

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Deficiência hídrica em plantas de soja em função da época de aplicação do  
estresse hídrico e presença de protetor térmico nas folhas**

**Ana Michele Pereira da Conceição**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestra em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia.

**Piracicaba  
2023**

**Ana Michele Pereira da Conceição**  
**Bacharel em Engenharia Agrônômica**

**Deficiência hídrica em plantas de soja em função da época de aplicação do estresse hídrico e presença de protetor térmico nas folhas**

versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:  
Prof. Dr. **DURVAL DOURADO NETO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestra em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia.

**Piracicaba**  
**2023**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**  
**DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Conceição, Ana Michele Pereira da.

Deficiência hídrica em plantas de soja em função da época de aplicação do estresse hídrico e presença de protetor térmico nas folhas / Ana Michele Pereira da Conceição.- - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2023.

56p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Protetor térmico 2. Estresse térmico 3. *Deficit* hídrico 4. *Glycine max.* . I. Título

## **DEDICATÓRIA**

**Dedico este trabalho à minha família e amigos,  
por todo o incentivo e apoio.**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me abençoar sempre.

À Universidade de São Paulo, por intermédio da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, pela estrutura, por possibilitar me qualificar e pelo crescimento pessoal.

Ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realizar o Curso em nível de Mestrado.

À CAPES, por conceder uma bolsa de estudos nos primeiros meses de mestrado.

Ao CNPQ, por me fornecer bolsa de estudos no decorrer da realização do mestrado.

Ao meu orientador, professor Dr. Durval Dourado Neto, pelo conhecimento passado, paciência, oportunidade de realizar este trabalho e apoio.

Ao Dr. Leandro Fellet Lourenço, por me ajudar desde o início da minha pesquisa, pelos ensinamentos, paciência e disposição.

Ao professor Dr. Ricardo Ferraz de Oliveira, do Laboratório de Estudos de Plantas Sob Estresse (LEPSE), por me receber e permitir o uso de equipamentos na minha pesquisa.

À Ângela Márcia Derigi Silva, secretária do PPG Fitotecnia, pela imensa ajuda durante todo o mestrado, sempre muito prestativa, educada e positiva.

À Alice, pela amizade e incentivo desde a graduação até a pós graduação e por me ajudar na estatística.

Aos amigos que fiz na Esalq/USP, obrigada pelo companheirismo, amizade e por me ajudarem durante o mestrado, em especial à Carol, Carlos, Giovana, Hugo, Igor, João e Júnior.

Aos meus pais e minhas irmãs, pelo incentivo, ajuda e carinho, sem vocês nada seria possível.

Às minhas amigas Adriana, Beatriz e Luana pelo companheirismo, amizade e por me apoiarem sempre.

Ao Eduardo, pelo apoio, incentivo, paciência e toda ajuda.

A todos que fizeram parte e contribuíram com esta jornada.

**EPÍGRAFE**

“A essência do conhecimento humano é a sua aplicação prática”

Confúcio (551 a 479 a. C.)

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRAC .....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>12</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>15</b>
2.1 Cultura de soja .....	15
2.1.1 Botânica e morfologia .....	16
2.1.2 Cultivares .....	17
2.1.3 Fotoperíodo .....	18
2.1.4 Grupo de maturidade relativa .....	18
2.2 Deficiência hídrica na soja .....	19
2.3 Estresse térmico e uso de carbonato de cálcio .....	19
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
3.1 Local do experimento .....	21
3.2 Delineamento experimental .....	22
3.3 Cultivar .....	24
3.4 Condução do experimento .....	24
3.5 Variáveis analisadas .....	26
3.6 Análise estatística .....	27
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>29</b>
4.1 Parâmetros meteorológicos .....	29
4.1.1 Temperatura .....	29
4.1.2 Chuva .....	29
4.1.3 Umidade relativa .....	30
4.2 Protetor térmico nas plantas de soja .....	31
4.3 Respostas agronômicas .....	31
4.4 Respostas fisiológicas .....	41
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>48</b>

## RESUMO

### Deficiência hídrica em plantas de soja em função da época de aplicação do estresse hídrico e presença de protetor térmico nas folhas

Uma das culturas agrícolas mais importantes no Brasil, e no mundo, é a da soja. A soja é uma cultura anual, que hoje em dia é cultivada em diversas regiões do mundo. Tem alto teor de proteínas, sais minerais, de gorduras e vitaminas, e contribui com a alimentação de muitas pessoas, é usada na indústria e tem importante valor na alimentação animal. A disponibilidade de água tem grande papel na produtividade da soja, sendo importante nos primeiros estágios, germinação e emergência, pois afeta a uniformidade e a população de plantas. Já na fase reprodutiva, falta de água pode interferir no peso dos grãos, encurtar o florescimento, e causar abortamento de flores. Na cultura de soja, a demanda por água cresce de acordo com o desenvolvimento das plantas, sendo imprescindível no fase de enchimento dos grãos. Este trabalho teve como objetivo estudar o desempenho de plantas de soja em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico, com diferentes durações, aplicados nas fases vegetativa e reprodutiva, com e sem o uso de protetor térmico nas folhas, bem como determinar se plantas com o uso de protetor térmico obtiveram maior tolerância ao estresse hídrico e observar se a época de aplicação do protetor térmico inteferiu na referida tolerância ao estresse hídrico. O experimento se caracterizou como delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 3 x 2 com 3 repetições. Os tratamentos foram caracterizados da seguinte forma: quatro manejos de irrigação, com diferentes lâminas de irrigação, sendo reposição de 100% da evapotranspiração potencial da cultura (ETc) (100% ETc), reposição de 75% da evapotranspiração potencial da cultura (75% ETc), reposição de 50% da evapotranspiração potencial da cultura (50% ETc) e reposição de 25% da evapotranspiração potencial da cultura (25% ETc) (respectivamente L<sub>100</sub>, L<sub>75</sub>, L<sub>50</sub> e L<sub>25</sub>); três épocas de aplicação do estresse hídrico, no estágio fenológico vegetativo (V<sub>6</sub>), estágio fenológico reprodutivo no início da floração (R<sub>1</sub>) e estágio fenológico reprodutivo na fase de enchimento de grãos (R<sub>5</sub>); e o uso de protetor térmico nas folhas de soja (CP) e a não utilização de protetor térmico nas folhas de soja. Houve diferença estatística significativa entre os tratamentos com diferentes lâminas de irrigação nos componentes: altura de plantas (A), diâmetro do caule (D), número de nós por planta (NNP), número total de vagens por planta (NVP), massa de cem grãos (MCG), produtividade de grãos (PROD), área foliar (AF) e índice de colheita (IC). Foi observada diferença estatística significativa entre as diferentes épocas de aplicação do estresse hídrico, nos seguintes componentes: altura de plantas (AP), diâmetro do caule (D), número de nós por planta (NNP), número total de vagens por planta (NVP), massa de cem grãos (MCG), produtividade de grãos (PROD), área foliar (AF) e índice de colheita (IC). Não foi observada diferença estatística nos tratamentos com e sem protetor solar nas folhas de soja, em nenhum dos componentes. Houve diferença estatística entre as quatro lâminas de irrigação analisando os resultados de fotossíntese (A) e transpiração (E), os valores de condutância estomática (gs) foram estatisticamente iguais, apenas, nas lâminas de irrigação L<sub>75</sub> e L<sub>50</sub>, os valores de iEUA foram estatisticamente iguais em L<sub>100</sub>, L<sub>75</sub> e L<sub>50</sub>. Foi observado no trabalho que o uso de protetor térmico, a base de carbonato de cálcio, não apresentou diferença significativa quando analisado os tratamentos com diferentes lâminas de irrigação e aplicado nas fases vegetativa e reprodutiva. Portanto, o uso dessa agroquímico não influencia os componentes de crescimento e produtividade, nem os parâmetros fisiológicos. Pode-se concluir que quanto mais severo o estresse hídrico, menores serão os valores das variáveis de produtividade, crescimento e as características fisiológicas são afetadas negativamente.

**Palavras-chave:** Protetor térmico; Estresse térmico; *Deficit* hídrico; *Glycine max*

## ABSTRACT

### **Water deficiency in soybean plants as a function of the period of application of water stress and the presence of thermal protector on the leaves**

One of the most important agricultural crops in Brazil, and in the world, is soybean. Soybean is an annual crop, which nowadays is cultivated in different regions of the world. It has a high content of proteins, mineral salts, fats and vitamins, and contributes to the diet of many people, is used in industry and has an important value in animal feed. Water availability plays a major role in soybean productivity, being important in the early stages, germination and emergence, as it affects plant uniformity and population. Already in the reproductive phase, lack of water can interfere with the weight of the grains, shorten flowering, and cause abortion of flowers. In the soybean crop, the demand for water grows according to the development of the plants, being essential in the grain filling phase. This work aims to study the performance of soybean plants in response to different levels of water stress, with different durations, applied in the vegetative and reproductive phases, with and without the use of thermal protector on the leaves, as well as to determine whether plants with the use of thermal protector obtained greater tolerance to water stress and to observe whether the time of application of the thermal protector interfered in said tolerance to water stress. The experiment was characterized as a completely randomized experimental design in a 4 x 3 x 2 factorial scheme with 3 replications. The treatments were characterized as follows: four irrigation managements, with different irrigation depths, with replacement of 100% of potential crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>) (100% ET<sub>c</sub>), replacement of 75% of potential crop evapotranspiration (75% ET<sub>c</sub>), replacement of 50% of potential crop evapotranspiration (50% ET<sub>c</sub>) and replacement of 25% of potential crop evapotranspiration (25% ET<sub>c</sub>) (respectively L<sub>100</sub>, L<sub>75</sub>, L<sub>50</sub> and L<sub>25</sub>); three times of water stress application, in the vegetative phenological stage (V<sub>6</sub>), reproductive phenological stage at the beginning of flowering (R<sub>1</sub>) and reproductive phenological stage in the grain filling phase (R<sub>5</sub>); and the use of thermal protector on soybean leaves (CP) and the non-use of thermal protector on soybean leaves. There was a statistically significant difference between the treatments with different irrigation depths in the components: plant height (A), stem diameter (D), number of nodes per plant (NNP), total number of pods per plant (NVP), hundred grains (MCG), grain yield (PROD), leaf area index (LAI) and harvest index (IC). A statistically significant difference was observed between the different times of water stress application, in the following components: plant height (AP), stem diameter (D), number of nodes per plant (NNP), total number of pods per plant (NVP), 100-grain mass (MCG), grain yield (PROD), leaf area index (LAI) and harvest index (IC). No statistical difference was observed in treatments with and without sunscreen on soybean leaves, in any of the components. There was a statistical difference between the four irrigation depths, analyzing the results of photosynthesis (A) and transpiration (E), the values of stomatal conductance (g<sub>s</sub>) were statistically equal, only in the irrigation depths L<sub>75</sub> and L<sub>50</sub>, the values of iEUA were statistically equal at L<sub>100</sub>, L<sub>75</sub> and L<sub>50</sub>. It was observed in the work that the use of thermal protector, based on calcium carbonate, did not present a significant difference when analyzing the treatments with different irrigation depths and applied in the vegetative and reproductive phases. Therefore, the use of this agrochemical does not influence the growth and yield components, nor the physiological parameters. It can be concluded that the more severe the water stress, the lower the values of yield variables, growth and physiological characteristics are negatively affected.

**Keywords:** Thermal protector; Thermal stress; Water deficit; *Glycine max*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vasos onde foram semeadas as plantas de soja, nas bancadas na Fazenda Areão. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq). Universidade de São Paulo (USP) .....	22
Figura 2. Croqui com o desenho esquemático do experimento. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq). Universidade de São Paulo (USP) .....	23
Figura 3. Semeadura da soja, cinco sementes plantadas com profundidade de 3 cm. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq). Universidade de São Paulo (USP) .....	25
Figura 4. Temperatura (T, °C) média (Td, °C), máxima (Tx, °C) e mínima (Tn, °C) em relação ao número de dias após a semeadura (t, DAS). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP. 2022 .....	29
Figura 5. Chuva (C, mm) em relação ao número de dias após a semeadura. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP. 2022 .....	30
Figura 6. Umidade relativa do ar (UR, %) máxima (URx), média (URd) e mínima (URn) em relação ao número de dias após a semeadura. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP. 2022 .....	30
Figura 7. Folhas de soja após a aplicação de carbonato de cálcio. Tratamento experimental com o protetor térmico. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP. 2022 .....	31
Figura 8. Assimilação líquida de CO <sub>2</sub> , fotossíntese (photo), nas plantas de soja submetidas a diferentes lâminas de irrigação (L <sub>100</sub> , L <sub>75</sub> , L <sub>50</sub> e L <sub>25</sub> ), estádios fenológicos (R <sub>1</sub> , R <sub>5</sub> e V <sub>6</sub> ) e presença de protetor térmico (CP) e sem protetor térmico (SP) (I). Taxa transpiratória, transpiração (trans), nas sojas submetidas a diferentes lâminas de irrigação estádios fenológicos e presença de protetor térmico e sem protetor térmico (II). Condutância estomática (COND), nas plantas de soja submetidas a diferentes lâminas de irrigação, estádios fenológicos e presença de protetor térmico e sem protetor térmico (III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq). Universidade de São Paulo (USP) .....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estágios vegetativos e reprodutivos da cultura de soja .....	17
Tabela 2. Descrição dos tratamentos que compõem o experimento. Delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 4x3x2. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo .....	23
Tabela 3. Análise química do solo da camada de 0 a 15 cm. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo .....	24
Tabela 4. Análise granulométrica do solo. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo .....	24
Tabela 5. Análise de variância (valor F) dos parâmetros de crescimento e produtividade em função dos tratamentos e da interação entre as diferentes lâminas de irrigação (L), estádios fenológicos (F) de aplicação do estresse hídrico e o uso ou não de protetor (P) térmico nas folhas. AP - altura de planta; AIPV - altura de inserção da primeira vagem; D - diâmetro; NNP - número de nós por planta; NVP - número de vagens por planta; MCG - massa de cem grãos; PROD - produtividade; AF - área foliar; IC - índice de colheita. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo .....	33
Tabela 6. Valores das médias dos componentes de crescimento e produtividade referentes aos tratamentos: CP - com uso de protetor térmico nas folhas de soja à base de carbonato de cálcio; SP - sem protetor térmico à base de carbonato de cálcio. AP - altura de planta; NNP - número de nós por planta; NVP - número de vagens por planta; MCG - massa de cem grãos; PROD - produtividade; AF - área foliar; IC - índice de colheita. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo .....	33
Tabela 7. Valores das médias dos componentes de crescimento, altura de plantas (AP, cm) e número de nós por planta (NNP), referente a interação entre os tratamentos com lâminas de irrigação e estádios fenológicos. L <sub>100</sub> - 100% ETc; L <sub>75</sub> - 75% ETc; L <sub>50</sub> - 50% ETc; L <sub>25</sub> - 25% ETc. V <sub>6</sub> - estágio vegetativo; R <sub>1</sub> - início da floração, estágio reprodutivo; R <sub>5</sub> - enchimento de grãos, estágio reprodutivo. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo .....	34
Tabela 8. Valores das médias dos componentes de crescimento, diâmetro de caule (D, mm) e altura de inserção da primeira vagem (AIPV), referentes ao tratamento lâminas de irrigação e estádios fenológicos. L <sub>100</sub> - 100% ETc; L <sub>75</sub> - 75% ETc; L <sub>50</sub> - 50% ETc; L <sub>25</sub> - 25% ETc. V <sub>6</sub> - estágio vegetativo; R <sub>1</sub> - início da floração, estágio reprodutivo; R <sub>5</sub> - enchimento de grãos, estágio reprodutivo. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo .....	35
Tabela 9. Valores das médias dos componentes de produtividade, número de vagens por planta (NVP) e massa de cem grãos (MCG, g), referente a interação entre os tratamentos com lâminas de irrigação e estádios fenológicos. L <sub>100</sub> - 100% ETc; L <sub>75</sub> - 75% ETc; L <sub>50</sub> - 50% ETc; L <sub>25</sub> - 25% ETc. V <sub>6</sub> - estágio vegetativo; R <sub>1</sub> - início da floração, estágio reprodutivo; R <sub>5</sub> - enchimento de grãos, estágio reprodutivo. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo .....	38

Tabela 10. Valores das médias dos componentes de produção, produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e índice de colheita ( $\text{kg kg}^{-1}$ ), referente a interação entre os tratamentos com lâminas de irrigação e estádios fenológicos. L<sub>100</sub> - 100% ETc; L<sub>75</sub> - 75% ETc; L<sub>50</sub> - 50% ETc; L<sub>25</sub> - 25% ETc. V<sub>6</sub> - estágio vegetativo; R<sub>1</sub> - início da floração, estágio reprodutivo; R<sub>5</sub> - enchimento de grãos, estágio reprodutivo. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo ..... 40

Tabela 11. Valores médios de área foliar (AF), referente a interação entre os tratamentos com lâminas de irrigação e estádios fenológicos. L<sub>100</sub> - 100% ETc; L<sub>75</sub> - 75% ETc; L<sub>50</sub> - 50% ETc; L<sub>25</sub> - 25% ETc. V<sub>6</sub> - estágio vegetativo; R<sub>1</sub> - início da floração, estágio reprodutivo; R<sub>5</sub> - enchimento de grãos, fase reprodutiva. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo ..... 40

Tabela 12. Análise de variância (valor F) dos parâmetros fisiológicos em função dos tratamentos e da interação entre as diferentes lâminas de irrigação (L, mm), estádios fenológicos (F) de aplicação do estresse hídrico e o uso ou não de protetor (P) térmico nas folhas. A - fotossíntese; E - transpiração; gs - condutância estomática. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo ..... 42

Tabela 13. Valores das médias de fotossíntese (A), transpiração (E), condutância estomática (gs) e eficiência intrínseca do uso da água (iEUA) de diferentes lâminas de irrigação (L), estádios fenológicos (F) de aplicação do estresse hídrico e o uso ou não de protetor (P) térmico nas folhas. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo ..... 43

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

%	Porcentagem
Al	Alumínio
Aw	Clima de savanna
Ca	Cálcio
Cfa	Clima subtropical úmido
Cm	Centímetro
Cmol	Centímol
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
dm <sup>3</sup>	Decímetro cúbico
ETc	Evapotranspiração potencial da cultura de interesse
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
g	Gramma
GMR	Grupo de Maturidade Relativa
H	Hidrogênio
ha	Hectare
IRGA	Infra Red Gas Analyser
K	Potássio
kg	Quilograma
L	Litro
m	Metros
mg	Miligramma
Mg	Magnésio
mm	Milímetro
MO	Matéria orgânica
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
P	Fósforo
SB	Soma de Bases

## 1 INTRODUÇÃO

A soja é uma das culturas agrícolas mais importantes no Brasil e no mundo. Segundo a CNA (CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL, 2020), a soja é a principal *commodity* da produção agropecuária do Brasil, sendo responsável por cerca de R\$ 175 milhões em 2020. A soja é uma cultura anual, que hoje em dia é cultivada em diversas regiões do mundo. Tem alto teor de proteínas, sais minerais, gorduras e vitaminas, e contribui com a alimentação de muitas pessoas. A soja é usada na indústria e tem importante valor na alimentação animal (MENEZES JÚNIOR, 1961). Tem alto valor econômico, pois tem na sua composição química em torno de 40% de proteína (SILVA et al., 2006).

Devido estar presente em grande parte do país, a cultura de soja é semeada em uma grande variedade de condições edafoclimáticas. Por conta disso, é necessário ter cuidado quanto ao planejamento e manejo das áreas de cultivo. O desenvolvimento da cultura de soja é afetado principalmente pelo fotoperíodo, disponibilidade de água, radiação solar e temperatura. Por isso, a época em que a soja é semeada é fundamental para que se saiba como esses fatores vão influenciar o cultivo de soja (ANHOLETO; MASSUQUETTI, 2015; BASTIDAS et al., 2008; SINCLAIR et al., 2005).

Os cultivares da soja são classificadas quanto à duração do seu ciclo, divididas de acordo com grupos de maturidade relativa (GMR), classificação importante na escolha do cultivar de acordo com o ambiente de produção.

Na maioria dos casos no Brasil, o aporte de nitrogênio na cultura de soja acontece por fixação biológica de nitrogênio, com a associação de rizóbios e plantas de soja. Com isso, mais de 70% da demanda desse nutriente é atingida, podendo chegar a cerca de 94%, o restante é proveniente da matéria orgânica no solo (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2007).

Com a introdução de bactérias que fixam o nitrogênio, através de inoculação das sementes de soja, não se faz necessária a realização de adubação nitrogenada (SEDIYAMA; SILVA; BORÉM, 2015).

A disponibilidade de água tem grande papel na produtividade da cultura de soja, sendo importante nos primeiros estádios, germinação e emergência, pois afeta a uniformidade e a população de plantas. Já na fase reprodutiva, falta de água pode interferir no peso dos grãos, encurtar a fase vegetativa (florescimento), e causar abortamento de flores. Na cultura de soja, a demanda por água cresce de acordo com o desenvolvimento das plantas, sendo imprescindível no fase de enchimento de grãos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2013; MAEHLER et al., 2003; ZHANG et al., 2016).

Há no mundo, o crescimento da demanda de alimentos, tornando o aumento da produção da soja crucial. Além disso, com o grande uso de soja na indústria e na alimentação animal, faz-se

possível o aumento da produção, pois o Brasil ainda tem potencial para aumentar a área irrigada (CASTRO; SANTOS, 2022; LOPES SOBRINHO et al., 2020).

Os estudos sobre o crescimento da cultura de soja e sua resposta ao *deficit* hídrico, em diferentes condições climáticas, são de grande importância para estabelecer parâmetros para o manejo e úteis na criação de modelos que podem ser usados em simulação de áreas de cultivos e assim facilitar decisões em campo.

O objetivo geral deste trabalho foi estudar o desempenho da cultura de soja em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico, aplicados em diferentes momentos nas fases vegetativas e reprodutivas, com e sem o uso de protetor térmico nas folhas.

Os objetivos específicos foram: (i) determinar se plantas com o uso de protetor térmico obtiveram mais tolerância ao estresse hídrico, e (ii) observar se a época de aplicação do protetor térmico interferiu na tolerância ao estresse hídrico.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A soja é uma das principais culturas do mundo, devido sua relevância na economia mundial, sua importância na segurança alimentar, já que é usado na alimentação de milhões de pessoas, na indústria, além de ser insumo na alimentação de animais ao redor do mundo.

Os maiores produtores de soja do mundo são Brasil, Estados Unidos, Argentina, China e Paraguai, que produziram na safra 2019/2020, respectivamente, 126, 96,8, 54, 18,1, 9,9 milhões de toneladas de grãos de soja (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2020).

No mundo, o consumo de soja na safra 2019/2020 foi de aproximadamente 351 milhões de toneladas, na safra 2020/2021 houve um aumento de 1,2% no consumo da soja, sendo a China o principal consumidor da oleaginosa, com uma demanda de 116,4 milhões de toneladas. Brasil e Estados Unidos são os maiores exportadores mundiais da soja, exportando respectivamente, 93,5 e 44,9 milhões de toneladas na safra 2019/2020 (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2020).

A soja ainda tem capacidade de expandir a produção no Brasil e em outros países da América Latina, em especial o Paraguai. Esse crescimento na produção será essencial para abastecer os setores pecuários que estão em crescimento (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 2018).

No Brasil, a área plantada de soja foi de aproximadamente 36.944,9 mil hectares na safra 2019/2020, ocupando cerca de 50% de toda área plantada no Brasil (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2020).

### 2.1 Cultura de soja

O continente asiático é o centro de origem da soja (*Glycine max* [L.] Merrill), especificamente a região nordeste da China, sendo a Manchúria o centro de diversidade genética (HYMOWITZ, 1970; MERRIL, 1931). No século XVIII a soja foi introduzida no ocidente, inicialmente na Europa. No Brasil, a introdução da soja começou a ser bem sucedida quando chegou ao Rio Grande do Sul, anteriormente foi testada em outros estados, mas não tiveram êxito. Hoje em dia, a soja é cultivada em todas as regiões do Brasil (BRETSCHNEIDER, 1882; GAZZONI; DALL'AGNOL, 2018).

### 2.1.1 Botânica e morfologia

A soja é uma planta que pertence a subdivisão Angiospermae, classe Dicotyledoneae, ordem Rosales, família Fabaceae, subfamília Faboideae e gênero *Glycine*, espécie *Glycine max* (L.) Merrill (JUDD et al., 2009; SEDIYAMA; SILVA; BORÉM, 2015).

A cultura de soja é caracterizada como anual com um ciclo de vida que pode ir de 70 a 200 dias. O seu tipo de caule é herbáceo ereto e ramificado, com tamanho podendo ir de 80 a 150 cm, nos cultivares de crescimento determinado tem racemo na sua terminação (NOGUEIRA et al., 2013; SEDIYAMA; SILVA; BORÉM, 2015; ZANON et al., 2018).

A germinação da soja é epígea e com cotilédones de forma oval elíptica, e pode ser afetada por fatores relacionados as sementes, como viabilidade, vitalidade, genótipo, longevidade e potencial fisiológico ou pode ser afetada por fatores ambientais, como temperatura, fotoperíodo, solo, oxigênio e profundidade que foi semeada. As folhas da soja, durante o seu ciclo, podem ser do tipo: cotiledonares, unifolioladas, trifoliolada e prófilos, e sua cor varia de verde clara a verde escuro (NOGUEIRA et al., 2013; SEDIYAMA; SILVA; BORÉM, 2015; ZANON et al., 2018).

A flor da soja se desenvolve em racemos axilares ou terminais, o número de flores pode variar de 2 a 35 por racemo, sua cor pode ser branca ou roxa. A semente é envolta por tegumento, e seu formato pode ser oval, globoso ou elipsoidal. As vagens da soja desenvolvem de uma até cinco sementes e tem coloração cinza ou marrom (NOGUEIRA et al., 2013; SEDIYAMA; SILVA; BORÉM, 2015; ZANON et al., 2018).

A soja apresenta diferentes tipos de crescimento: determinado, semi-determinado e indeterminado. Os hábitos de crescimento também se diferenciam, sendo classificados como: ereto, semiereto ou prostrado. No crescimento determinado, as plantas de soja não crescem ou crescem pouco após iniciar o florescimento, o crescimento inicial é maior. Já no crescimento indeterminado, as plantas crescem após o florescimento, podendo ir até a fase de enchimento de grãos, o seu crescimento inicial é mais lento (BERNARD et al., 1998; ZANON et al., 2016).

Os estádios de crescimento e desenvolvimento da planta de soja são importantes para realização do manejo da cultura, para isso é preciso acompanhar a soja durante todo seu desenvolvimento e são observadas suas folhas, flores, vagens, sementes e caules (NOGUEIRA et al., 2013).

A escala fenológica referente à cultura de soja foi criada por Fehr e Caviness (1977). A mesma é a mais usada mundialmente, a qual possui as fases vegetativa e reprodutiva. Em

2013, o MAPA (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2013) adaptou a escala criada por Fehr e Cavines (1977) (Tabela 1).

Numa lavoura, se define a fase que a área de cultivo está quando ao menos 50% das plantas desenvolveram características de determinado estágio fenológico.

**Tabela 1. Estágios vegetativos e reprodutivos da cultura de soja.**

<b>Estádios de desenvolvimento</b>	<b>Descrição</b>
<b>Fase Vegetativa</b>	
VC	Da emergência a cotilédones abertos
V <sub>1</sub>	Primeiro nó, folhas unifolioladas abertas
V <sub>2</sub>	Segundo nó, primeiro trifólio aberto
V <sub>3</sub>	Terceiro nó, segundo trifólio aberto
V <sub>n</sub>	Enésimo nó com trifólio aberto antes da floração
<b>Fase Reprodutiva</b>	
R <sub>1</sub>	Início da floração: 50% das plantas com uma flor aberta
R <sub>2</sub>	Floração plena, maioria dos racemos com flores abertas
R <sub>3</sub>	Início de formação de vagens: vagens com 5mm no quarto nó da parte superior das plantas
R <sub>4</sub>	Etapa final de crescimento das vagens: vagens com 2 a 4 cm no quarto nó da parte superior das plantas
R <sub>5</sub>	Início do desenvolvimento dos grãos à etapa final, no quarto nó da parte superior das plantas
R <sub>6</sub>	Enchimento completo das vagens: grãos enchendo totalmente as lojas das vagens no terço superior das plantas
R <sub>7</sub>	Maturação fisiológica: uma vagem madura e maioria delas amareladas no terço superior das plantas
R <sub>8</sub>	Maturação: 95% das vagens maduras (secas)

Fonte: Adaptado de Fehr e Caviness (1977), por MAPA (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2013).

### **2.1.2 Cultivares**

Os primeiros cultivares de soja plantadas no Brasil, não se adaptaram bem ao clima da maior parte do país, mas esses materiais genéticos foram usados para elaboração de programas de melhoramento genético, para desenvolver cultivares adaptados às condições climáticas brasileiras. O principal objetivo no melhoramento da soja, inicialmente, era

aumentar altura da planta, produtividade dos grãos e modificar ciclo, mas com o aparecimento de doenças o foco do melhoramento foi ampliando (SEDIYAMA; SILVA; BORÉM, 2015).

Desde então, de acordo com o MAPA (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2020), no Brasil há mais de 1.000 cultivares de soja. Os cultivares de soja tem diversas características, classificações e indicações. Podem diferir de acordo com o grupo de maturidade relativa, altura de plantas, resistência ao acamamento, resistência a deiscência das vagens, tipo de crescimento, hábito de crescimento, forma da folha, qualidade da semente. Há cultivares com resistência a diversas doenças como à pústula bacteriana (*Xanthomonas axonopalis* pv. *glycines*), cancro da haste (*Phomopsis phaseoli* var. *meridionalis* / *Diaporthe phaseolorum* var. *meridionalis*), fogo-selvagem (*Pseudomonas syringae* pv. *tabaci*) e mancha-olho-de-rã (*Cercospora sojina*). Alguns poucos cultivares já apresentam resistência à ferrugem-asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e há cultivares resistentes ao nematoide de cisto (*Heterodera glycines*) e ao nematoide-de-galhas (*Meloidogyne* sp.) (SEDIYAMA; SILVA; BORÉM, 2015).

### **2.1.3 Fotoperíodo**

O fotoperíodo é tem importante papel no ciclo dos cultivares de soja, diferentes cultivares de soja apresentam um fotoperíodo ideal para que ocorra o florescimento, e é relevante em diversas características agrônômicas como: crescimento, maturidade, peso de sementes, altura das plantas, indução floral e ramificações. Grande parte dos cultivares usados no Brasil apresentam fotoperíodo crítico entre 13 a 14 horas (BARROS; SEDIYAMA, 2009; RODRIGUES et al., 2001; SEDIYAMA; SILVA; BORÉM, 2015).

### **2.1.4 Grupo de maturidade relativa**

Os grupos de maturidade relativa (GMR) foi desenvolvido nos Estados Unidos (POEHLMAN, 1987), e começou a ser implantada no Brasil em meados de 1997, substituindo a classificação que era dividida em ciclos precoces, superprecoce, médio, semitardio e tardio. O GMR melhor se adequa ao Brasil pois descreve a maturidade em uma grande faixa de ambientes e latitudes. O GMR vai de 000 até 10 e os cultivares se dividem em 13 grupos, quanto menor a classificação, mais precoce (ALLIPRANDINI et al., 1994; ALLIPRANDINI et al., 2009).

No Brasil, os cultivares com menor GMR são recomendados para a região sul, com maturidade de 4 a 7, os cultivares com maior GMR são indicados para regiões mais próximas da linha do Equador, com maturidade de 8 a 10. As regiões produtoras no país têm o grupo de maturação em torno de 5 a 9 (GAVA, 2014; ZANON et al., 2018).

Kaster e Farias (2011) realizaram, no Brasil, trabalho que avaliou a duração total do ciclo da cultura de soja em dias de acordo com a região e os grupos de maturação. Um grupo de maturação 7,7 na região sudeste apresenta ciclo menor do que na região centro-sul, assim como 7,5 na região sul tem ciclo maior do que o mesmo grupo na região sudeste. Sendo assim, os grupos de maturação são fundamentais para o manejo e planejamento de uma área de cultivo.

## 2.2 Deficiência hídrica na soja

A disponibilidade de água é um importante fator para o desenvolvimento das plantas de soja. No Brasil, o *deficit* de água é um dos principais limitantes para que a soja atinja seu potencial total e causa diferenciação nas produtividades de grãos entre diferentes safras (FARIAS; NEPONUCENO; NEUMAIER, 2007). A necessidade de água cresce à medida que a planta se desenvolve, sendo fundamental na floração e no enchimento dos grãos. Para obter o completo produtividade, a soja precisa entre 450 a 800 mm ciclo<sup>-1</sup>, variando de acordo com as diferentes condições climáticas, manejo e ciclo do cultivar escolhido (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2010).

Quando a planta absorve menos água do que ela transpira, ocorre a deficiência hídrica, sendo caracterizado por possível alta taxa de transpiração das plantas de soja, retenção osmótica da água e secamento do solo (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017).

Como defesa ao estresse hídrico, as plantas utilizam mecanismos para diminuir os danos, assim, processos fisiológicos são alterados. Pode ocorrer o fechamento dos estômatos, para diminuir a perda de água, enrolamento das folhas, senescência das folhas para diminuir a área foliar, regulação osmótica e aparecimento de tricomas (TAIZ; ZAIGER, 2013).

De acordo com o trabalho realizado por Gava et al. (2015) de estresse hídrico em diferentes fases da cultura de soja, o *deficit* hídrico afetou a altura total das plantas de soja, o número de vagens por planta, números de grãos por planta, a massa de 1000 grãos e a produtividade, além de mostrar que o *deficit* hídrico aplicado na fase do enchimento dos grãos é tão prejudicial quanto ao *deficit* durante todo o ciclo da soja.

Firmano, Kuwahara e Souza (2009) observaram que o estresse hídrico diminuiu a taxa de fotossíntese líquida das plantas de soja, resultados semelhantes foram encontrados por Santos (2018).

## 2.3 Estresse térmico e uso de carbonato de cálcio

Estresses abióticos, como o hídrico e o térmico, causam danos no desenvolvimento e crescimento de diversas plantas. A radiação solar é imprescindível para o desenvolvimento

das plantas, porém o excesso causa saturação luminosa, que pode diminuir a sua eficiência na planta (JIANG et al., 2004), temperaturas superiores a 40°C podem alterar diversos componentes da soja, alterando negativamente o desenvolvimento (MECKEL et al., 1984; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2013).

Boari et al. (2015) afirmam que é importante criar formas de minimizar os efeitos negativos dos estresses abióticos, e diversos estudos estão em teste com esse propósito.

Ahmed (2014) afirma sobre produtos químicos que tem o objetivo de diminuir os efeitos negativos do excesso de radiação, e sugere o uso de materiais antitranspirantes nas plantas, que podem elevar a resistência das folhas a difusão do vapor de água, esses produtos são do tipo que: provoca fechamento dos estômatos, refletores e partículas de filme. Sendo os dois últimos os mais indicados por não serem tóxicos e com eficácia mais duradoura.

O efeito do antitranspirante refletor tem função de refletir a radiação incidente sobre as folhas de diversas plantas. O antitranspirante com efeito de partícula de filme irá envolver a superfície das folhas com uma camada que diminuirá a perda de vapor de água (AHMED, 2014).

YEE (2012) cita o uso do agroquímico carbonato de cálcio como um antitranspirante usado para envolver as folhas ou frutos de plantas e evitar os efeitos negativos da radiação em excesso, o modo de ação do  $\text{CaCO}_3$  é por reflexão. Outros autores citam que o carbonato de cálcio auxilia no aumento da qualidade de frutos, conseqüentemente, melhorando a produtividade, além de diminuir queimaduras formadas pelo sol (AHMED et al., 2013).

A maioria dos trabalhos citam a utilização do carbonato de cálcio em cereais, frutíferas, plantas ornamentais e vegetais, sendo útil na diminuição do estresse térmico (BADRAN, 2015; FREITAS, 2021).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Local do experimento**

O experimento foi conduzido na cidade de Piracicaba, no estado de São Paulo, na área experimental da Fazenda Areão, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (Esalq/USP), com coordenadas geográficas 22°41,716’ de latitude Sul e 47°38,478’ de longitude Oeste, com a altitude do local variando de 520 a 600 metros.

O clima na região de Piracicaba é Cfa (KÖPPEN (1936)) com transição para Aw (DIAS et al., 2017). Sendo assim, está alterando de clima subtropical úmido com clima oceânico, ausência de estação seca com verão quente, para clima tropical com estação seca. A temperatura média anual é em torno de 22°C e a precipitação média anual é de 1.300 mm.

O experimento foi realizado em vasos pretos de polipropileno, dispostos em bancadas de aço galvanizado instaladas na Fazenda Areão, entre final do mês de abril ao mês de setembro. Ao lado da bancada principal, foi utilizada uma bancada menor, que era usada no momento de impor os tratamentos de estresse hídrico, em cada estágio fenológico determinado (Figura 1).



**Figura 1. Vasos onde foram semeadas as plantas de soja, nas bancadas na Fazenda Areão. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq). Universidade de São Paulo (USP).**

### **3.2 Delineamento experimental**

O experimento se caracterizou como delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 3 x 2 com 3 repetições.

Os tratamentos foram caracterizados da seguinte forma: quatro manejos de irrigação, com diferentes lâminas de irrigação, sendo reposição de 100% da evapotranspiração potencial da cultura (ET<sub>c</sub>) (100% ET<sub>c</sub>), reposição de 75% da evapotranspiração potencial da cultura (75% ET<sub>c</sub>), reposição de 50% da evapotranspiração potencial da cultura (50% ET<sub>c</sub>) e reposição de 25% da evapotranspiração potencial da cultura (25% ET<sub>c</sub>) (respectivamente L<sub>100</sub>, L<sub>75</sub>, L<sub>50</sub> e L<sub>25</sub>); três épocas de aplicação do estresse hídrico, no estágio fenológico vegetativo (V<sub>6</sub>), estágio fenológico reprodutivo no início da floração (R<sub>1</sub>) e estágio fenológico reprodutivo na fase de enchimento de grãos (R<sub>5</sub>); e o uso de protetor térmico nas folhas de soja (CP) e a não utilização de protetor térmico nas folhas de soja (Tabela 2).

**Tabela 2. Descrição dos tratamentos que compõem o experimento. Delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 4x3x2. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.**

Tratamento	Descrição	Legenda
Lâminas de irrigação	100% da evapotranspiração potencial da cultura (ETc)	L <sub>100</sub>
	75% da evapotranspiração potencial da cultura (ETc)	L <sub>75</sub>
	50% da evapotranspiração potencial da cultura (ETc)	L <sub>50</sub>
	25% da evapotranspiração potencial da cultura (ETc)	L <sub>25</sub>
Estádios Fenológicos	Fase Vegetativa - Sexto nó - V <sub>6</sub>	V <sub>6</sub>
	Fase Reprodutiva- Início da floração - R <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>
	Fase Reprodutiva- Início do desenvolvimento dos grãos - R <sub>5</sub>	R <sub>5</sub>
Protetor Térmico	Com aplicação do protetor térmico nas folhas	CP
	Sem aplicação do protetor térmico nas folhas	SP

Cada tratamento teve três vasos, representando as três repetições, e cada vaso tinham 2 plantas cada, totalizando 72 parcelas experimentais. O desenho esquemático do experimento (croqui) está apresentado na Figura 2.

Bancada de aplicação de estresse hídrico (plantas permaneceram por 12 dias, de acordo com o estágio vegetativo):

50V6SP	75V6CP	50V6SP	25R1CP	100R1CP	100R1SP	75R5SP	25R5SP	25R5SP
25V6CP	25V6SP	100V6CP	50R1SP	100R1SP	50R1CP	50R5CP	100R5SP	75R5CP
50V6CP	50V6CP	75V6SP	50R1CP	50R1SP	25R1SP	50R5CP	50R5SP	100R5CP
50V6SP	75V6SP	75V6SP	75R1CP	75R1SP	25R1CP	25R5CP	100R5SP	25R5CP
100V6SP	75V6CP	25V6CP	25R1SP	100R1CP	25R1CP	100R5CP	25R5SP	75R5CP
100V6SP	75V6CP	50V6CP	100R1SP	75R1SP	100R1CP	75R5SP	100R5SP	25R5CP
100V6CP	25V6SP	100V6CP	50R1CP	75R1SP	25R1SP	50R5SP	50R5SP	75R5SP
25V6CP	25V6SP	100V6SP	75R1CP	50R1SP	75R1CP	100R5CP	75R5CP	50R5CP

75V6 SP	75R1 SP	25R5 CP	100V6 SP	75V6 CP	50R5 CP	25V6 SP	75R1 SP	100R1 CP	25R1 CP	50R5 CP	75R5 SP	50R1 CP	50R1 SP	25R5 SP	100V6 CP	50V6 CP	50R1 SP
75R5 CP	25R5 SP	75V6 SP	50V6 SP	100V6 CP	75V6 CP	50R5 SP	100R5 CP	50V6 CP	75V6 SP	75V6 CP	50R1 SP	100R5 SP	25R1 SP	25V6 CP	75R1 SP	100V6 CP	75R1 CP
50V6 SP	75R5 CP	25V6 CP	100R5 SP	50R1 CP	75R5 SP	25R1 SP	100V6 SP	25V6 CP	75R5 CP	25R5 CP	100R1 SP	50R5 SP	100V6 SP	75R1 CP	25R5 SP	25R5 CP	25R1 SP
25V6 SP	100R5 SP	100R1 SP	75R5 SP	100R1 CP	50R5 CP	75R1 CP	50V6 CP	50R5 SP	25R1 CP	100R5 CP	50R1 CP	50V6 SP	100R1 CP	25R1 CP	100R5 CP	25V6 CP	100R1 SP

**Figura 2. Croqui com o desenho esquemático do experimento. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq). Universidade de São Paulo (USP).**

### 3.3 Cultivar

O experimento foi realizado utilizando a cultura de soja, sendo escolhido o cultivar Monsoy-5917-IPRO. Este cultivar tem como características o grau de maturidade relativa 5.9, precocidade, resistência ao acamamento, porte médio e hábito de crescimento indeterminado (BAYER, 2022).

### 3.4 Condução do experimento

Anteriormente ao plantio, foi realizada a preparação dos vasos que receberam as sementes de soja. Foram utilizados vasos de polietileno, com capacidade de 4 litros. Esses vasos tiveram o fundo revestido por manta permeável, Bidim, para que não houvesse perdas do solo usado nos vasos.

Os vasos foram preenchidos com solo classificado como Nitossolo vermelho distrófico latossólico, material de origem siltito e com boa drenagem, o material foi coletado em área da Fazenda Areão, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (Esalq/USP). Antes do solo ser alocado nos vasos, houve o preparo do material, foi realizada a uniformização e retirada das impurezas.

De acordo com os resultados da análise de solo (Tabelas 3 e 4), foi feita a adubação.

**Tabela 3. Análise química do solo da camada de 0 a 15 cm. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.**

MO	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	V	m	pH
g dm <sup>-3</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>				----- % -----					
38	12	0,17	1,65	0,95	1,83	7,2	2,61	9,81	27	34,59	5,42

MO = matéria orgânica; P = fósforo; K = potássio; Ca = Cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H+Al = hidrogenio e alumínio; SB = soma de bases; T = capacidade de troca de cátions; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio;

**Tabela 4. Análise granulométrica do solo. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.**

Ar	Silte	Argila	δ	Classe Textural
----- % -----			g cm <sup>-3</sup>	
37,00	10,80	52,20	1,21	Argilosa

Como preparo de pré-semeadura, as sementes foram tratadas com fungicida (metalaxyl-m) e inseticida (imidacloprid). Já na semeadura das sementes, elas foram inoculadas com a bactéria do gênero *Rhizobium*, para estimular o desenvolvimento de nódulos nas raízes e permitir a fixação biológica de nitrogênio.

A semeadura dos vasos com as sementes de soja ocorreu no dia 23 de abril de 2021. Inicialmente foram semeadas cinco sementes de soja por vaso, com profundidade de 3 cm, e depois realizado o desbaste, deixando duas plantas de soja por vaso (Figura 3).



**Figura 3. Semeadura da soja, cinco sementes plantadas com profundidade de 3 cm. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq). Universidade de São Paulo (USP).**

Após a semeadura, os vasos de soja foram irrigados até que o solo ficasse próximo da capacidade de campo, mudando a irrigação apenas nas épocas de aplicação do estresse hídrico. Os tratamentos de irrigação foram aplicados em três épocas diferentes, nos estádios fenológicos  $V_6$  (fase vegetativa),  $R_1$  (fase reprodutiva, início do florescimento) e  $R_5$  (fase reprodutiva, enchimento de grãos), durante 12 dias.

Os vasos de soja que estavam nas bancadas foram irrigados por sistema de gotejamento, controlando a quantidade de água aplicado nos vasos, de acordo com os *deficits* hídricos determinados, e usando os lisímetros de pesagem, que indicaram o momento que as irrigações eram feitas.

Os gotejadores usados foram os autocompensantes, da Netafim, e foi disposta uma haste gotejadora por vaso de soja. Os lisímetros automáticos foram usados para obter a ETC, onde mede-se a variação do peso do solo, levando em consideração a entrada e a saída de água (CAMPECHE et al., 2011).

Os lisímetros usados possuem um sensor eletrônico que faz uma correlação da variação do peso dos vasos e são autônomos, usam uma conexão WIFI para enviar em tempo

real os dados coletados pelas balanças dos lisímetros. Quando a umidade do solo dos vasos de soja atingia valores abaixo dos estabelecidos, uma válvula solenoide era ligada e acionava o sistema de irrigação por gotejamento (LOURENÇO et al., 2020).

Para aplicar os quatro tratamentos de estresse hídrico foram usadas as seguintes lâminas de irrigação: 100% de evapotranspiração potencial da cultura (ET<sub>c</sub>, mm dia<sup>-1</sup>); 75% de evapotranspiração potencial da cultura (ET<sub>c</sub>, mm dia<sup>-1</sup>); 50% de evapotranspiração potencial da cultura (ET<sub>c</sub> mm dia<sup>-1</sup>); 25% de evapotranspiração potencial da cultura (ET<sub>c</sub>, mm dia<sup>-1</sup>).

Para irrigar os tratamentos de 100% de ET<sub>c</sub>, foi usado gotejadores com vazão de 8 litros por hora, nos tratamentos de 75% de ET<sub>c</sub> usou-se com vazão de 6 litros por hora, 50% de ET<sub>c</sub> foi usado com vazão de 4 litros por hora e no de 25% de ET<sub>c</sub> a vazão usada foi de 2 litros por hora.

Na aplicação dos tratamentos com o protetor térmico nas plantas de soja, foi usado um pulverizador manual de pressão de 2 litros. Nas folhas de soja, foram pulverizados 20 L ha<sup>-1</sup> de carbonato de cálcio e aplicado os tratamentos de *deficit* hídrico.

Para monitorar os dados climáticos, foi usada a série de dados climatológicos do Campus Luiz de Queiroz de Piracicaba, SP, do Departamento de Engenharia de Biosistemas, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo (LEB - Esalq - USP).

### 3.5 Variáveis analisadas

As plantas de soja passaram por análises biométricas, durante e ao final do experimento, as análises foram: (a) altura de plantas (AP, cm): aferida com fita métrica, (b) altura de inserção da primeira vagem (AIPV, cm): aferida com auxílio de fita métrica, medindo a altura entre o solo e a inserção do primeiro legume, (c) diâmetro do caule (D, mm): aferida com auxílio do instrumento paquímetro, (d) número de nós por planta (NNP): contagem dos nós em todo o caule, (e) número total de vagens por planta (NVP): contagem das vagens em cada planta, (f) massa de cem grãos (MCG, g): com auxílio de balança analítica de precisão, (g) produtividade de grãos (Prod, kg ha<sup>-1</sup>): densidade populacional do cultivar pela massa de grãos por planta, (h) área foliar (AF): determinada pela relação entre área foliar e área ocupada pela planta. Foi selecionada uma planta por vaso, no estágio R<sub>7</sub>, as folhas foram destacadas e digitalizadas, e (i) índice de colheita (IC, kg kg<sup>-1</sup>): relação entre a massa de grãos secos e peso seco da biomassa aérea da planta.

A colheita dos grãos ocorreu quando 95% das vagens tinham coloração de vagem madura, no estágio R8, de acordo com Fehr et al. (1971).

Durante o experimento, as plantas passaram por análises fisiológicas com o uso do aparelho IRGA, medindo: (a) taxa fotossintética ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), (b) condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), e (c) transpiração ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).

Com os dados fisiológicos obtidos pelo equipamento Irga foi calculada a eficiência intrínseca do uso da água (iEUA,  $\mu\text{mol} [\text{CO}_2] \text{mmol}^{-1} [\text{H}_2\text{O}]$ ), que é a relação entre taxa fotossintética e condutância estomática.

Foi selecionada uma planta por vaso para realização das análises fisiológicas.

### **3.6 Análise estatística**

Foi realizada análise de variância (ANOVA) e o Teste de Tukey, ao nível de significância de 5%, utilizando o pacote estatístico R.



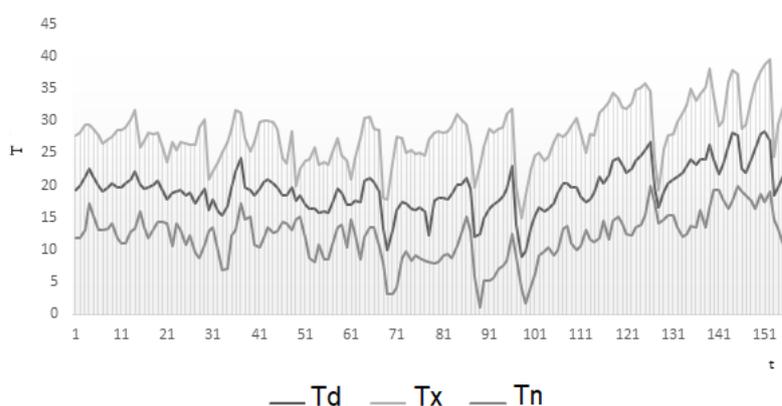
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Parâmetros meteorológicos

Os dados meteorológicos usados foram os provenientes da estação meteorológica do Campus Luiz de Queiroz de Piracicaba, SP, do Departamento de Engenharia de Biosistemas, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo (LEB - Esalq - USP).

#### 4.1.1 Temperatura

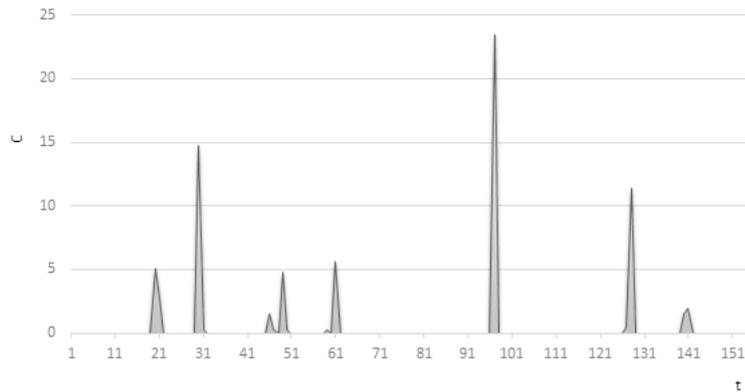
Os valores de temperatura máxima, média e mínima são apresentados na Figura 4. A temperatura máxima registrada durante o experimento 39,60°C, durante o final da fase reprodutiva. A temperatura mínima, que ocorreu durante a fase reprodutiva, foi de 1,0°C. A média geral durante os dias de realização do experimento foram: média da temperatura máxima foi de 28,10°C, a média da temperatura mínima foi de 12,02°C.



**Figura 4. Temperatura (T, °C) média (Td, °C), máxima (Tx, °C) e mínima (Tn, °C) em relação ao número de dias após a semeadura (t, DAS). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP. 2022.**

#### 4.1.2 Chuva

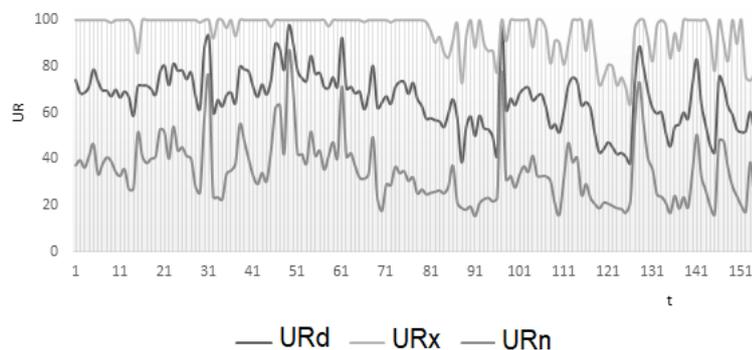
Os valores de chuva são apresentados na Figura 5. A maior intensidade de chuva, em mm, ocorreu 97 dias após a semeadura, na fase reprodutiva, onde choveu 23,4 mm. Houve ocorrência de chuvas em 15 dias no decorrer da condução do experimento.



**Figura 5. Chuva (C, mm) em relação ao número de dias após a semeadura. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP. 2022.**

#### 4.1.3 Umidade relativa

Os valores de umidade relativa do ar são apresentados na Figura 6. No gráfico encontra-se os valores máximos, mínimos e médios da umidade relativa do ar, durante os meses de realização do experimento de campo.



**Figura 6. Umidade relativa do ar (UR, %) máxima (URx), média (URd) e mínima (URn) em relação ao número de dias após a semeadura. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP. 2022.**

A umidade relativa do ar (UR) máxima registrada durante os meses do experimento foi de 100%, ocorrendo em cerca de 59% dos dias do experimento e nas fases vegetativas e reprodutivas. Na fase reprodutiva, foi registrada a umidade relativa do ar (UR) mínima, de 15,2%.

A média geral da umidade relativa do ar mínima foi de 34,63% e a média geral da umidade relativa do ar máxima foi de 95,11%.

#### 4.2 Protetor térmico nas plantas de soja

A Figura 7 ilustra folhas de soja após a aplicação de dose de 20 L ha<sup>-1</sup> de carbonato de cálcio (protetor térmico nas plantas de soja).

As folhas de soja adquiriram uma camada protetora esbranquiçada, devido a aplicação do carbonato de cálcio.



**Figura 7. Folhas de soja após a aplicação de carbonato de cálcio. Tratamento experimental com o protetor térmico. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP. 2022.**

#### 4.3 Respostas agronômicas

A análise de variância (ANOVA) apresentou, conforme disponível na Tabela 5, diferença estatística significativa entre os tratamentos com diferentes lâminas de irrigação nos componentes: altura de plantas (A), diâmetro do caule (D), número de nós por planta (NNP), número total de vagens por planta (NVP), massa de cem grãos (MCG), produtividade de grãos (PROD), área foliar (AF) e índice de colheita (IC). Foi observada diferença estatística significativa entre as diferentes épocas de aplicação do estresse hídrico, nos seguintes componentes: altura de plantas (AP), diâmetro do caule (D), número de nós por planta (NNP), número total de vagens por planta (NVP), massa de cem grãos (MCG), produtividade de

grãos (PROD), área foliar (AF) e índice de colheita (IC). Não foi observada diferença estatística nos tratamentos com e sem protetor solar nas folhas de soja, em nenhum dos componentes.

Ainda na Tabela 5, é possível observar que houve diferença estatística significativa na interação entre as lâminas de irrigação e estádios fenológicos, sendo observadas em: altura de plantas (AP), número de nós por planta (NNP), número total de vagens por planta (NVP), massa de cem grãos (MCG), produtividade de grãos (PROD), área foliar (AF) e índice de colheita (IC). Porém, já nas interações entre lâminas de irrigação e os tratamentos com e sem protetor térmico não houve interação estatisticamente significativa, o mesmo ocorre nas interações dos tratamentos aplicados em diferentes estádios fenológicos e tratamentos com protetor térmico foliar. Na interação entre os três tratamentos (lâminas de irrigação, estádios fenológicos e protetor térmico) não foi possível observar diferença significativa.

Os coeficientes de variação (CV) encontrados nas variáveis agronômicas observadas são classificados como baixos (abaixo ou igual a 10%), o que indica que os experimentos tiveram um nível de precisão experimental bom (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002).

A aplicação de protetor solar a base de carbonato de cálcio, nas folhas de soja, não diferiu estatisticamente em nenhum dos componentes agronômicos avaliados (Tabela 5). Na Tabela 6 é possível observar que as médias dos valores dentro do tratamento com protetor não diferiram relevantemente. Mostrando que a aplicação desse agroquímico não interfere nos valores das variáveis agronômicas. Resultado semelhante foi encontrado no trabalho de Trindade (2020), que utilizou o carbonato de cálcio na cultura do feijão, e não encontrou diferença estatística com a aplicação do protetor.

**Tabela 5. Análise de variância (valor F) dos parâmetros de crescimento e produtividade em função dos tratamentos e da interação entre as diferentes lâminas de irrigação (L), estádios fenológicos (F) de aplicação do estresse hídrico e o uso ou não de protetor (P) térmico nas folhas. AP - altura de planta; AIPV - altura de inserção da primeira vagem; D - diâmetro; NNP - número de nós por planta; NVP - número de vagens por planta; MCG - massa de cem grãos; PROD - produtividade; AF - área foliar; IC - índice de colheita. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.**

Fonte de variação	GL	AP	AIPV	D	NNP	NVP	MCG	AF	PROD	IC
Lâmina de irrigação (L)	3	324,15*	2,40 <sup>ns</sup>	116,25*	46,16*	151,02*	24,13*	80,12*	134,10*	133,8*
Estádios fenológicos (F)	2	167,78*	2,49 <sup>ns</sup>	33,53*	27,10*	102,97*	21,53*	85,77*	55,28*	60,17*
Protetor (P)	1	0,58 <sup>ns</sup>	1,78 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	1,01 <sup>ns</sup>	8e-04 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>
L x F	6	46,95*	0,56 <sup>ns</sup>	1,63 <sup>ns</sup>	6,89*	17,81*	9,94*	16,07*	12,67*	13,61*
L x P	3	0,09 <sup>ns</sup>	1,54 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	1,84 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	0,70 <sup>ns</sup>
F x P	2	0,02 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	1,37 <sup>ns</sup>
L x F x P	6	0,26 <sup>ns</sup>	1,19 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
CV (%)		2,18	2,93	1,96	3,69	4,13	5,82	7,76	6,49	6,35

GL: grau de liberdade. \*: significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; ns: não significativo.

**Tabela 6. Valores das médias dos componentes de crescimento e produtividade referentes aos tratamentos: CP - com uso de protetor térmico nas folhas de soja à base de carbonato de cálcio; SP - sem protetor térmico à base de carbonato de cálcio. AP - altura de planta; NNP - número de nós por planta; NVP - número de vagens por planta; MCG - massa de cem grãos; PROD - produtividade; AF - área foliar; IC - índice de colheita. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.**

Tratamento	Componentes de crescimento e produtividade							
	AP	NNP	NVP	MCG	PROD	AF	IC	
	cm	nós planta <sup>-1</sup>	vagens planta <sup>-1</sup>	g	kg ha <sup>-1</sup>	cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup>	kg kg <sup>-1</sup>	
Protetor térmico	CP	90,67 a	13,46 a	36,85 a	10,60 a	2858,78 a	5,74 a	0,30 a
	SP	91,02 a	13,4 a	37,05 a	10,63 a	2860,02 a	5,84 a	0,30 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

O valor máximo de altura de planta foi de 99,55 cm encontrado nos tratamentos L<sub>75</sub>V<sub>6</sub>, o valor mínimo foi 69,80 cm encontrado no tratamento L<sub>25</sub>R<sub>1</sub>, diferença de quase 30%. Observando as interações entre os tratamentos, não teve interação entre os três tratamentos lâmina de irrigação, estágio fenológico e uso de protetor, porém, teve interação entre os tratamentos lâminas de irrigação e estádios fenológicos. Observando os estádios fenológicos,

as médias de R<sub>1</sub> foram as menores, nas lâminas L<sub>75</sub>, L<sub>50</sub> e L<sub>25</sub>, e foi estatisticamente igual na lâmina L<sub>100</sub>. R<sub>5</sub> apresentou as maiores médias em L<sub>50</sub> e L<sub>25</sub>, e foi estatisticamente igual em L<sub>100</sub>, mostrando que a fase de enchimento de grãos não teve grande interferência do estresse hídrico (Tabela 7).

Pode-se observar que o estresse hídrico provocado nas plantas de soja teve efeito na altura das plantas, como visto no trabalho de Gava et al. (2015), que também utilizou estresse hídrico em diferentes estádios fenológicos da soja.

No trabalho de Atti et al. (2005) e Báez et al. (2020), também é visto que *deficit* hídrico severo diminui a crescimento das plantas de soja. A fase de enchimento de grãos apresentou maior média de altura de planta, que pode ser explicado devido à baixa produção de folhas nessa fase, portanto o estresse não teve influência (ALOU et al., 2018).

**Tabela 7. Valores das médias dos componentes de crescimento, altura de plantas (AP, cm) e número de nós por planta (NNP), referente a interação entre os tratamentos com lâminas de irrigação e estádios fenológicos. L<sub>100</sub> - 100% ETc; L<sub>75</sub> - 75% ETc; L<sub>50</sub> - 50% ETc; L<sub>25</sub> - 25% ETc. V<sub>6</sub> - estágio vegetativo; R<sub>1</sub> - início da floração, estágio reprodutivo; R<sub>5</sub> - enchimento de grãos, estágio reprodutivo. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.**

Componentes de crescimento	Tratamento								
		L <sub>100</sub>		L <sub>75</sub>		L <sub>50</sub>		L <sub>25</sub>	
Altura de plantas (cm)	V <sub>6</sub>	98,55	Aa	99,55	Aa	89,43	Bb	79,60	Cb
	R <sub>1</sub>	98,33	Aa	94,34	Bb	78,31	Cc	69,80	Dc
	R <sub>5</sub>	98,42	Aa	97,01	ABab	94,56	BCa	92,25	Ca
Número de nós por planta	V <sub>6</sub>	14,08	ABa	14,25	Aa	13,41	Ba	12,41	Cb
	R <sub>1</sub>	14,08	Aa	13,75	Aa	12,41	Bb	11,25	Cc
	R <sub>5</sub>	14,25	Aa	14,00	Aa	13,83	Aa	13,58	Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância para lâminas de irrigação. Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância para estádios fenológicos.

Observando apenas o componente número de nós por planta, nota-se que houve interação significativa entre lâminas de irrigação e estágio fenológico. L<sub>100</sub> e L<sub>75</sub> não apresentaram diferença estatística nos três estádios fenológicos, os efeitos só começam a ser visto a partir de estresse hídrico mais severo, nos tratamentos L<sub>50</sub> e L<sub>25</sub>. A maior média foi de

14,25, encontrada na interação L<sub>100</sub>R<sub>5</sub> e L<sub>75</sub>V<sub>6</sub>. Já a menor média foi encontrada em L<sub>25</sub>R<sub>1</sub>, com valor de 11,25 (Tabela 7). Portanto, se conclui que os estádios fenológicos, juntamente com o estresse hídrico influenciaram os números de nós de forma relevante, a partir de estresse mais acentuado. O componente número de nós por planta não apresentou significância estatística na interação entre os três tratamentos (Tabela 6).

*Deficit* hídrico aplicado na fase vegetativa provoca redução na emissão de ramos, o que irá causar a diminuição do número de nós, que por consequência diminui a produção de vagens. Entretanto, se a cultura de soja obtiver disponibilidade de água no início da fase reprodutiva, ela pode se recuperar e emitir mais flores nos nós e produzir vagens, reduzindo novas folhas para destinar reservas para enchimento de grãos (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

**Tabela 8. Valores das médias dos componentes de crescimento, diâmetro de caule (D, mm) e altura de inserção da primeira vagem (AIPV), referentes ao tratamento lâminas de irrigação e estádios fenológicos. L<sub>100</sub> - 100% ETc; L<sub>75</sub> - 75% ETc; L<sub>50</sub> - 50% ETc; L<sub>25</sub> - 25% ETc. V<sub>6</sub> - estágio vegetativo; R<sub>1</sub> - início da floração, estágio reprodutivo; R<sub>5</sub> - enchimento de grãos, estágio reprodutivo. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.**

Tratamento		Componentes de crescimento			
		AIPV (cm)		D (mm)	
<b>Lâminas de irrigação</b>	L <sub>100</sub>	20,67	a	4,09	a
	L <sub>75</sub>	20,77	a	4,03	a
	L <sub>50</sub>	20,46	a	3,79	b
	L <sub>25</sub>	20,28	a	3,68	c
<b>Estádios fenológicos</b>	V <sub>6</sub>	20,37	a	3,95	a
	R <sub>1</sub>	20,51	a	3,79	b
	R <sub>5</sub>	20,75	a	3,95	a
<b>Protetor térmico</b>	CP	20,64	a	3,90	a
	SP	20,45	a	3,90	a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Analisando o diâmetro do caule das plantas de soja, de acordo com os tratamentos com diferentes lâminas de irrigação, é possível observar que o tratamento L<sub>100</sub> teve maior média, de 4,09 mm, porém não diferiu de L<sub>75</sub> e o tratamento L<sub>25</sub> teve a menor média com valor de 3,68 mm, ficando evidente que as lâminas de irrigação mais baixas ocasionaram uma diminuição no diâmetro da haste, ocasionando diminuição de aproximadamente 10%. Observando os tratamentos impostos em diferentes estádios fenológico, os tratamentos V<sub>6</sub> e R<sub>5</sub> tiveram a mesma média, 3,95 mm, e o tratamento R<sub>1</sub> teve a menor média com valor de 3,79 mm, ficando evidente que o início da fase reprodutiva foi mais afetado. Os tratamentos com e sem aplicação de carbonato de cálcio não obtiveram diferença estatística (Tabela 8).

Não houve diferença estatisticamente significativa na interação entre os tratamentos lâmina de irrigação, estágio fenológico e uso de protetor. Assim como não houve interação significativa entre as lâminas de irrigação e as épocas de aplicação do estresse hídrico foi significativa (Tabela 5).

No trabalho de Nunes et al. (2016), sobre os aspectos agronômicos da soja com imposição de estresse hídrico em fase vegetativa e reprodutiva, podemos encontrar resultados semelhantes aos descrito acima, pois o *deficit* hídrico aplicado na fase vegetativa apresentou médias estatisticamente iguais ao tratamento sem estresse hídrico, os autores inferem que o *deficit* hídrico na fase vegetativa não causa danos ao diâmetro de caule.

Outros trabalhos indicam que estresses severos na fase vegetativa ocasionam diminuição no crescimento das plantas de soja, na área foliar e na produtividade das plantas (BONATO, 2000; TAVARES, 2010). O descrito anteriormente não se repete nesse trabalho, quando analisamos o diâmetro de caule, provavelmente por que a aplicação do *deficit* hídrico não foi por um período suficiente para causar danos irreversíveis. Efeitos semelhantes, de diminuição de altura e diâmetro de caule, ocorrem com a aplicação do estresse hídrico em diversas fases da soja. Petry (2000) e Thomas e Costa (1994) explicam que esse resultado é por conta da diminuição de comprimento de entrenós e número de nós.

O componente de crescimento AIPV, altura de inserção da primeira vagem, não apresentou diferença estatística significante nos tratamentos com diferentes lâminas de irrigação, diferentes fases de desenvolvimento da soja e uso do protetor (Tabela 8). Não apresentou interação significativa estatisticamente entre os tratamentos. Fica exposto, portanto, que a altura de inserção da primeira vagem não foi sensível ao estresse hídrico e as fases de aplicação da restrição hídrica.

Resultados semelhantes podem ser vistos no trabalho de Gava et al. (2016), onde foi avaliada plantas de soja submetidas ao estresse hídrico em diferentes estádios fenológicos, e

não apresentaram diferenças estatisticamente relevantes nos tratamentos, a explicação fornecida pelos autores é de que as diferenças na altura de inserção da primeira vagem estão ligadas principalmente as características genéticas das plantas de soja. A altura de inserção da primeira vagem é um fator importante quando a colheita é mecanizada, pois a barra de corte de boa parte das colheitadeiras é de cerca de 10 cm do solo, portanto quando a AIPV é abaixo desse valor pode ocorrer perdas na colheita (CARVALHO et al., 2010; BARBOSA et al., 2020).

Interação estatisticamente significativa, no número de vagens por planta, ocorreu apenas na interação lâminas de irrigação e estádios fenológicos. Onde a maior média foi encontrada na interação L<sub>100</sub>R<sub>5</sub>, com valor de 41,58, diferença de quase 40% da menor média, encontrada na interação L<sub>25</sub>R<sub>1</sub> (Tabela 9). O tratamento imposto no estádio fenológico R<sub>1</sub> obteve as menores médias, mostrando que essa fase é mais sensível ao estresse hídrico no quesito número de vagens por planta.

Valores similares foram encontrados por Kuss et al. (2008), com trabalho sobre estratégias de irrigação, os valores de plantas de soja não irrigadas foram menores quando comparada com as irrigadas e as irrigadas em fases críticas. Outro resultado semelhante foi encontrado por Gava (2014) que obteve médias de número de vagens menores com 50% de *deficit* hídrico na fase de vegetativa (período longo) e na fase da floração, no trabalho sobre efeito do estresse hídrico na cultura de soja.

Como visto neste trabalho, a soja compensa os efeitos decorrentes do estresse hídrico no período vegetativo, devido ao seu período de florescimento longo, então as flores e vagens perdidas durante o período de seca são compensadas com aparecimento de flores tardias, desde que a restrição hídrica não seja longa (MOTA, 1983). Porém, quando a deficiência hídrica é pós-florescimento, ocorre diminuição severa na produtividade de grãos, pois vagens e flores podem ser abortadas, a fase de enchimento de grãos é reduzida (CONFALONE; NAVARO, 1999).

Referente a massa de cem grãos, se observa na Tabela 9 que nos estádios fenológicos V<sub>6</sub> e R<sub>1</sub> não houve diferença significativa nos diferentes manejos de irrigação. Já no estádio fenológico R<sub>5</sub>, é possível ver as menores médias de massa de cem grãos, na fase de enchimento de grãos. Portanto é possível inferir que um estresse hídrico mais acentuado na fase de enchimento de grãos, ocasiona diminuição no peso de grãos.

Resultados semelhantes foram descritos por Dogan, Kirnak e Copur (2007), que afirmam que restrição hídrica na fase reprodutiva, em início de enchimento de grãos, causa perdas produtivas grandes, quando relacionada a outros períodos. No trabalho de Rambo et al.

(2003), sobre produtividade de grãos de soja, os autores observaram que a em tratamentos não irrigados os valores de enchimento de grãos foram inferiores.

Salinas et al. (1996) discutem que massa de grãos são uma das variáveis mais suscetíveis aos efeitos negativos do *deficit* hídrico, devido a alteração dos fotoassimilados produzidos pela soja e inibição do metabolismo do grão.

**Tabela 9. Valores das médias dos componentes de produtividade, número de vagens por planta (NVP) e massa de cem grãos (MCG, g), referente a interação entre os tratamentos com lâminas de irrigação e estádios fenológicos. L<sub>100</sub> - 100% ETc; L<sub>75</sub> - 75% ETc; L<sub>50</sub> - 50% ETc; L<sub>25</sub> - 25% ETc. V<sub>6</sub> - estágio vegetativo; R<sub>1</sub> - início da floração, estágio reprodutivo; R<sub>5</sub> - enchimento de grãos, estágio reprodutivo. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.**

Componente de produtividade		Tratamento							
		L <sub>100</sub>		L <sub>75</sub>		L <sub>50</sub>		L <sub>25</sub>	
Número de vagens por planta	V <sub>6</sub>	41,17	Aa	40,88	ABa	38,75	BCa	36,83	Ca
	R <sub>1</sub>	40,83	Aa	36,58	Bb	30,88	Cb	25,25	Dc
	R <sub>5</sub>	41,58	Aa	40,50	ABa	39,00	Ba	31,17	Cb
Massa de cem grãos (g)	V <sub>6</sub>	11,63	Aa	10,93	Aa	11,09	Aa	10,97	Aa
	R <sub>1</sub>	11,16	Aa	10,75	Aa	10,41	Aab	10,45	Aa
	R <sub>5</sub>	11,64	Aa	10,76	Aa	9,64	Bb	7,93	Cb

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância para lâminas de irrigação. Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância para estádios fenológicos.

Analisando a produtividade, os estádios fenológicos diferiram a partir da lâmina de irrigação L<sub>75</sub>, L<sub>50</sub> e L<sub>25</sub>, no tratamento L<sub>100</sub> não houve diferença estatística nos estádios fenológicos vegetativos e reprodutivos. Observando a Tabela 10, fica evidente que os estádios V<sub>6</sub> e R<sub>5</sub> obtiveram maiores médias, portanto podemos inferir que nesse estudo a fase reprodutiva R<sub>1</sub>, início da floração, foi mais afetada pelo estresse hídrico. Os tratamentos de lâminas de irrigação diferiram estatisticamente nas três fases da soja, L<sub>50</sub> e L<sub>25</sub> apresentaram as médias mais baixas, sendo possível observar que o estresse hídrico mais severo provocou diminuição da produtividade das plantas de soja. A maior média obtida foi de 3.461,3 kg ha<sup>-1</sup> encontrada na interação L<sub>100</sub>R<sub>5</sub> e a menor média foi de 1.868,66 kg ha<sup>-1</sup>, uma diminuição de

produtividade de 46%, mostrando que o estresse hídrico influencia na produtividade de forma acentuada (Tabela 10).

*Deficit* hídrico é um dos fatores que mais podem afetar as plantas de soja, prejudicando variáveis de crescimento e diminuindo produtividade (OSMAN et al., 2021), assim como diz Taiz e Zeiger (2013) que expõem que a pouca oferta de água impacta a produtividade da maioria das culturas. Segundo Fagan (2008), a fase reprodutiva é a mais afetada pela limitação hídrica, pois é um período de alta atividade fisiológica.

No presente trabalho verificamos que o estresse hídrico diminui a produtividade das plantas de soja, assim como mostrado por Demirtas et al. (2010), que verificaram que menores lâminas de irrigação diminuem número de vagens e conseqüentemente afeta a produtividade negativamente. No trabalho de Zhang et al. (2007) é mencionado uma perda de produtividade de cerca de 20% até 46% por conta do estresse hídrico, valores similares são encontrados neste trabalho.

O índice de colheita (IC) apresentou diferença significativa na interação lâmina de irrigação e estágio fenológico. O valor de IC máximo foi de 0,36 (L<sub>100</sub>V<sub>6</sub>; L<sub>100</sub>R<sub>5</sub>) e o mínimo de 0,19 (L<sub>25</sub>R<sub>5</sub>), uma variação de 47%, mostrando que o estresse hídrico e estágio fenológico tiveram forte influência nas plantas de soja. Na fase vegetativa, a diminuição do IC foi mais representativa nos estresses mais severos, L<sub>50</sub> e L<sub>25</sub>. No início da fase reprodutiva, já é possível ver diminuição do IC, estatisticamente relevante, no tratamento L<sub>75</sub>, se intensificando nas lâminas de irrigação menores, resposta similar é vista em R<sub>5</sub>.

A eficiência das plantas de soja em realizarem a conversão da massa seca obtida em produção de grãos, é chamado de índice de colheita (SOUZA JÚNIOR, 2021). No trabalho de Gajic et al. (2018), os valores encontrados de índice de colheita foram superiores ao encontrado neste trabalho, com valor mínimo de 0,36 com regime de irrigação variando de 100% a 40%. Porém, valores semelhantes foram encontrados no trabalho de Almeida (2022), sobre eficiência do uso da água na cultura de soja em diferentes níveis de reposição hídrica, variando de 0,29 a 0,36.

O índice de colheita teve variação de 0,13 a 0,47, onde foi realizada restrição hídrica em diferentes fases da soja, nesse estudo o estresse de 50% aplicado na fase reprodutiva teve maior média (GUNDIM, 2022).

Braga e Costa (1983) concluíram que durante a fase reprodutiva a suplementação hídrica ajuda na obtenção de maiores valores de índice de colheita.

**Tabela 10. Valores das médias dos componentes de produção, produtividade (kg ha<sup>-1</sup>) e índice de colheita (kg kg<sup>-1</sup>), referente a interação entre os tratamentos com lâminas de irrigação e estádios fenológicos. L<sub>100</sub> - 100% ETc; L<sub>75</sub> - 75% ETc; L<sub>50</sub> - 50% ETc; L<sub>25</sub> - 25% ETc. V<sub>6</sub> - estágio vegetativo; R<sub>1</sub> - início da floração, estágio reprodutivo; R<sub>5</sub> - enchimento de grãos, estágio reprodutivo. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.**

Componentes de produtividade	Tratamento								
		L <sub>100</sub>	Aa	L <sub>75</sub>	ABa	L <sub>50</sub>	BCa	L <sub>25</sub>	Ca
Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	V <sub>6</sub>	3395,2	Aa	3285,3	ABa	3094,1	BCa	2909,5	Ca
	R <sub>1</sub>	3383,6	Aa	2823,2	Bb	2362,2	Cc	1924,1	Db
	R <sub>5</sub>	3461,3	Aa	3132,9	Ba	2672,8	Cb	1868,66	Db
Índice de colheita (kg kg <sup>-1</sup> )	V <sub>6</sub>	0,36	Aa	0,34	ABa	0,33	BCa	0,31	Ca
	R <sub>1</sub>	0,35	Aa	0,30	Bb	0,25	Cb	0,21	Db
	R <sub>5</sub>	0,36	Aa	0,32	Bab	0,28	Cb	0,19	Db

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância para lâminas de irrigação. Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância para estádios fenológicos.

**Tabela 11. Valores médios de área foliar, referente a interação entre os tratamentos com lâminas de irrigação e estádios fenológicos. L<sub>100</sub> - 100% ETc; L<sub>75</sub> - 75% ETc; L<sub>50</sub> - 50% ETc; L<sub>25</sub> - 25% ETc. V<sub>6</sub> - estágio vegetativo; R<sub>1</sub> - início da floração, estágio reprodutivo; R<sub>5</sub> - enchimento de grãos, fase reprodutiva. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.**

Componentes de produtividade	Tratamento						
		V <sub>6</sub>	Aa	R <sub>1</sub>	Aa	R <sub>5</sub>	Aa
Área foliar	L <sub>100</sub>	6,82	Aa	7,03	Aa	6,78	Aa
	L <sub>75</sub>	6,99	Aa	5,60	Bb	6,15	Ab
	L <sub>50</sub>	6,93	Aa	4,63	Cb	4,22	Bb
	L <sub>25</sub>	6,33	Aa	4,20	Cb	3,79	Bb

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância para lâminas de irrigação. Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância para estádios fenológicos.

A área foliar mostra que os tratamentos que tiveram imposição do estresse hídrico no período vegetativo apresentaram maiores média. Isso mostra que os tratamentos que enfrentaram estresse hídrico, mas foram reidratados antes da fase reprodutiva, se recuperaram

e tiveram um avanço no desenvolvimento. As fases reprodutivas, R<sub>1</sub> e R<sub>5</sub>, não diferiram entre si. No tratamento R<sub>5</sub>, as lâminas de irrigação L<sub>50</sub> e L<sub>25</sub> não diferiram entre si, apresentando menor média, o mesmo ocorreu em R<sub>1</sub>. A maior média foi 7,03 cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>, no tratamento L<sub>100</sub>R<sub>1</sub>, e a menor média teve 3,79 cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>, no tratamento L<sub>25</sub>R<sub>5</sub>. Portanto, vimos que o estresse mais severo causa diminuição do AF se o estresse for aplicado nas fases reprodutivas.

Para conservar a produtividade das plantas de soja em restrição hídrica é importante manter uma boa área foliar e boa taxa de acúmulo de assimilados (FIOREZE et al., 2011; LAWN; LIKOSWE, 2008).

Segundo expõem Jaleel et al. (2009), quando plantas de soja estão expostas ao estresse hídrico, uma das principais consequências são no crescimento das folhas, consequentemente diminuindo a área foliar, o que prejudica na produção de biomassa das plantas.

Assim como podemos ver na Tabela 11, Sincik et al. (2008) também encontrou resultados estatisticamente significativos em diferentes lâminas de irrigação e estádios fenológicos, em relação a variável AF, quanto menor a disponibilidade de água, menor o valor de AF.

Karam et al. (2005) também acharam resultados semelhantes, em que houve diminuição da área foliar em decorrência do estresse hídrico, os autores acharam os menores valores na fase de enchimento de grãos.

#### **4.4 Respostas fisiológicas**

A análise de variância (ANOVA) mostrou que teve uma diferença significativa, num nível de 5% de probabilidade, apenas nos tratamentos de imposição de estresse hídrico, onde houve diferença nas lâminas de irrigação (L), e nos tratamentos de épocas de aplicação do estresse hídrico (F) (Tabela 12).

Foi possível observar que não ocorreu diferença significativa, a nível de 5% de probabilidade, nas interações entre lâmina de irrigação (L) e estádios fenológicos (F). Não ocorreu diferença significativa na interação entre lâmina de irrigação (L) e protetor (P), assim como nas interações de lâmina de irrigação, estádios fenológicos e protetor (Tabela 12).

Na Tabela 13 é possível acompanhar as médias da resposta fisiológica da soja que foi submetida ao estresse hídrico, em diferentes estádios fenológicos e com a presença e não presença de carbonato de cálcio nas folhas.

Nota-se, que houve diferença estatística entre as quatro lâminas de irrigação analisando os resultados de fotossíntese (A) e transpiração (E), os valores de condutância

estomática (gs) foram estatisticamente iguais, apenas, nas lâminas de irrigação L<sub>75</sub> e L<sub>50</sub>, os valores de iEUA foram estatisticamente iguais em L<sub>100</sub>, L<sub>75</sub> e L<sub>50</sub> (Tabela 13).

**Tabela 12. Análise de variância (valor F) dos parâmetros fisiológicos em função dos tratamentos e da interação entre as diferentes lâminas de irrigação (L, mm), estádios fenológicos (F) de aplicação do estresse hídrico e o uso ou não de protetor (P) térmico nas folhas. A - fotossíntese; E - transpiração; gs - condutância estomática. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.**

Fonte de variação	GL	A	E	gs	iEUA
Lâmina de irrigação (L)	3	1200,28*	441,99*	216,26*	43,56*
Estádios fenológicos (F)	2	5,93*	4,14*	5,83*	4,0*
Protetor (P)	1	1,53 <sup>ns</sup>	1,70 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,0012 <sup>ns</sup>
L x F	6	0,45 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>
L x P	3	0,10 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>
F x P	2	0,41 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>
L x F x P	6	0,76 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>
CV (%)		5,8	9,93	17,99	4,01

GL: grau de liberdade; A: taxa de fotossíntese líquida; E: transpiração; gs: condutância estomática.

\*: significativo pelo teste f a 5% de probabilidade; ns: não significativo.

Earl (2002) propõe que usando a variável iEUA se obtém uma melhor análise do efeito estomático na fotossíntese, pois efeito da temperatura é eliminado.

No estudo realizado por Tavares et al. (2022), foram encontrados valores semelhantes ao deste trabalho, onde os maiores valores de eficiência intrínseca do uso da água foram encontrados nos tratamentos com menores lâminas de irrigação.

Gorthi et al. (2019) explicam que plantas de soja sob *deficit* hídrico aumentam as suas defesas fotoprotetoras, processo ligado aos maiores valores de eficiência intrínseca do uso da água.

Analisando as médias dos períodos de aplicação do estresse hídrico, os estádios fenológicos, observa-se que não teve diferença estatística entre os dois períodos reprodutivos, observando fotossíntese (A), transpiração (E) e condutância estomática (gs). Porém, ocorreu diferença estatística entre o período reprodutivo e vegetativo, nos três parâmetros fisiológicos (Tabela 13).

No tratamento com protetor térmico (CP) e sem protetor térmico (SP), não houve diferença estatística nos quatro parâmetros fisiológicos (Tabela 13).

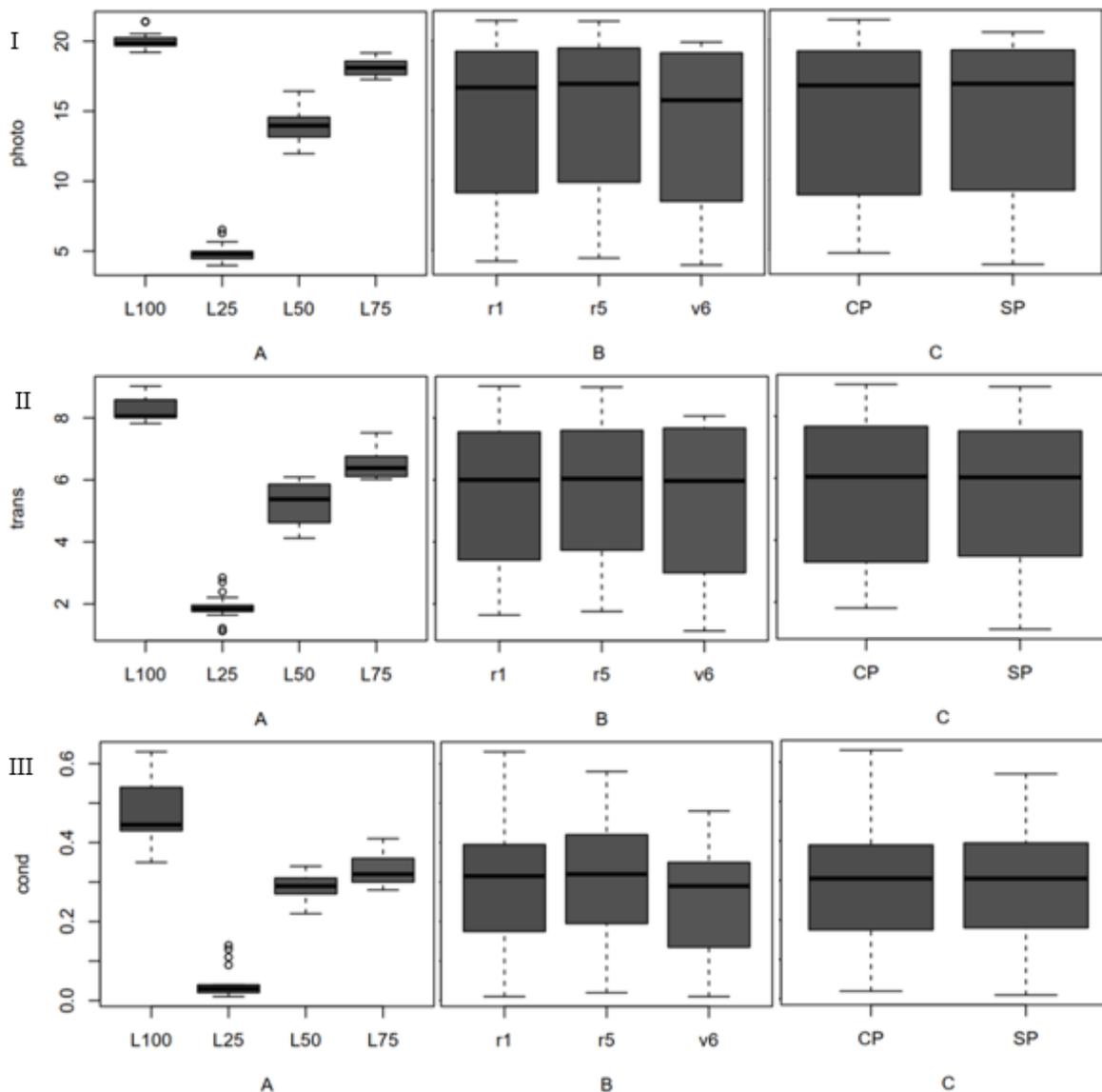
**Tabela 13. Valores das médias de fotossíntese (A), transpiração (E), condutância estomática (gs) e eficiência intrínseca do uso da água (iEUA) de diferentes lâminas de irrigação (L), estádios fenológicos (F) de aplicação do estresse hídrico e o uso ou não de protetor (P) térmico nas folhas. Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.**

Tratamento		Componente de crescimento e produtividade							
		A		E		gs		iEUA	
		$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$		$\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$		$\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$		$\mu\text{mol [CO}_2\text{] mmol}^{-1} [\text{H}_2\text{O}]$	
Lâminas de irrigação	L <sub>100</sub>	19,98	a	8,24	a	0,47	a	43,36	b
	L <sub>75</sub>	18,17	b	6,50	b	0,33	b	55,36	b
	L <sub>50</sub>	13,88	c	5,25	c	0,29	b	48,73	b
	L <sub>25</sub>	4,88	d	1,87	d	0,04	c	142,09	a
Estádios fenológicos	V <sub>6</sub>	13,77	b	5,22	b	0,25	b	79,18	a
	R <sub>1</sub>	14,35	a	5,52	ab	0,29	a	72,00	a
	R <sub>5</sub>	14,56	a	5,52	a	0,30	a	65,98	a
Protetor térmico	CP	14,35	a	5,55	a	0,28	a	71,38	a
	SP	14,11	a	5,38	a	0,28	a	73,39	a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O tratamento com aplicação foliar do carbonato de cálcio não apresentou diferença estatisticamente relevante em nenhum dos componentes fisiológicos avaliados nesse experimento. O mesmo resultado pode ser visto no experimento de Salib (2018), em que foi avaliada as respostas fisiológicas da soja em relação a aplicação foliar do carbonato de cálcio e utilização de *deficit* hídrico, mostrando que a aplicação do protetor solar não influencia o metabolismo da soja.

Outros autores observaram alteração na temperatura de folhas e frutos com outras culturas, encontrando diminuição na temperatura. Alvarez et al. (2015) utilizaram o carbonato de cálcio na cultura da maçã e verificou diminuição da temperatura porem não houve diferença nos valores de fotossíntese. No trabalho de Ahmed et al. (2013), com aplicação de carbonato de cálcio em videiras também se notou a diminuição da temperatura.



**Figura 8.** Assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, fotossíntese (photo), nas plantas de soja submetidas a diferentes lâminas de irrigação (L<sub>100</sub>, L<sub>75</sub>, L<sub>50</sub> e L<sub>25</sub>), estádios fenológicos (R<sub>1</sub>, R<sub>5</sub> e V<sub>6</sub>) e presença de protetor térmico (CP) e sem protetor térmico (SP) (I). Taxa transpiratória, transpiração (trans), nas sojas submetidas a diferentes lâminas de irrigação estádios fenológicos e presença de protetor térmico e sem protetor térmico (II). Condutância estomática (COND), nas plantas de soja submetidas a diferentes lâminas de irrigação, estádios fenológicos e presença de protetor térmico e sem protetor térmico (III). Departamento de Produção Vegetal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq). Universidade de São Paulo (USP).

Na Figura 8 (I), é possível ver que há uma diferença nos valores de fotossíntese nos diferentes regimes hídricos, não havendo uma grande variação dos valores em relação as repetições de cada lâmina, sendo o valor mínimo  $3,97 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  encontrado na lâmina de 25% de ETc e o valor máximo  $21,42 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  encontrado na lâmina de 100% de ETc. Em relação ao estágio fenológico, os dois períodos reprodutivos (R<sub>1</sub> e R<sub>5</sub>), além de não ter diferença estatística, apresentaram os maiores valores de fotossíntese. Levando em

consideração a aplicação de protetor térmico nas folhas de soja e a não aplicação de protetor térmico, foi possível observar que os valores variaram de forma muito semelhante, não havendo diferença estatística dos valores.

Um padrão semelhante foi visto nos valores de transpiração, na Figura 8 (II), em que o valor máximo observado foi de  $8,99 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , no tratamento com lâmina de irrigação de 100% de ETc, e o valor mínimo encontrado foi de  $1,13 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , na menor lâmina de irrigação. Os menores valores de transpiração ocorreram nas análises fisiológicas registradas durante o período vegetativo. Não foi possível observar uma diferença estatística nos valores de transpiração obtidos nos tratamentos com e sem protetor térmico nas folhas de soja.

Na Figura 8 (III), onde estão os valores de condutância estomática, os dados são corroborados pelos encontrados em fotossíntese e transpiração. Dessa forma, os valores de fotossíntese nas quatro lâminas de irrigação foram distintos, sendo os maiores valores encontrados nas lâminas de 100% de ETc e os menores nas lâminas de 25% de ETc. Não houve diferença estatística nos valores dos tratamentos com e sem carbonato de cálcio nas folhas de soja. Nos períodos fenológicos reprodutivos houve os melhores resultados de condutância estomática, sendo o valor máximo de  $0,63 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

Segundo Salib (2018), na limitação hídrica as plantas utilizam mecanismos para manter o status hídrico, como o fechamento estomático que é ativado pelo baixo potencial de água nas plantas de soja. O controle estomático é um importante fator que colabora para aumento da produtividade em plantas com aplicação de estresse hídrico (CATTIVELLI et al., 2008).

Na Figura 8 podemos ver que quanto menor a lâmina de irrigação, menor o valor da condutância estomática. Com fechamento da condutância estomática há uma redução de  $\text{CO}_2$  e influencia os valores de transpiração e taxa fotossintética (FIOREZE et al., 2013; OSAKABE et al., 2014).

A fotossíntese está ligada a condutância estomática, e assim como em gs, quanto mais severo o *deficit* hídrico, menor o valor de fotossíntese e transpiração (MUNGER; CHANDLER; COTHREN, 1987). Os componentes fisiológicos A e E são controlados pelo estômato (YU et al., 2004).

No estudo de Silva (2018), Chavaria et al. (2015) e Hossain et al. (2014), a taxa de fotossíntese, transpiração e condutância estomática foram reduzidas por conta do estresse hídrico, o mesmo comportamento foi visto neste trabalho.

Lawlor e Tezara (2009) explicam que quando as plantas estão sob limitação hídrica, há um desequilíbrio na captura de energia e metabolismo, devido a diminuição da reação

fotoquímica, a taxa fotossintética cai, mas as reações luminosas se mantem, o que provoca desequilíbrio.

Taiz e Zeiger (2013) relatam que a transpiração é uma variável relevante pois permite que as plantas de soja dissipem o calor e mantenham a temperatura ótima para realizar as atividades metabólicas.

Fotossíntese, condutância estomática e transpiração se relacionam, com a queda dos valores de  $g_s$ , em ocasião do estresse hídrico, a temperatura foliar sobe, por consequência da limitação da transpiração, e provoca redução da fotossíntese pois as altas temperaturas podem danificar o mecanismo fotossintético (LI; PEZESHKI; GOODWIN, 2004; PEREIRA, 2017).

## 5 CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos, pode-se concluir que os componentes de produtividade e crescimento altura de plantas, diâmetro de caule, número de nós por planta, número de vagens por planta, massa de cem grãos, área foliar, produtividade e índice de colheita são influenciados pelo *deficit* hídrico e por estádios fenológicos. Entretanto, o componente altura de inserção da primeira vagem não sofre influência dos diferentes tratamentos.

A taxa fotossintética, transpiração e condutância estomática são influenciadas pelo *deficit* hídrico e fase de desenvolvimento. A eficiência intrínseca do uso da água sofre efeito das lâminas de irrigação, porém não é afetada pelo estágio fenológico.

Foi observado no trabalho que o uso de protetor térmico, a base de carbonato de cálcio, não apresentou diferença significativa quando analisado os tratamentos com diferentes lâminas de irrigação e aplicado nas fases vegetativa e reprodutiva. Portanto, o uso dessa agroquímico não influencia os componentes de crescimento e produtividade, nem os parâmetros fisiológicos.

Pode-se concluir que quanto mais severo o estresse hídrico, menores serão os valores das variáveis de produtividade, crescimento e as características fisiológicas são afetadas negativamente.

## REFERÊNCIAS

AHMED, A. Y. M. Impact of spraying some antitranspirants on fruiting of Williams bananas grown under Aswan region conditions. **Stem Cell**, v. 5, n. 4, p. 34-39, 2014.

AHMED, F. F.; AAL, A. M. K. A.; SAYED, M. A. E.; SAYED, H. R. Protecting red roomy grapevines growing under Minia region conditions from sunburn damage. **Stem Cell**, v. 4, n. 2, 2013.

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

ALLIPRANDINI, L. F.; TOLEDO, J. F. F.; FONSECA JÚNIOR, N.; DE ALMEIDA, L. A.; KIIHL, R. D. S. Efeitos da interação genótipo x ambiente sobre a produtividade da soja no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, p. 1433-1444, 1994.

ALMEIDA, A. M. **Eficiência do uso da água e resposta termal da cultura de soja submetida a diferentes níveis de reposição hídrica**. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022.

ALOU, I. N.; STEYN, J. M.; ANNANDALE, J. G.; VAN DER LAAN, M. Growth, phenological, and yield response of upland rice (*Oryza sativa* L. cv. Nerica 4®) to water stress during different growth stages. **Agricultural Water Management**, v. 198, p. 39-52, 2018.

ALVAREZ, H. L.; DI BELLA, C. M.; COLAVITA, G. M.; ORICCHIO, P.; STRASCHNOY, J. Comparative effects of kaolin and calcium carbonate on apple fruit surface temperature and leaf net CO<sub>2</sub> assimilation. **Journal of Applied Horticulture**, v. 17, p. 176-180, 2015.

ANHOLETO, C. D.; MASSUQUETTI, A. A soja brasileira e gaúcha no período de 1994-2010: uma análise da produção, exportação, renda e emprego. **Revista Economia e Desenvolvimento**, v. 13, n. 2, 2015.

ATTI, S.; BONNELL, R.; PRASHER, S.; SMITH, D. L. Response of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under chronic water deficit to LCO application during flowering and pod filling. **Irrigation and Drainage: The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage**, v. 54, n. 1, p. 15-30, 2005.

BADRAN, M. A. Benefits of calcium carbonate sprays on yield and fruit quality of Samany and Zaghoul date palm under new reclaimed soils. **Assiut Journal of Agricultural Sciences**, v. 46, n. 5, p. 48-57, 2015.

BÁEZ, M. S. A.; PETRY, M. T.; CARLESSO, R.; BASSO, L. J.; ROCHA, M. R. da; RODRIGUEZ, G. J. Balanço hídrico e produtividade da soja cultivada sob diferentes níveis de déficit hídrico no Sul do Brasil. **Investigación Agraria**, v. 22, n. 1, p. 3-12, 2020.

BARBOSA, J. R.; FILHO, J. V. P.; OLIVEIRA, V. M.; GOMES, G.; SOUZA, G. F. G. de; LEITE, K. N. Produtividade da cultura de soja irrigada com déficit hídrico regulado no cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 14, n. 4, p. 4200-4210, 2020.

BARROS, H. B.; SEDIYAMA, T. Luz, umidade e temperatura. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina, PR: Mecenias, 2009, p. 17-27.

BASTIDAS, A. M.; SETIYONO, T. D.; DOBERMANN, A.; CASSMAN, K. G.; ELMORE, R. W.; GRAEF, G. L.; SPECHT, J. E. Soybean sowing date: the vegetative, reproductive, and agronomic impacts. **Crop Science**, v. 48, n. 2, p. 727-740, 2008.

BAYER. Agro. M 5917 IPRO. 2022. Disponível em: <https://www.agro.bayer.com.br/essenciais-do-campo/sementes/monsoy/m-5917-ipro>. Acesso em: 24 Ago. 2022.

BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. **As plantas e o clima: Princípios e aplicações**. Guaíba: Agrolivros, 2017, 352 p.

BERNARD, R. L.; CREMEENS, C. R.; COOPER, R. L.; COLLINS, F. I.; KROBER, O. A.; ATHOW, K. L.; LAVIOLETTE, F. A.; COBLE, C. J.; NELSON, R. L. Evaluation of the USDA soybean Germplasm Collection: Maturity groups 000-IV. **USDA-ARS Technical Bulletin**, 1844. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC. 1998.

BOARI, F.; DONADIO, A.; SCHIATTONE, M. I.; CANTORE, V. Particle film technology: A supplemental tool to save water. **Agricultural Water Management**, v. 147, p. 154-162, 2015.

BONATO, E. R. **Estresses em soja**. Passo Fundo, Embrapa Trigo, 254 p., 2000.

BRAGA, N. R.; COSTA, J. A. Avaliação de dez cultivares de soja pelo índice de colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 18, n. 3, p. 253-260, 1983.

BRETSCHNEIDER, W. *Botanicum sinicum*. Notes on Chinese botany from native and western sources. **Journal of the Royal Asiatic Society**, v. 16-17, p. 18-230, 1882.

CAMPECHE, L. F. S.; NETTO, A. O. A.; SOUSA, I. F.; FACCIOLI, G. G.; SILVA, V. D. P.; AZEVEDO, P. V. D. Lisímetro de pesagem de grande porte: desenvolvimento e calibração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 519-525, 2011.

CARVALHO, E. R.; REZENDE, P. M.; OGOSHI, F. G. A.; BOTREL, E. P.; ALCANTARA, H. P.; SANTOS, J. P. Desempenho de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] em cultivo de verão no sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 892-899. 2010.

CASTRO, P. A. L. de; SANTOS, G. O. Potencial da área irrigável da bacia hidrográfica do rio verdão, região sudoeste do estado de goiás. **IRRIGA**, [S. l.], v. 27, n. 2, p. 328-342, 2022.

CATTIVELLI, F.; RIZZA, F.; BADECK, F.; MAZZUCOTELLI, E. MASTRANGELO, A. M.; FRANCIA, E.; MARE, C.; TONDELLI, A.; STANCA, A. M. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. **Field Crops Research**, v. 105, p. 1-14, 2008.

CHAVARIA, G.; DURIGON, M. R.; KLEIN, V. A.; KLEBER, H. Restrição fotossintética de plantas de soja sob variação de disponibilidade hídrica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 8, p. 1387-1393, 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira**, v. 7 - Safra 2019/20 - Décimo levantamento, Brasília, Conab, p. 1-74, julho, 2020.

CONFALONE, A.; NAVARO, M. D. Influência do “déficit” hídrico sobre a eficiência da radiação solar em soja. **Revista Brasileira de Agrociências**, Pelotas, v. 5, n. 3, p. 195-198. 1999.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. Panorama do agro, CNA, 2020.

DEMIRTAS, Ç.; YAZGAN, S.; CANDOGAN, B. N.; SINCİK, M.; BUYUKCANGAZ, H.; GOKSOY, A. T. Quality and yield response of soybean (*Glycine max* L. Merrill) to drought stress in sub-humid environment. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v. 9, n. 41, p. 6873-6881, 2010.

DIAS, H.; ALVARES, C. A.; SENTELHAS, P. **Um século de dados meteorológicos em Piracicaba**, SP: Mudanças do clima pela classificação de Köppen. In: XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 10., Juazeiro, BA, 2017.

DOGAN, E.; KIRNAK, H.; COPUR, O. Deficit irrigations during soybean reproductive stages and CROPGRO-Soybean simulations under semi-arid climatic conditions. **Field Crop Research**, Amsterdam, v. 103, p. 154-159, 2007.

EARL, J. H. Stomatal and non-stomatal restrictions to carbon assimilation in soybean (*Glycine max*) lines differing in water use efficiency. **Environmental and Experimental Botany**, v. 48, p. 237-246, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologia de produção de soja na região central do Brasil 2011**. [S.I.]: Embrapa Soja; Embrapa Cerrados; Embrapa Agropecuária Oeste, 2010. 255 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja: Região Central do Brasil 2014**. Londrina: Embrapa Soja, 2013.

FAGAN, E. B. **A cultura de soja: modelo de crescimento e aplicação da estrobilurina piraclostrobina**. 2007. 83 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

FARIAS, J. R. B.; NEPONUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina, PR; Embrapa Soja, 2007. 9 p. (Relatório Técnico, 48).

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **IX Levantamento USDA da safra 2019/20**, FIESP, agosto, 2020.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Iowa, Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 12 p.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E.; GURMOOD, D. T.; PENNINGTON, J. S. Stage of development description for soybean, *Glycine max* (L) Merrill. **Crop Science**, Madison, v. 11, n. 6, p. 929-931, 1971.

FIOREZE, S. L.; PIVETTA, L. G.; FANO, A.; MACHADO, F. R.; GUIMARÃES, V. F. Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. **Revista Ceres**, v. 58, p. 342-349, 2011.

FIOREZE, S. L.; RODRIGUES, J. D.; CARNEIRO, J. P. C.; SILVA, A. A.; LIMA, M. B. Fisiologia e produção da soja tratada com cinetina e cálcio sob déficit hídrico e sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 11, p. 1432-1439, 2013.

FIRMANO, R. S.; KUWAHARA, F. A.; SOUZA, G. M. Relação entre adubação fosfatada e deficiência hídrica em soja. **Ciência Rural**, v. 39, n. 7, p. 1967-1973, 2009.

FREITAS, M. P. Protetores solares para minimizar os efeitos dos estresses climáticos sobre a fotossíntese em citros. 2021. Monografia (Engenharia Agrônoma) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, 2021.

GAJIC, 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**, v. 210, p. 224-231, 2018.

GAVA, R. Os efeitos do estresse hídrico na cultura de soja (*Glycine max*, (L.) Merrill.). 2014. 123 p. Tese (Doutor em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2014.

GAVA, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; ALMEIDA, B. M. de; FREITAS, P. S. L. de; REZENDE, R. Estratégias de manejo de déficit hídrico na irrigação da cultura de soja. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 10, n.3, p. 305-315, 2016.

GAVA, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; JOSÉ, J. V.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; PERBONI, A. O estresse hídrico em diferentes fases da cultura de soja. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 6, p. 349-359, 2015.

GAZZONI, D. L.; DALL'AGNOL, A. A saga da soja: de 1050 a.C. a 2050 d.C. **Embrapa**, Brasília, DF, p. 199, 2018.

GORTHI, A.; VOLENEC, J. J.; WELP, L. R. Stomatal response in soybean during drought improves leaf-scale and field-scale water use efficiencies. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 276, p. 107629, 2019.

- GUNDIM, A. da S. **Potencial de mitigação de perdas por déficit hídrico na cultura de soja pela aplicação dos fungos *Beauveria bassiana* e *Metarhizum anisopliae* no sulco de plantio**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022.
- HOSSAIN, M. M.; HOSSAIN, M. M.; LIU, X.; QI, X.; LAM, H. M.; ZHANG, J. Differences between soybean genotypes in physiological response to sequential soil drying and rewetting. **The Crop Journal**, Amsterdam, v. 2, n. 6, p. 366-380, 2014.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura de soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. **Embrapa Soja-Documents (INFOTECA-E)**, 2007.
- HYMOWITZ, T. On the domestication of the soybean. **Economic Botany**, v. 24, p. 408-421, 1970.
- JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H. J.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R.; Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agriculture and Biology**, [S.1], v. 11, n. 1, p. 100-105, 2009.
- JIANG, A. C. D.; GAOB, H. Y.; ZOUB, Q.; JIANG, G. M.; LIA, L. H. Leaf orientation, photorespiration and xanthophyll cycle protect young soybean leaves against high irradiance in field. **Environmental and Experimental Botany**, p. 1-10, 2004.
- JUDD, W. S.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGG, E. A.; DOONOGHUE, M. J. **Sistemática Vegetal, um enfoque filogenético**. 3. Ed. Porto Alegre: Artmed, 632 p. 2009.
- KARAM, F.; MASAAD, R.; SFEIR, T.; MOUNZER, O.; ROUPHAEL, Y. Evapotranspiration and seed yield of field grown soybean under deficit irrigation conditions. **Agricultural Water Management**, v. 75, p. 226-244, 2005.
- KASTER, M.; FARIAS, J. R. B. Regionalização dos testes de VCU - Valor de Cultivo e uso de cultivares de soja - 3ª aproximação. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, n. 37, 2011, Londrina. **Resumos...** Londrina: EMBRAPA SOJA, p. 231-235, 2011.
- KÖPPEN, W. Das geographische system der klimate. KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Ed.): **Handbuch der Klimatologie** - Gebrüder Bornträger, Berlin, v. 1, p. 1-44, part C, 1936.
- KUSS, R. C. R.; KONIG, O.; DUTRA, L. M. C.; BELLÉ, R. A.; ROGGIA, S.; STURMER, G. R. Populações de plantas e estratégias de irrigação na cultura de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1133-1137, 2008.
- LAWLOR, D.W.; TEZARA, W. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. **Annals of Botany**, v.103, p.561-579, 2009.
- LAWN, R. J.; LIKOSWE, A. A. Genotypic differences in leaf area maintenance contribute to differences in recovery from water stress in soybean. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 59, p. 1075-1085, 2008.

LI, S.; PEZESHKI, S. R.; GOODWIN, S. Effects of soil moisture regimes on photosynthesis and growth in cattail (*Typha latifolia*). **Acta Oecologica**, v. 25, n. 1-2, p. 17-22, 2004.

LOPES SOBRINHO, O. P.; SANTOS, L. N. S.; SANTOS, G. O.; CUNHA, F. N.; SOARES, F. A. L.; TEIXEIRA, M. B. Balanço hídrico climatológico mensal e classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o município de Rio Verde, Goiás. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v.27, p.19-33, 2020.

LOURENÇO, L. F. **O efeito da eficiência hídrica em plantas de soja**. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020. 84 p.

MAEHLER, A. R.; PIRES, J. L. F.; COSTA, J. A.; FERREIRA, F. G. Potencial de produtividade da soja durante a ontogenia em razão da irrigação e arranjo de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 2, p. 225-231, 2003.

MECKEL, L.; EGLI, D. B.; PHILLIPS, R. E.; RADCLIFFE, D.; LEGGETT, J. E. Effect of moisture stress on seed growth in soybeans. **Agronomy Journal**, v. 76, n.4, p. 647-650, 1984.

MENEZES JÚNIOR, J. B. F. Soja: origem, composição química, valor nutritivo e aplicações diversas. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 21, n. 1-2, p. 33-56, 1961.

MERRIL, E. D. The phytogeography of cultivated plants in relation to the assumed pre-Columbian-Eurasian-American contacts. **American Anthropology**, v. 33, p. 375-382, 1931.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Mapa. 2020. Disponível em: <[http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares\\_registradas.php](http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php)> Acesso em: 24 Ago. 2020.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Tabela de estádios de desenvolvimento da soja**. MAPA, 2013.

MOTA, F. S. da. Condições climáticas e produção de soja no sul do Brasil. In: VERNETTITI, F. J. (Coord.). **Soja**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. P. 91-126.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. Soja: fatores que afetam o desenvolvimento e o produtividade. **Porto Alegre: Evangraf**, 2005.

MUNGER, P. H.; CHANDLER, J. M.; COTHREN, J. T. Effect of water stress on photosynthetic parameter of soybean (*Glycine max*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*), **Weed Science**, [S.1], v. 35, p. 15-21, 1987.

NOGUEIRA, A. P. O.; SEDIYAMA, T.; OLIVEIRA, R. C. T.; DESTRO, D. Estádios de desenvolvimento. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologia de produção de sementes de soja**. Londrina, PR: Mecnas, p. 15-44, 2013.

NUNES, A. C.; BEZERRA, F. M.; SILVA, R. A.; SILVA JÚNIOR, J. L.; GONÇALVES, F. B.; SANTOS, G. A. Agronomic aspects of soybean plants subjected to deficit irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 654-659, 2016.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2018-2027**, OECD Publishing, Paris/Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2018.

OSAKABE, Y.; OSAKABE, K.; SHINOZAKI, K.; TRAN, L. P. Response of plants to water stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, n. 86, p. 1-8, 2014.

OSMAN, H. S.; GOWAYED, S. M.; ELBAGORY, M.; OMARA, A. E. D.; EL-HONEM, A. M. A.; ABD EL-RAZEK, U. A.; HAFEZ, E. M. Interactive impacts of beneficial microbes and Si-Zn nanocomposite on growth and productivity of soybean subjected to water deficit under salt-affected soil conditions. **Plants**, v. 10, n. 7, p. 1396, 2021.

PEREIRA, S. G. F. **Alterações em plantas de soja sob déficit hídrico no estágio reprodutivo**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

PETRY, M. T. **Interação solo-planta e disponibilidade de água no solo às plantas de sorgo e soja**. 2000. 127f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, 2000.

PIMENTEL-GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais**. Piracicaba: Fealq, 2002. 309 p.

POEHLMAN, J. M. Breeding soybean. In: POEHLMAN, J. M. (Ed.) **Breeding field crops**. 3ª ed. Van Nostrand Reinhold, New York. 1987, p.421-450.

RAMBO, L.; COSTA, J. A.; PIRES, J. L. F.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA, F. G. produtividade de grãos da soja em função do arranjo de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 405-411, 2003.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; BERTAGNOLLI, P. F.; LUZ, J. A. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 431-437, 2001.

SALIB, N. C. **Respostas fisiológicas de soja à aplicação de caulim e carbonato de cálcio**. 2018. Dissertação (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2018.

SALINAS, A. P. R.; ZELENER, N.; CRAVIOTTO, R. M.; BISARO, Z. Respuestas fisiológicas que caracterizan el comportamiento de diferentes cultivares de soja a la diferencia hídrica em el suelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 5, p. 331-338, 1996.

SANTOS, M. P. de A. **Déficit hídrico em soja com tipo de crescimento semideterminado para a região do MATOPIBA**. 2018. 77 f. Dissertação (Mestre em Produção Vegetal) - Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Gurupi, Gurupi, 2018.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. (Ed.). **Soja: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. 333 p.

- SILVA, J. A. **Respostas fisiológicas da soja submetida ao estresse hídrico e compactação do solo**. Tese (Dissertação em Engenharia e Manejo de Irrigação) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.
- SILVA, M. S.; NAVES, M. M. V.; OLIVEIRA, R. B.; LEITE, O. S. M. Composição química e valor proteico do resíduo de soja em relação ao grão de soja. **Food Science and Technology**, v. 26, n. 3, p. 571-576, 2006.
- SINCIK, M.; CANDOGAN, B. N.; DEMIRTAS, C.; BUYUKCANGAZ, H.; YAZGAN, S.; GOKSOY, A. T. Deficit irrigation of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] in a sub-humid climate. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 194, p. 200-205, 2008.
- SINCLAIR, T.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J.; NEPOMUCENO, A. Comparison of vegetative development in soybean cultivars for low-latitude environments. **Field Crops Research**, v. 92, n. 1, p. 53-59, 2005.
- SOUZA JÚNIOR, P. C. D. **Boro como atenuador dos efeitos de déficit hídrico em soja (*Glycine max* L.)**. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2021.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5º ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.
- TAVARES, C. J.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; RAMOS, M. L. G.; PEREIRA, L. F.; CASARI, R. A. D. C. N.; PEREIRA, A. F.; SOUSA, C. A. F.; SILVA, A; R.; SILVA NETO, S. P.; MERTZ-HENNING, L. M. Water stress alters morphophysiological, grain quality and vegetation indices of soybean cultivars. **Plants**, v. 11, n. 4, p. 559, 2022.
- TAVARES, L. C. **Déficit hídrico em plantas de soja provenientes de sementes de alto e baixo vigor**. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas, 2010.
- THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.29, p.1389- 1396, 1994.
- TRINDADE, K. L. **Trocas gasosas, crescimento e produtividade de feijoeiro comum com aplicação de protetor solar**. 2020. Dissertação (Mestrado em Irrigação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Ceres, 2020.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World agricultural supply and demand estimates**. Washington, DC: The Department, USDA, 2020.
- YEE, W. L. Behavioral responses by *Rhagoletis Indifferens* (Dipt., Tephritidae) to Sweet Cherry treated with Kaolin and Limestone-based products. **Journal of Applied Entomology**, v. 136, p. 124-132, 2012.
- YU, G. R.; WANG, Q. F.; ZHUANGM J. Modeling the water use efficiency of soybean and maize plants under environmental stresses: application of a synthetic model of photosynthesis-transpiration based on stomatal behavior. **Journal of Plant Biology**, Toronto, v. 161, n. 3, p. 303-318, 2004.

ZANON, A. J.; SILVA, M. R.; TAGLIAPIETRA, E. L.; CERA, J. C.; BEXAIRA, K. P.; RICHTER, G. L.; DUARTE JUNIOR, A. J.; ROCHA, T. S. M.; WEBER, P. S.; STRECK, N. A. **Ecofisiologia da soja: visando altas produtividades**. Santa Maria: [s.n.], 2018, 136 p.

ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; ROCHA, T. S. M.; ALBERTO, C. M.; BARTZ, A. C.; PAULA, G. M.; TOMIOZZO, R.; COSTA, L. C.; FENSTERSEIFER, C. A.; TAGLIAPIETRA, E. L.; CARDOSO, A. P.; WEBER, P. S.; BEXAIRA, K. P. Efeito do tipo de crescimento no desenvolvimento de cultivares modernas de soja após o início do florescimento no Rio Grande do Sul. **Bragantia**, v. 75, p.445-458, 2016.

ZHANG, J.; LIU, J.; YANG, C.; DU, S.; YANG, W. Photosynthetic performance of soybean plants to water deficit under high and low light intensity. **South African Journal of Botany**, v. 105, p. 279-287, 2016.

ZHANG, M.; DUAN, L.; TIAN, X.; HE, Z.; LI, J.; WANG, B.; LI, Z. Uniconazole - induced tolerance of soybeans to water deficit in relation to changes in photosynthesis, hormones and antioxidant system. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 164, p. 709-717, 2007.