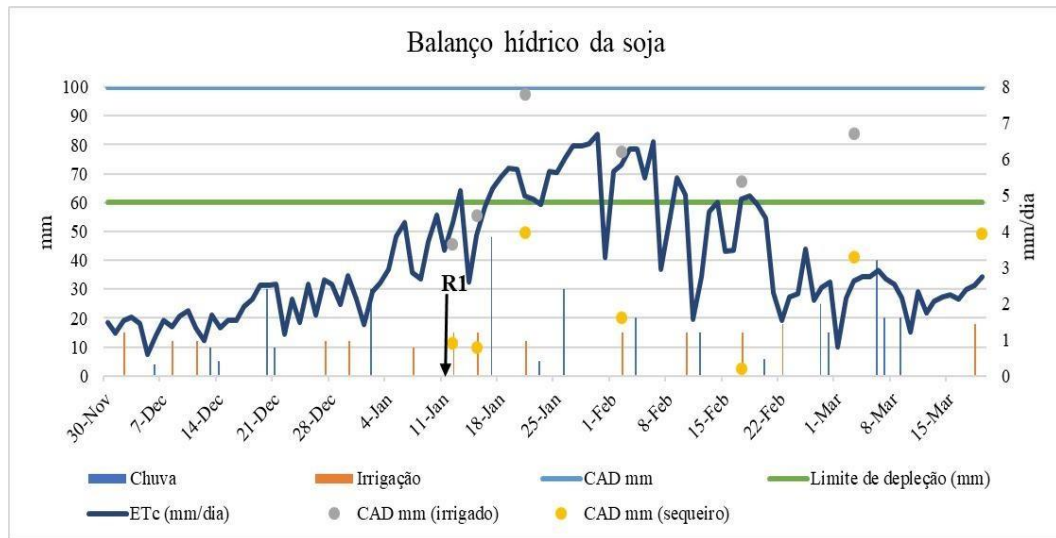
A colheita das plantas foi realizada de forma manual na região central de cada parcela experimental com área de 4,05 m² e, conseqüentemente, foi feita a contagem das plantas, além da trilha, limpeza, determinação de umidade dos grãos e pesagem. A massa obtida foi corrigido para uma umidade de 13% e adequado para um hectare (kg ha⁻¹) dessa mesma amostra obteve-se o MMG 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 no software Sisvar, sendo elas: número de vagens planta⁻¹, número de grãos vagem⁻¹, massa 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” em nível de 5% de probabilidade de erro.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 4 apresenta o balanço hídrico da cultura da soja irrigada e os valores de CAD (mm) obtidos à campo nas áreas de sequeiro e irrigada.

Figura 4 - Balanço hídrico da cultura da soja irrigada no ano agrícola 2021/22. Cachoeira do Sul, RS.



Fonte: Autor, 2022.

Observa-se a distribuição irregular e baixas quantidades de chuvas durante todo o ciclo da cultura da soja, mas sobretudo durante o período de estabelecimento da cultura e na floração (período de elevado consumo pela planta – ETc). Essa irregularidade pode impactar diretamente nos componentes de rendimento da cultura, na fase de estabelecimento reduzindo o estande de plantas (menor número de plantas por área) e, na fase de floração impactando no número de vagens plantas⁻¹.

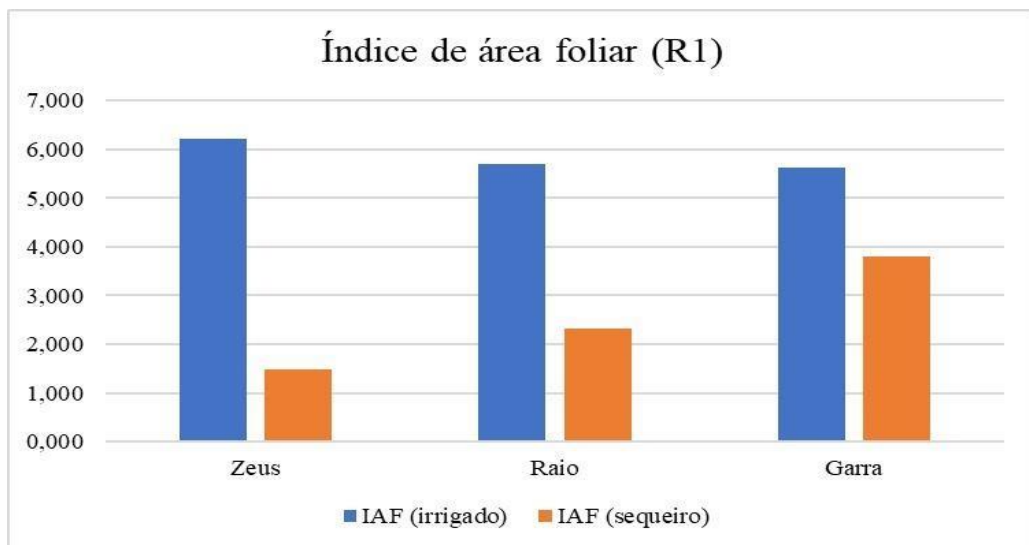
A baixa disponibilidade hídrica pelas chuvas afetou na redução do armazenamento e disponibilidade de água no solo abaixo do limite de depleção na área de sequeiro, demonstrando a severidade no déficit hídrico nesse ano agrícola (Figuras 1 e 4). O retorno de chuvas em maior quantidade e frequência ocorreu no final de fevereiro e início de março, quando as plantas estavam em período de enchimento de grãos, contribuindo para uma recuperação da produtividade da soja de sequeiro.

Para manter o armazenamento de água no solo em níveis desejados, foram realizadas 14 irrigações suplementares (Figura 4). A irrigação suplementar da soja no Rio Grande do Sul é uma prática imprescindível para a constância e a busca de altos níveis de produtividade (BATTISTI et al., 2018). A safra 2021/2022 foi marcada pela presença da La Niña, pelo segundo ano consecutivo, trazendo períodos de estiagem e déficit de precipitação ao Rio Grande do Sul, principalmente no período da primavera (IRGA, 2022).

Na figura 5 é possível observar os impactos da irrigação suplementar no aumento do IAF das plantas em R1 (floração). As cultivares no regime hídrico de sequeiro obtiveram índices inferiores a 4,0, reflexos da baixa disponibilidade hídrica no período de estabelecimento da cultura e do rápido crescimento (mês de dezembro), conforme Figura 4. Já as cultivares irrigadas, tiveram índices superiores a 5,5, indicando maior crescimento de

plantas. A cultivar Zeus apresentou a maior variação de IAF irrigado (6,2) e sequeiro (1,4) na fase do ciclo em que aconteceu o fechamento da entrelinha pelo dossel das plantas irrigadas e a máxima demanda hídrica da cultura (maior valor de Kc). Porém, o IAF pode ter sido maior do que o valor citado, pois na cultura da soja (cultivares de hábito indeterminado) há sobreposição dos subperíodos vegetativo e reprodutivo. De acordo com Taiz; Zeige (2013) uma das primeiras respostas ao estresse hídrico é a redução do crescimento, explicando os menores valores de IAF e altura de plantas na área de sequeiro.

Figura 5 - Índice de área foliar de plantas irrigadas e de sequeiro determinado em estágio de R1 (floração). Cachoeira do Sul, RS.



Fonte: Autor, 2022.

Os tratamentos promoveram diferenças significativas nas variáveis respostas conforme Tabela 1. 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 do regime hídrico. Vale destacar que grãos por vagem é um componente de rendimento que está associado principalmente à genética da cultivar, assim como destaca Mundstock; Thomas (2005). No caso desse estudo a cultivar Raio apresentou menor número de grãos vagem⁻¹ que as demais (Tabela 2).

Tabela 1 - Resumo da análise da variância para as variáveis respostas. Cachoeira do Sul, 2022.

Fontes de Variação	Valor do F calculado			
	Vagem por planta	Grãos por vagem	MMG	Produtividade
A	53,57*	11,52*	11,12*	7,20*
B	69,28*	2,03ns	18,19*	130,41*
A x B	20,04*	0,63ns	4,14*	7,22*
CV (%)	16,68	15,03	4,31	13,55

A: cultivar; B: regime hídrico; MMG: massa de mil grãos; CV: coeficiente de variação; * Pr>F_c igual ou menor que 0,05; ns: Pr>F_c ser maior que 0,05.

A irrigação proporcionou incrementos significativos de produtividade em todas as cultivares (Tabela 2), de sobremaneira na cultivar Raio, em que o aumento de produtividade foi de 3361,8 kg ha⁻¹, possivelmente por ser uma cultivar mais precoce com menor tempo de recuperação ao déficit hídrico na fase vegetativa, em comparação as outras duas, além do seu período de floração ter acontecido entre 8 e 15 de janeiro, período em que não ocorreram chuvas (Figura 5), o que impactou em um menor número de vagem planta⁻¹ (Tabela 2), em comparação as outras duas cultivares.

Tabela 2—Resultados dos diferentes componentes de rendimento das cultivares de soja para os regimes hídricos irrigado e não irrigado. Cachoeira do Sul, 2022.

Cultivares	Regime Hídrico			
	Irrigado		Não Irrigado	
	Vagem planta⁻¹			
Raio	40,00	bA	12,50	cB
Zeus	50,40	aA	40,40	aB
Garra	30,90	cA	27,80	bA
	Grãos vagem⁻¹			
Raio	1,95	bA	1,70	bA
Zeus	2,42	aA	2,28	aA
Garra	2,10	abA	2,09	aA
	MMG (g)			
Raio	243,80	abA	235,70	bA
Zeus	242,40	aB	262,10	aA
Garra	222,00	bB	247,70	bA
	Produtividade (kg ha⁻¹)			
Raio	5072,90	aA	1711,10	bB
Zeus	5091,40	aA	3232,00	aB
Garra	4146,10	bA	2496,00	abB

Em que: números seguidos de letras maiúsculas iguais nas linhas (cultivares) e de letras minúsculas iguais nas colunas (regime hídrico) não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade de erro conforme teste de “Tukey”.

As cultivares Zeus e Raio apresentaram produtividades $> 5000 \text{ kg ha}^{-1}$ na área irrigada e na área de sequeiro a cultivar Zeus apresentou produtividade de $3232,0 \text{ kg ha}^{-1}$, seguida da cultivar Garra, com produtividade de $2496,0 \text{ kg ha}^{-1}$. A maior produtividade de sequeiro dessas duas cultivares mais tardias deve-se a precipitação pluviométrica no período de floração, resultando em maior número de vagem planta⁻¹ (Tabela 2). Entre os dias 4 e 18 de janeiro, as cultivares iniciaram o período reprodutivo R1, sob déficit hídrico, com a CAD real abaixo do limite de depleção estabelecida para o estudo, afetando a floração e consequentemente reduzindo esse componente de rendimento. Segundo Gava et al. (2016), o déficit severo e moderado no ciclo da soja, influencia no número de vagens planta⁻¹ com mesma intensidade que a ocorrência de maneira isolada apenas nos períodos de fase vegetativa e de floração.

A cultivar Raio, entrou em floração no período sem ocorrência de chuvas (Figura 4), o que pode ter gerado abortamento de flores, impactando na redução do número de vagem planta⁻¹ no regime hídrico de sequeiro e o acréscimo de 30 vagens planta⁻¹ no regime irrigado, como mostra a Tabela 1. A cultivar Zeus apresentou a maior quantidade de vagens planta⁻¹ e um incremento de 10 vagens planta⁻¹ com a irrigação. Já, a cultivar Garra apresentou um valor médio de 28,5 vagens planta⁻¹, sem a influência do regime hídrico. As cultivares Zeus e Garra tiveram um melhor aproveitamento da chuva do dia 18/01/2022 (Figura 4) para a floração.

A retenção foliar e a ocorrência de haste verde na soja pode ser atribuída a vários fatores que interferem diretamente nas condições fisiológicas da cultura, associando principalmente à ausência de vagens e grãos: como resultado do menor número de estruturas reprodutivas (drenos), os fotoassimilados que normalmente seriam translocados para os grãos se acumulam nas estruturas vegetativas das plantas, mantendo hastes e folhas verdes durante a fase de maturação (Silva et al., 2013). Essa condição encontra-se tipicamente associada aos distúrbios fisiológicos causados por danos de percevejos, mas também pode ocorrer devido ao estresse hídrico (falta ou excesso de umidade no solo) e ao desequilíbrio nutricional das plantas (Fávero et al., 2014).

Foi observada a campo elevada retenção foliar nas plantas de sequeiro, a associação dessa condição com a distribuição de chuvas mais frequentes no final do ciclo (Figura 4), pode ter favorecido a fotossíntese e contribuído para o aumento da massa dos grãos, enquanto as parcelas irrigadas já estavam no processo de senescência. Isto pode explicar a superioridade do MMG das cultivares não irrigada em relação às irrigadas (Tabela 1) para as cultivares Zeus e Garra. Já, para a cultivar Raio, não houve diferença significativa entre os manejos hídricos, com MMG médio de 235,0 g.

A cultivar Zeus apresentou os melhores resultados de MMG em ambos os regimes hídricos, sendo o maior valor da área não irrigada, com 262,0 g. Tal resultado discorda da

literatura, pois Correa et al. (2019) observaram que a irrigação por aspersão promoveu aumento na ordem de 20 g no MMG das cultivares em estudo em relação ao tratamento sem irrigação. Ainda, segundo Oliveira et al. (2021), na safra 2018-19 a irrigação suplementar favoreceu o acréscimo de 5,3 % no MMG e na safra 2019-20, o aumento de 17,5% em relação as áreas não irrigadas.

Ainda assim, os valores de produtividade da soja de sequeiro para as cultivares Zeus e Garra (Tabela 2) foram bastante positivos, o que pode estar relacionado a época de semeadura adotada (29/11), um pouco mais tardia que a praticada na região, que otimizou as chuvas no final do ciclo. Pois, segundo a Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural (2022), a expectativa de produtividade média do Rio Grande do Sul reduziu 52% decorrência da falta de chuvas, produzindo 1.511 kg ha^{-1} .

Os resultados desse estudo (Tabela 2) indicam o incremento da produtividade média da soja no ano agrícola 2021/22 com a irrigação suplementar de 38 sacas ha^{-1} ou de 48%, demonstrando a importância da irrigação suplementar para a cultura da soja na região. Ademais, deve-se avaliar a cultivar a ser escolhida para cada condição de regime hídrico (irrigado e sequeiro), pois os resultados demonstram que há cultivares que respondem mais a irrigação e cultivares mais estáveis para área de sequeiro.

4 CONCLUSÕES

Nas condições de um ano de Lã Niña na Depressão Central do Rio Grande do Sul em solo Argissolo Vermelho para a semeadura no dia 29 de novembro de 2021, houve um incremento da produtividade média da soja com a irrigação suplementar (193 mm) de 38 sacas ha^{-1} ou de 48% em comparação a soja de sequeiro. As cultivares Raio e Zeus foram as mais produtivas sob a condição de irrigação e as cultivares Zeus e Garra as mais produtivas na condição de sequeiro.

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.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, No.6, 711-728p, January 2014.
- 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, (2018)**. Global Science and Technology, v.11 n.2 (2018)
- 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
- CONAB. 2021. **Conab divulga dados oficiais da colheita de soja nacional**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4579-producao-nacional-de-graos-e-estimada-em-269-3-milhoes-de-toneladas-na-safra-2021-22> Acesso em: 12 mai. 2022.
- CONAB. 2021. **Estimativas da safra mundial e mercado de commodities**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4786-estimativa-da-safra-mundial-safra-2021-22> Acesso em: 15 mai. 2022.
- CUNHA, G. R. et al. **Zoneamento Agrícola e Época de Semeadura para Soja no Rio Grande do Sul**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Passo Fundo, v.9, n.3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p.446-459, 2001.

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

Embrapa Soja. Centro Nacional de Pesquisa de Soja, **Tecnologias de Produção de Soja – Paraná 2004**. Londrina: Embrapa Soja, 218p, 2003

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

EMPRESA DE ASSISTENCIA TECNICA E EXTENSAO RURAL DO RIO GRANDE DO SUL. 2018a. **Emater divulga dados oficiais da colheita de soja no Rio Grande do Sul**. Disponível em: <https://estado.rs.gov.br/emater-divulga-dados-oficiais-da-colheita-de-soja-no-rio-grande-do-sul> Acesso em: 14 maio 2022.

FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E.D.; ALMEIDA, I.R.; EVANGELISTA, B.A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIR, N.; NEPOMUCENO, A.L. **Caracterização de Risco de Déficit Hídrico nas Regiões Produtoras de Soja no Brasil**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.9, n.3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p.415-421, 2001.

FÁVERO, Fernando; LANA, Maria do Carmo. Redução de haste verde e retenção foliar na soja em razão de maior disponibilidade de nitrogênio pelo tratamento de sementes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 5, p. 1432-1438, 2014.

FONTANA, D.C.; BERLATO, M. A. **Influence of El Niño Os (ENSO) on the determination of the South of the State of Rio Grande do Sul**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.5, p.127-132, 1997

GAJIĆ, B.; KRESOVIC, B.; TAPANAROVA, A.; ZIVOTIC, L.; TODOROVIC, 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, Elsevier, v. 210 (c), p. 224-23, 2018.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. **Cenário da estiagem está se agravando**.

Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/cenario-da-estiagem-esta-se-agravando-dia-apos-dia>.
Acesso em: 23 jun 2022

KRZYZANOWSKI, F.C.; MESQUITA, C.D.M, MAURINA, A.C., FRANÇA NETO, J.D.B., HENNING, A. A. **Qualidade fisiológica, física e sanitária de sementes de soja produzidas no Brasil**. Revista Brasileira de Sementes, 25(1), 128-132, 2003.

MATZENAUER, R.; RADIN, B.; MALUF, J. R. T. **O fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Rio Grande do Sul**. Agrometeoros, Passo Fundo, v.25, n.2, p.323-331, 2017.

MATZENAUER, R.; BARNI, N. A.; MALUF, J. R. T. **Estimativa do consumo relativo de água para a cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul**. Ciência Rural, v.33, n.6, p.1013-1019, 2003.

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. **Estimativa da evapotranspiração a partir de dados diários de previsão meteorológica**. 2015. 95 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

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.

RODRIGUES, O. et al. **Efeito do fotoperíodo e da temperatura do ar no desenvolvimento da área foliar em soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. [S.l.]: Embrapa, 2006. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 33).

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 a Sustainable Production**. Journal of Agriculture Science, Cambridge, v. 153, p. 1394- 1411, 2015.

SILVA, Alexandre José da; CANTERI, Marcelo Giovanetti; SILVA, Andre Luis da. **Haste verde e retenção foliar na cultura da soja**. Summa Phytopathologica, v. 39, n. 3, p. 151-156, 2013.

SILVA, Clarissa. Moraes. **Desempenho agrônômico de cultivares de soja em dois regimes hídricos e duas épocas de semeadura em Cachoeira do Sul**. Orientadora: Zanandra Boff de Oliveira. 2019. 41 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, campus Cachoeira do Sul, 2019.

SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E DESENVOLVIMENTO RURAL.

Mais de dois terços da área cultivada com soja já foi colhida. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/mais-de-dois-tercos-da-area-cultivada-com-soja-ja-foi-colhida#:~:text=Dos%20mais%20de%206%2C3,%2C%2068%25%20j%C3%A1%20foram%20colhidos>. Acesso em: 23 jun 2022.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artemed, p. 954, 2013.

ZANON, A. J. et al. **Ecofisiologia da soja- Visando altas produtividades**. 1º ed. Santa Maria: [n.s.], 2018a. ISBN: 978-85-54856-14-4. 136p.

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.