



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS-UFAL  
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS-CECA  
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA



JAILTON ACIOLE FEITOSA

**COEFICIENTE DE EXTINÇÃO DA LUZ E EFICIÊNCIA DO USO DA RADIAÇÃO  
NA CULTURA DA SOJA EM RIO LARGO/AL**

Rio Largo, AL

2023

JAILTON ACIOLE FEITOSA

**COEFICIENTE DE EXTINÇÃO DA LUZ E EFICIÊNCIA DO USO DA RADIAÇÃO  
NA CULTURA DA SOJA EM RIO LARGO/AL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao *Campus* de Engenharia e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, em cumprimento às exigências para obtenção de grau de Bacharel em Agronomia sob orientação do professor Dr. Ricardo Araújo Ferreira Junior – UFAL.

Rio Largo, AL

2023

**Catálogo na Fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias**  
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 - 1512

F311c Feitosa, Jailton Aciole.

Coeficiente de extinção da luz e eficiência do uso da radiação na cultura da soja em Rio Largo/AL / Jailton Aciole Feitosa. – 2023.

50f.: il.

Orientador(a): Ricardo Araújo Ferreira Junior.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Graduação em Agronomia, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2022.

Inclui bibliografia

1. *Glycine max* (L.) Merrill. 2. Índice de área foliar. 3. Cultivares. I. Título.

CDU: 633.34

## TERMO DE APROVAÇÃO

“COEFICIENTE DE EXTINÇÃO DA LUZ E EFICIÊNCIA DO USO DA RADIAÇÃO NA  
CULTURA DA SOJA EM RIO LARGO/AL”

**JAILTON ACIOLE FEITOSA**

**(Matrícula 14213193)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao *Campus* de Engenharia e Ciências Agrárias da  
Universidade Federal de Alagoas – UFAL, em cumprimento às exigências para obtenção de  
grau de Bacharel em Agronomia, Apresentado em 02/06/2023.

**Banca Examinadora:**



Prof. Dr. Ricardo Araújo Ferreira Junior – Orientador  
(Universidade Federal de Alagoas)

---

Prof. Dr. Ivomberg Dourado Magalhães  
(Membro interno)

---

Mestre José Wanderson Silva dos Santos  
(Membro interno)

Rio Largo, AL

Junho de 2023

*Dedico este trabalho à Deus, ao  
José Pereira Correia, aos meus  
pais, esposa e demais familiares.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus que me capacitou com sabedoria para concluir este trabalho.

Ao meu orientador, Dr. Ricardo Araújo Ferreira Junior que me acompanhou durante toda a graduação com seus ensinamentos, críticas, paciência e incentivo que culminaram para que eu não desistisse.

Gratidão ao meu querido primo José Pereira Correia que me acolheu em seu lar em Maceió e me proporcionou uma melhor visão e perspectiva de vida através dos estudos.

Agradeço aos meus pais, minha mãe Nilce Cavalcante Aciole Feitosa e ao meu pai José Correia Feitosa pelas orações, incentivo e amor.

A minha amada esposa Beatriz Fradique Feitosa por ter acompanhado minha trajetória durante toda a graduação, que foi capaz de suportar os meus momentos de estresse durante o processo. A sua presença foi fundamental para a realização deste trabalho, com muita gratidão no coração lhe agradeço por fazer parte da minha vida. Amo - te.

Agradeço aos meus irmãos Janaine Aciole Feitosa, Jaelson Aciole Feitosa, Daniel Aciole Feitosa e Wesley Gabriel Aciole Feitosa por todo companheirismo e auxílio durante minha vida e jornada na graduação.

Agradeço ao meu cunhado Gilmar Canuto Silva e a minha sobrinha Sophia Aciole Canuto que veio ao mundo trazer mais alegria e amor aos nossos dias.

Sou grato ao CECA / UFAL e ao laboratório LIA por toda infraestrutura, equipamentos funcionários e professores essenciais à minha formação.

Aos meus amigos em especial o Dr. Wemerson Saulo da Silva Barbosa que me proporcionou ótimos momentos de companheirismo e de busca por mais conhecimento na minha carreira profissional.

Enfim, agradeço a todas as pessoas que fizeram parte dessa etapa decisiva em minha vida.

## RESUMO

Foi determinar o coeficiente de extinção de luz e a eficiência do uso da radiação na cultura da soja no município de Rio Largo em Alagoas. O Estado de Alagoas também é produtor de soja só que se difere das outras regiões por ter sua produção de safra no outono/inverno. Para o seu cultivo é necessário compreender seus fatores bióticos e abióticos que podem influenciar na produtividade. A pesquisa foi realizada no *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). *Glycine max* (L.) Merrill e suas cultivares Monsoy: M 6210, M 6410, M 8349, AS 3730, Bmx- Potência e BRS 9383. Durante o período de cultivo foi utilizado alguns equipamentos sendo eles o piranômetro com finalidade de medir a irradiância solar global ( $R_g$ ), o Sensor Quantum/RFA, para medição de irradiância fotossinteticamente ativa transmitida e o Datalogger CR1000 Campbell Scientific com finalidade de registrar a cada cinco minutos a medição da radiação transmitida. Os dados obtidos foram tabulados no programa do pacote office Excel 2013. Para obtenção do coeficiente de extinção de luz foi necessário calcular o Índice de Área Foliar (IAF). Para obter o IAF foi preciso determinar a área foliar (AF) a partir de um método manual mesurando o comprimento a largura da folha. O cálculo da eficiência do uso da radiação (EUR) foi obtido a partir da relação entre a massa seca (MS) vegetal da parte aérea e a irradiância fotossinteticamente ativa interceptada ( $RFA_{int}$ ) acumuladas ao longo do cultivo, que foi determinada através de regressão linear. A MS foi determinada após o processo de secagem das estruturas das plantas em estufa de ventilação forçada com temperatura de 65 °C por 72 horas. O coeficiente de extinção de luz foi determinado em 0,77 e o valor máximo de IAF obtido foi de 6,34. A variedade AS3730 foi a que teve o menor valor de IAF, entretanto, foi que a mais apresentou EUR. Após análises e comparações dos estudos foi possível verificar alguns fatores influenciadores dos diferentes resultados encontrados na literatura.

**Palavras-chaves:** *Glycine max* (L.) Merrill; Índice de Área Foliar; Cultivares.

## ABSTRACT

The objective of this work was to determine the light extinction coefficient and the efficiency of the use of radiation in the soybean crop in the municipality of Rio Largo in the state of Alagoas. The state of Alagoas is also a soybean producer, but it differs from other regions in that its crop is produced in the autumn/winter period. For its cultivation it is necessary to understand its biotic and abiotic factors that can influence productivity. The research was carried out at the Campus of Engineering and Agricultural Sciences (CECA) of the Federal University of Alagoas (UFAL). *Glycine max* (L.) Merrill and its Monsoy cultivars: M6210, M6410, M8349, AS3730, Bmx-Potência and BRS-9383. During the cultivation period, some equipment was used, such as the pyranometer with the purpose of measuring global solar irradiance ( $R_g$ ), the Quantum Sensor/RFA, for measuring transmitted photosynthetically active irradiance and the Datalogger CR1000 Campbell Scientific with the purpose of recording each five minutes the measurement of transmitted radiation. The data obtained were tabulated in the Excel 2013 office package program. To obtain the light extinction coefficient, it was necessary to calculate the Leaf Area Index (LAI). To obtain the LAI, it was necessary to determine the leaf area (AF) using a manual method. There are several PA evaluation methods that can be direct, indirect, destructive and non-destructive. In this work, the methodology was configured as direct and non-destructive because the measurement took place in the field without removing the plant structures. The calculation of the radiation use efficiency (EUR) was obtained from the relationship between the plant dry mass (DM) of the aerial part and the photosynthetically active irradiation intercepted (RFAint) accumulated during the cultivation, which was determined through linear regression. DM was determined after the process of drying the plant structures in a forced ventilation oven at a temperature of 65 °C for 72 hours. The light extinction coefficient was determined to be 0.77 and the maximum LAI value obtained was 6.34. The AS3730 variety had the lowest LAI value, however, it was the one with the most EUR. After analyzing and comparing the studies, it was possible to verify some factors that influenced the different results found in the literature.

**Palavras-chaves:** *Glycine max* (L.) Merrill; Leaf Area Index; cultivars.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Fotografia aérea da área experimental: A) representa a imagem na posição vertical; B) na posição horizontal em Rio Largo, Alagoas..... 26
- Figura 2** - Fotografia do Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia (LIA) do CECA/UFAL situado no município de Rio Largo, Alagoas..... 27
- Figura 3** - Fotografia do equipamento Piranômetro utilizado para medir a  $R_g$  que se encontra no CECA/UFAL situado no município de Rio Largo, Alagoas..... 28
- Figura 4** - Fotografia do equipamento Sensor Quantum LI-191R utilizado para medir a irradiância fotossinteticamente ativa que se encontra no CECA/UFAL situado no município de Rio Largo, Alagoas..... 28
- Figura 5** - Fotografia do equipamento Datalogger CR1000 (Campbell Scientific) utilizado para medir a radiação transmitida que se encontra no CECA/UFAL situado no município de Rio Largo, Alagoas..... 29
- Figura 6** - Relação do logaritmo natural negativo da fração da irradiância solar fotossintética transmitida ( $-\ln(fRFA_t)$ ) e o índice de área foliar (IAF) nas cultivares de soja em sistema sequeiro ao longo dos dias após semeadura (DAS), no ano 2019 em Rio Largo – Alagoas.....31
- Figura 7** - Índice de área foliar (IAF) de cultivares de soja em sistema sequeiro ao longo dos dias após semeadura (DAS), no ano 2019 em Rio Largo Alagoas.....33
- Figura 8** - Produção de matéria seca acumulada ( $g\ m^{-2}$ ) em função da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) no período de 20/06/2019 a 28/10/2019 em sistema de sequeiro na região de Rio Largo – Alagoas.....36

## LISTA DE QUADROS

**Quadro 1** – Projeção dos principais produtores mundiais da soja das safras 2020/2021 e 2021/2022..... 24

**Quadro 2** – Projeção dos principais exportadores mundiais da soja das safras 2020/2021 e 2021/2022..... 24

## APÊNDICES

<b>Apêndice 1</b> – Avaliações de matéria seca.....	50
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a	Valor de IAF máximo
AF	Área foliar
AL	Alagoas
ATP	Adenosina Trifosfato
b	Valor de IAF mínimo
CECA	<i>Campus</i> das Engenharias e Ciências Agrárias
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DAS	Dias após a semeadura
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUR	Eficiência do uso da radiação
exp	Exponencial
fRFA <sub>t</sub>	Fração da irradiância fotossintética transmitida
Hg	Irradiação solar global
IAF	Índice de Área Foliar
ISNA	Índice de satisfação das necessidades de água
ISS	Irradiância solar espectral
IST	Irradiância solar total
k	Coefficiente de extinção de luz
K	Potássio
kg ha <sup>-1</sup>	Quilograma por hectare
LIA	Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia
MS	Matéria seca
MSP	Matéria seca da planta
N	Nitrogênio
NADPH <sub>2</sub>	Fosfato de dinucleótido de nicotinamida e adenina
O <sub>2</sub>	Oxigênio
P	Fósforo
R	Fase reprodutiva
RFA	Radiação Fotossinteticamente Ativa
RFA <sub>inc</sub>	Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente
RFA <sub>t</sub>	Radiação Fotossinteticamente Ativa Transmitida
RFA <sub>ts</sub>	Radiação Fotossinteticamente Ativa Transmitida Solo
Rg	Radiação global
SPD	Sistema plantio direto
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
USDA	Departamento de agricultura dos Estados Unidos

V	Fase vegetativa
$x_0$	DAS em que ocorre o máximo do IAF
Zn	Zinco
$\Sigma$ DAS	Somatório dos dias após a semeadura
- Ln	Logaritmo natural negativo
°C	Graus Celsius

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2.</b>	<b>OBJETIVO</b> .....	14
2.1.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b> .....	16
<b>2.1</b>	<b>Contexto Histórico da soja</b> .....	16
<b>2.2</b>	<b>Aspectos botânicos e fisiológicos da soja</b> .....	16
<b>2.3</b>	<b>Fatores bióticos</b> .....	18
<b>2.4</b>	<b>Fatores abióticos</b> .....	18
2.4.1	Solos.....	18
2.4.2	Déficit hídrico.....	19
2.4.3	Temperatura e fotoperíodo.....	20
2.4.4	Irradiação solar.....	21
<b>2.5</b>	<b>Fitomassa / Matéria seca</b> .....	23
<b>2.6</b>	<b>Produtividade</b> .....	23
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	26
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	32
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	40
	<b>RECOMENDAÇÕES FUTURAS</b> .....	41
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	42
	<b>APÊNDICES</b> .....	50

## 1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma planta oriunda da china que se disseminou em outros continentes (PRIOLLI et al., 2004). Possui alto teor proteico sendo destinada à alimentação humana a partir de alimentos processados como sucos, embutidos, pães e bolos (SILVA et al., 2012; AZEVEDO, 2011). Além disso, o farelo é utilizado como ração para os animais (BARBERO et al., 2016; CARVALHO et al., 2009). Por ser uma fonte de óleo é utilizada como matéria-prima para produção de biocombustível na indústria (REIS et al., 2013).

O cultivo da soja depende de alguns fatores dentre eles os bióticos que engloba a ocorrência de pragas e doenças e os abióticos que são os fatores climáticos e as condições químicas e físicas dos solos (TEIXEIRA; STONE; HEINEMANN, 2015). Diante desses fatores apresentados, o conhecimento das exigências agroclimáticas torna-se uma ferramenta fundamental que auxilia o planejamento agrícola, visando a maior produtividade e evitando perdas provocadas por fatores climáticos. Dentre as variáveis edafoclimáticas que mais influenciam na produtividade da soja temos a disponibilidade hídrica, a temperatura do ar, a radiação solar e o fotoperíodo (BATTISTI et al., 2013).

As plantas recebem irradiação solar através das folhas em que uma parte é absorvida e convertida em energia por meio do processo de fotossíntese (HEIFFIG et al., 2006; ZANON et al., 2015). Atualmente Brasil, Estados Unidos e a Argentina são consideradas os maiores produtores de soja no mundo (CAVALINI et al., 2018). No ano de 2022, o Brasil assumiu a posição de destaque no cenário global, alcançando a liderança do ranking mundial ao produzir aproximadamente 125 milhões de toneladas de cultivos em uma área de 41 milhões de hectares. (EMBRAPA, 2022). No Brasil a soja é cultivada em vários estados e conforme o boletim de produção da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) no ano de 2022 houve uma queda de 7,6% na exportação quando comparado aos dados do ano de 2021. Dentre os estados produtores o Mato Grosso foi o que mais exportou no ano de 2022 com cerca de 24 milhões toneladas de soja (CONAB, 2022).

A fotossíntese é caracterizada como um processo metabólico essencial para o desenvolvimento das plantas. Boas condições climáticas como irradiância, temperatura do ar e disponibilidade hídrica são essenciais para que o processo seja eficaz. Para obter os valores de energia dissipada e absorvida pelas plantas é indispensável a utilização do índice de área foliar (IAF) e o coeficiente de extinção da luz (k) (FERREIRA JUNIOR et al., 2013; MARENCO et al., 2014).

O coeficiente de extinção da luz está ligado ao ângulo de inclinação das folhas e ao arranjo das folhas no caule em conjunto com o IAF. Esses indicativos fornecem informações sobre a eficiência do uso da irradiação solar interceptada pelas plantas (PROCÓPIO et al., 2003). O crescimento e o desenvolvimento da cultura da soja são dependentes do saldo da matéria seca acumulada pela fotossíntese. A fitossanidade das plantas é atendida a partir da disponibilidade de água, dos nutrientes e da produção da fitomassa seca (biomassa) ambos administrados pela radiação fotossinteticamente ativa (RFA) (ZANON et al., 2015; CARON et al., 2012).

## **2 OBJETIVO**

Ampliar o conhecimento na região de Rio largo, Alagoas sobre o coeficiente de extinção da luz, eficiência do uso da radiação na cultura da soja.

### **2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1) Determinar o coeficiente de extinção da luz.
- 2) Estimação do Índice de área foliar da cultura estudada.
- 3) Avaliar e a eficiência do uso da radiação na cultura da soja em Rio Largo a Alagoas.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 Contexto Histórico da soja**

A soja chegou ao Brasil em meados de 1882 através do Gustavo D'utra. Os primeiros cultivos foram realizados no Estado da Bahia que se disseminou para outros locais do Brasil onde foi construída a primeira fábrica de processamento de soja no ano de 1941 no Rio Grande do Sul. A partir da década de 70 houve uma expansão do cultivo que se deu por alguns fatores dentre eles a adaptação ao clima, a técnica de cultivo empregada a partir da mecanização, o cooperativismo e a demanda do mercado externo. A partir disso o consumo de grãos, farelo, óleo vegetal e biocombustível passou a aumentar no mercado (EMBRAPA, 1987).

O Centro-Oeste é considerado o maior exportador de grãos de soja do Brasil, sendo o estado de Mato Grosso o maior produtor (SILVA; MARUJO, 2012). Em 1988 o Centro-Oeste tinha 3,2 milhões de hectares e em 2016 esse número quadruplicou onde chegou a produzir cerca de 43,9 milhões de toneladas de soja (BARROSO; ROSA, 2018). Na região nordeste os estados da Bahia, Piauí e Maranhão lideraram com as maiores áreas plantadas de hectares de soja em grãos entre os anos de 1990 a 2010 (MIRANDA, 2012).

### **2.2 Aspectos botânicos e fisiológicos da soja**

A soja possui características angiospermas, ou seja, é um tipo de planta que apresenta ovário e óvulo. A raiz é um órgão da planta que tem como funções principais a fixação da cultura no solo, a absorção de água e de nutrientes. Elas se desenvolvem a partir da radícula que vai formar a primeira raiz sucedendo as demais ramificações. O caule é o órgão que liga as raízes às folhas sustentando a planta, possui divisão em nós que fixam as folhas e gemas axilares (podem gerar folhas ou flores) (SOUZA; FLORES; LORENZI, 2013; SEDIYAMA, SILVA; BORÉM, 2015).

Na soja pode haver quatro tipos diferentes de folhas sendo elas: cotiledonares, unifolioladas, trifolioladas e prófilos. Sua cor pode variar de verde claro a verde escuro a depender da idade e dos fatores ambientais. As flores da soja podem ser nas cores branca ou roxa e nelas se desenvolvem os óvulos. O fruto da soja é a vagem que possui cerca de uma a cinco sementes e seu crescimento finaliza cerca de 25 dias após o florescimento (SOUZA; FLORES; LORENZI, 2013; SEDIYAMA, SILVA; BORÉM, 2015).

A fenologia é o estudo dos estágios do desenvolvimento das plantas que compreende a fase vegetativa e reprodutiva. A fase vegetativa inclui as etapas da germinação, da emergência e do crescimento das partes aéreas e das raízes. Na fase reprodutiva inclui o florescimento, a frutificação e a maturação. A fenologia nos permite identificar as características morfológicas e as necessidades da cultura para garantir bons rendimentos. Conhecer o comportamento da espécie nos permite realizar o manejo de forma correta e a prevenir as interferências das fases da cultura (BELO et al., 2019).

A soja é classificada de acordo com o seu tipo de crescimento podendo ser determinado, indeterminado e semideterminado. O crescimento determinado é caracterizado quando após o estágio de florescimento a soja cresce pouco e não se ramifica, no indeterminado o crescimento da soja ocorre durante e após o período do florescimento onde a estatura da planta pode ser duplicada até a maturação. Já no semideterminado pode-se identificar particularidades de ambos os crescimentos determinado e indeterminado (EMBRAPA, 2020).

Cada fase do desenvolvimento da planta é representada por letras e/ou números em uma escala fenológica criada por Fehr e Caviness. Se os fatores ambientais estiverem favoráveis para a soja a sua fase germinativa será rápida. Após a semeadura a radícula rompe o tegumento e dentro de cinco dias as raízes começam a se ramificar. A fase de emergência ( $V_E$ ) ocorre cerca de sete dias após a semeadura, os cotilédones ficam verdes e nutrem a plântula cerca de duas a três semanas após o período de emergência (CÂMARA, 2006).

Após a abertura dos cotilédones ocorre o aparecimento das folhas primárias denominada unifolioladas ( $V_C$ ) por conter apenas um folíolo. Em seguida do aparecimento das unifolioladas ocorre a formação das folhas verdadeiras que são compostas por três folíolos. Posteriormente à formação das primeiras folhas e raízes os cotilédones ficam amarelados e caem aparecendo as folhas definitivas ( $V_2$  a  $V_4$ ). As raízes crescem em todo o ciclo vegetativo findando no começo do florescimento ( $R_1$ ) (CÂMARA, 2006).

A última fase do desenvolvimento da soja é a reprodutiva que é composta por oito estágios representados por siglas alfanuméricas. A fase do florescimento ( $R_1$  e  $R_2$ ) é marcada pela abertura das flores e pode durar de 30 a 40 dias, a fase da frutificação compreende os estágios  $R_3$  a  $R_6$  com início da formação das vagens até o enchimento completo dos grãos que leva cerca de 25 a 35 dias. O desenvolvimento da soja finaliza na etapa da maturação ( $R_7$  e  $R_8$ ) onde os grãos ficam amarelos e atingem o peso máximo da matéria seca (CÂMARA, 2006).

Para se ter um melhor desempenho na produção de soja a etapa de maturação deve ter uma temperatura média de 22 °C. A maturação é mais rápida com o aumento da temperatura, sendo que a seca pode antecipar o processo de maturação reduzindo a matéria seca e o tamanho

dos grãos. O estresse hídrico pode impactar negativamente a maturação porque na fase vegetativa ou na etapa de florescimento a cultura pode não apresentar altura adequada. Além disso, os fatores bióticos e abióticos podem ocasionar maturação precoce impactando na produtividade (EMBRAPA, 2020; EMBRAPA, 2011).

### **2.3 Fatores bióticos**

As doenças foliares afetam a produtividade da soja, dentre elas têm a antracnose, o oídio, o míldio, a murcha de esclerócio e a ferrugem asiática. O oídio pode se desenvolver nas folhas, ramos ou frutos causando prejuízos pois absorve os nutrientes e conseqüentemente prejudica a realização da fotossíntese (IGARASHI et al., 2010). A ferrugem asiática causa amarelamento e queda das folhas que podem ser prevenidas com a inspeção dos fatores que promovem o desenvolvimento dos patógenos a exemplo da temperatura entre 14 a 28 °C e da umidade alta. Entretanto, se já houver a infestações das doenças o uso de fungicidas é o mais eficaz (SOARES et al, 2004).

As Lagartas e os percevejos são pragas que também prejudicam o cultivo da soja. As lagartas desfolham as plantas e os percevejos se alimentam dos grãos. (STÜRMER et al., 2012). Os percevejos podem ser tratados a partir de um controle biológico com o uso de parasitoides de ovos (CHEVARRIA; DEL PONTE; JAHNKE, 2013). Já as lagartas podem ser tratadas com o uso de inseticidas químicos e biológicos, conforme é preconizado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (KUSS et al., 2016).

### **2.4 Fatores abióticos**

#### **2.4.1 Solos**

Conforme a revisão literária de LADEIRA (2010), o solo pode ser definido como processos de modificações da crosta terrestre ocasionados a partir da variação química e física. A compactação do solo é um empecilho na produtividade da soja pelo fato que reduz a disponibilidade da água, dos nutrientes, da porosidade e dos gases. As raízes são as responsáveis em absorver esses compostos, o desequilíbrio desses componentes pode comprometer a fotossíntese e conseqüentemente o crescimento das plantas. Para evitar a perda da produtividade uma avaliação do solo se faz necessária para verificar a resistência mecânica à penetração (DALCHIAVON et al.,2011; BEULTER; CENTURION, 2004).

O uso intensivo do solo para o cultivo restringe o crescimento das plantas pelo fato de reduzir a absorção de água e nutrientes pela cultura, tais fatores podem ser observados através da alta compactação do solo, baixa porosidade e erosão hídrica. O sistema plantio direto (SPD) é uma prática conservacionista que revolve menos o solo aumentando a estabilidade dos agregados e dessa forma também aumenta o teor de matéria orgânica (CASTRO; CALONEGO; CRUSCIOL, 2011).

A mecanização do solo promove alguns benefícios sendo eles o aumento da capacidade absorviva de água e da aeração, a redução da agregação e melhores condições para o desenvolvimento das plantas (SILVA et al., 2021). Entretanto, o uso corriqueiro de máquinas pesadas nas áreas agrícolas pode ocasionar efeitos adversos como o aumento da compactação que torna o solo mais resistente à penetração das raízes e conseqüentemente diminui o crescimento das culturas (COLLARES et al., 2008).

Os nutrientes são importantes para a fertilidade do solo e dentre eles podemos destacar o nitrogênio (N), o zinco (Zn), o potássio (K) e o fósforo (P). Quando estão com baixa disponibilidade no solo pode haver a necessidade de realizar adubação (PROCÓPIO et al., 2004; GONÇALVES JÚNIOR et al., 2010). Apesar da adubação ser fonte de nutrientes é necessário ter cautela para não ocasionar toxicidade nas plantas, além disso, o aumento ou a redução da acidez no solo pode alterar a disponibilidade dos nutrientes (BATISTA et al., 2018).

#### 2.4.2 Déficit hídrico

A água é importante para a planta porque atua em todos os processos bioquímicos e fisiológicos, cerca de 90% do seu peso é composto de água. Dentre seus benefícios podemos citar a regulação térmica para resfriar e distribuir o calor. A disponibilidade de água é essencial no período de germinação-emergência pois a soja precisa absorver no mínimo 50% de água para ter uma boa germinação, a necessidade aumenta até a fase de floração-enchimento de grãos que diminui progressivamente (EMBRAPA, 2007).

O déficit hídrico prejudica o potencial da produção da soja que necessita cerca de 450 a 800 mm de água por ciclo. Conforme a cultura vai crescendo aumenta também a sua necessidade de água e caso ocorra escassez hídrica a planta não consegue atingir a altura necessária e terá o índice de área foliar e a taxa fotossintética prejudicadas (CATUCHI et al., 2012). O estresse hídrico altera o metabolismo das plantas que culminam em abscisão de folhas, flores e diminuição das vagens e dos grãos (FIETZ; URCHEI, 2002).

Além de auxiliar na abertura dos estômatos a água é importante para a fotossíntese pois é necessária para regular a etapa fotoquímica (CHAVARRIA et al., 2015). Para alcançar êxito no desenvolvimento das plantas é fundamental que o solo esteja bem irrigado, as plantas absorvem água do solo através das raízes para conseguir realizar a fotossíntese nas folhas. (EMBRAPA, 2014). Cerca de 93% da improdutividade é ocasionada pelo déficit hídrico e por esse motivo a utilização do Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA) pode ser utilizado para avaliar o melhor período sazonal para cultivar e minimizar as perdas (BATTISTI et al., 2013).

#### 2.4.3 Temperatura do ar e fotoperíodo

A temperatura do ar e o fotoperíodo são fatores abióticos que influenciam na adaptação da soja ao clima da área de cultivo. Durante os processos de desenvolvimento e crescimento da cultura a fotossíntese é fortemente influenciada pela temperatura sendo que as mudanças na taxa fotossintética em resposta à temperatura são reversíveis quando as mudanças de temperatura estão entre 10 e 35 °C. O aumento da temperatura promove a fotossíntese, entretanto, altas temperaturas podem trazer malefícios à planta (EMBRAPA, 2014). A soja se adapta à temperatura compreendida entre 20 a 30 °C, abaixo de 20 °C prejudica a germinação (NASCIMENTO et al., 2018).

A temperatura ideal para o desenvolvimento da soja é de 30 °C, a indução floral ocorre quando a temperatura está acima de 13 °C, entretanto, a temperatura acima de 40 °C pode favorecer a floração precoce que conseqüentemente reduz a altura da planta. A temperatura pode variar a duração do tempo dos estádios da planta pois quando está alta acelera a maturação e quando está baixa atrasa a colheita promovendo a retenção foliar (SEDIYAMA, SILVA; BORÉM, 2015). A retenção foliar é caracterizada por um distúrbio fisiológico onde as folhas, hastes ou plantas permanecem verdes ao final do ciclo (SILVA; CANTERI; SILVA, 2013).

Pode compreender o fotoperíodo como a quantidade de horas de luminosidade presente em 24 horas (EMBRAPA, 2014). A soja é uma planta conhecida por ser de dias curtos, ou seja, necessita de poucas horas de luz para se desenvolver (TRENTIN et al., 2013). Na soja o fotoperíodo vai ter influência no florescimento da planta sendo mais rápido nos dias curtos quando comparado aos dias longos. Saber o período entre os estádios de emergência a floração podem ser determinantes para a produção de matéria seca e dos grãos (RODRIGUES et al., 2001).

O fotoperíodo é um dos fatores que pode influenciar no máximo potencial genético da soja. As cultivares possuem faixa de época de plantio restrita pelo fato de depender da resposta do fotoperíodo. A atividade fotoperiódica varia com a latitude e as plantas das regiões de grande latitude florescem cedo quando semeadas em região de dia curto (REZENDO; CARVALHO,2007). Além de influenciar no crescimento o fotoperíodo também pode modificar processos fisiológicos na fase reprodutiva da soja como por exemplo a atividade da enzima Rubisco (EMBRAPA, 2006).

#### 2.4.4 Irradiação solar

A radiação solar é uma fonte de energia emitida pelo sol que se propaga em todas as direções através de ondas eletromagnéticas. Essa energia emitida pelo sol possui influência direta nos processos químicos, físicos, biológicos, climáticos e atmosféricos. A radiação é uma grandeza que pode ser medida através da Irradiação Solar Global (Hg) e a Irradiância Solar Global (Rg). A Hg representa a potência total da energia advinda do sol por unidade de área que pode ser calculada a partir do comprimento de ondas, já a Rg está relacionada a energia que é absorvida pela atmosfera terrestre (GÓMEZ et al., 2018).

A Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) é a luz visível na qual o comprimento de ondas eletromagnéticas se encontra na faixa de 400 a 700 nanômetros (nm). Essa radiação é utilizada nos processos fotoquímicos da fotossíntese e para que ocorra a fotossíntese os pigmentos foliares precisam absorver a energia radiante que incide sob as plantas (VIEIRA et al., 2010). Nem toda RFA incidente é absorvida, portanto, deve ser considerada como um dos parâmetros necessários para o crescimento efetivo da planta (FONTANA et al, 2012).

A fotossíntese é um processo físico-químico que libera o oxigênio e captura o dióxido de carbono na atmosfera para sintetizar o carboidrato. A fotossíntese ocorre em duas etapas simultaneamente, a etapa fotoquímica que gera Adenosina Trifosfato (ATP) e Fosfato de dinucleótido de nicotinamida e adenina (NADPH<sub>2</sub>) e a etapa química que constitui em uma fase enzimática na qual o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é reduzido a carboidrato a partir do ATP e NADPH<sub>2</sub> gerados na fase fotoquímica. O teor de irradiância que a planta recebe é um fator indispensável para o seu desenvolvimento (EMBRAPA, 2014).

Existem fatores internos e externos que podem promover a eficiência da capacidade fotossintética da planta. Os aspectos internos são os fatores genéticos, o teor de clorofila, a espessura da lâmina foliar e a idade da folha, já os aspectos externos englobam a concentração de CO<sub>2</sub>, a irradiância, a temperatura, a disponibilidade hídrica e o teor de nutrientes. As folhas

maduras possuem uma maior taxa de fotossíntese quando comparada as folhas iniciais e finais do ciclo. A fotossíntese aumenta com a irradiância e quando atinge o ponto de saturação o aumento da irradiância não aumentará mais a fotossíntese. O aumento da irradiância vai variar de acordo com o teor de CO<sub>2</sub> e há um parâmetro utilizado para avaliação que é a eficiência quântica da fotossíntese com relação à irradiância que vai demonstrar a quantidade de CO<sub>2</sub> absorvida (MARENCO et al., 2014).

A soja é considerada uma planta com metabolismo C<sub>3</sub> e essa espécie possui um mecanismo chamado fotorrespiração que ocorre através da enzima Rubisco. A fotorrespiração depende da disponibilidade de oxigênio nos cloroplastos, a relação do oxigênio com o dióxido de carbono aumenta com a elevação da temperatura e consequentemente aumenta a fotorrespiração. A enzima Rubisco pode atuar de duas maneiras oxigenasse fixa de O<sub>2</sub> e causando a produção de CO<sub>2</sub> no sistema fotorrespiratório e carboxilase fixação de CO<sub>2</sub> na fotossíntese (CAETANO et al., 2013; MARENCO et al., 2014).

No processo fotossintético a enzima Rubisco é responsável pela carboxilação e no processo de fotorrespiração é responsável por catalisar a oxigenação. Na fotorrespiração ocorre uma perda na eficiência da fotossíntese pelo fato que a enzima possui afinidade tanto pelo CO<sub>2</sub> quanto pelo O<sub>2</sub> que competem pelo mesmo sítio ativo. Quando há o aumento de CO<sub>2</sub> a ação enzimática favorecerá a carboxilação que aumentará a taxa fotossintética e diminuirá a fotorrespiração pelo fato que a enzima é consumida (WALTER; ROSA; STRECK, 2015).

O Índice de Área Foliar (IAF) é expresso pela relação entre a área das folhas e a superfície do solo ocupada. Esse índice é importante porque as plantas interceptam a radiação solar a partir dele e a converte em matéria seca após o processo de fotossíntese que no final determinará o máximo de rendimento da soja. O IAF crítico é representado pela quantidade de folhas necessárias para obter cerca de 95% da radiação solar no horário de meio dia. Se o IAF aumentar até o valor crítico ocorrerá um aumento também na interceptação de luz que favorecerá à fotossíntese. Para obter uma melhor eficiência do IAF é importante determinar alguns fatores dentre eles o período da sementeira, o genótipo da cultura, a fitossanidade, a densidade das plantas e o seu espaçamento entre linhas (HEIFFIG et al., 2006; ZANON, 2015).

A intensidade que a luz percorre na atmosfera até atingir a superfície terrestre pode ser calculada através da lei de Beer. Essa lei relaciona a absorção da radiação com a distância que ela percorreu de forma atenuada (ECHER; SOUZA; SCHUCH, 2001). O coeficiente de extinção de luz (k) é a determinação do grau de transmissão da luz que atravessa o dossel da planta. O aumento na interceptação da radiação solar ocasiona também em um aumento no

coeficiente de extinção de luz que na soja pode variar entre os percentuais 0,5 a 0,6 (CASAROLI et al., 2007; BALBINOT JUNIOR; FLECK, 2005).

A eficiência do uso da radiação (EUR) salienta sobre o uso da radiação interceptada e sua transformação em matéria seca. Na soja a EUR vai depender do estágio do desenvolvimento e da sua atividade metabólica. A EUR aumenta no enchimento dos grãos e em condições de sombreamento ou de estresse hídrico moderado. No estresse hídrico moderado a planta tende a fechar os estômatos que perderá menos água para o meio e a fotossíntese continua sendo realizada. A EUR é influenciada pelo IAF e a soja pode ter sua EUR afetada caso a temperatura do ambiente esteja acima de 33 °C porque ocorre a diminuição do rendimento foliar (CASAROLI et al., 2007; FERREIRA JUNIOR et al., 2014).

## **2.5 Fitomassa / Matéria seca**

O desenvolvimento das plantas depende do teor de matéria seca (MS) acumulada no processo fotossintético e em plantas bem nutridas a produção da MS é mediada pela RFA que se converte em fitomassa (CARON et al., 2012). Podemos compreender a MS como as partes ou componentes constituintes das plantas sendo eles as folhas, os caules, os pecíolos, as vagens e os grãos. A MS que também pode ser chamada de fitomassa é expressa em kg ha<sup>-1</sup> e informa o peso total da planta (KURIHARA et al., 2013). Alguns aspectos influenciam no aumento da matéria seca dentre eles podemos elucidar além da radiação, os corretivos da acidez do solo e as rotações das culturas (CASTRO; CALONEGO; CRUSCIOL, 2011).

Para se obter a matéria seca da planta é necessário realizar um procedimento de secagem que previne o material de alterações químicas e degradação dos tecidos (BUENO et al, 2017). Para se determinar a matéria seca da planta (MSP) as partes que a compõem podem ser acondicionadas em sacos de papel craft e posteriormente devem ser pesadas em uma balança de precisão, após a pesagem o material deverá ser levado para uma estufa de ventilação forçada com uma temperatura de 65 °C por cerca de 72 horas (BARBOSA et al., 2022).

## **2.6 Produtividade**

Na década de 50 o governo brasileiro começou a investir na modernização da agricultura que contribuiu para avançar as atividades do meio rural. Para uma empresa ou até mesmo um pequeno agricultor ter êxito na produção da soja é de suma importância determinar estratégias que possam culminar nas tomadas de decisões. As decisões estratégicas se dividem na

capacidade de analisar como e quanto será produzido, nas instalações para realizar os processos, na utilização das tecnologias, na gestão do controle de qualidade para estabelecer os critérios de aprovação e reprovação da produção, na organização hierárquica para estabelecer a liderança e a estruturação dos setores e por fim o relacionamento com os fornecedores das matérias primas. Todos esses fatores em conjunto podem contribuir para o desenvolvimento e manutenção do Brasil no ranking mundial (LEITNER; ALVES FILHO, 2019).

**Quadro 1** - Dados dos principais produtores mundiais da soja das safras 2020/2021 e 2021/2022.

Produção de soja no mundo (Milhões de toneladas)		
País	Safra 2020/2021	Safra 2021/2022
Brasil	136,00	144,00
Estados Unidos	112,55	119,88
Argentina	47,00	52,00

Fonte: adaptado do Departamento de agricultura dos Estados Unidos (USDA) – maio/2021.

**Quadro 2** - Dados dos principais exportadores mundiais da soja das safras 2020/2021 e 2021/2022.

Exportação de soja no mundo (Milhões de toneladas)		
País	Safra 2020/2021	Safra 2021/2022
Brasil	86,00	93,00
Estados Unidos	62,05	56,47
Argentina	6,35	6,35

Fonte: adaptado do Departamento de agricultura dos Estados Unidos (USDA) – maio/2021.

As informações de produção e exportação mundial da soja apresentadas nos Quadros 1 e 2 foram obtidas através da análise mensal da CONAB (2021). pode evidenciar que o Brasil se destaca tanto na safra 2020/2021 quanto na safra 2021/2022 como maior produtor e exportador. O Brasil, os Estados Unidos e a Argentina são consideradas os maiores produtores de soja no mundo (CAVALINI et al., 2018). Atualmente o Brasil lidera o ranking mundial pois em 2022 chegou a produzir cerca de 125 milhões de toneladas que foram cultivadas em 41 milhões de hectares (EMBRAPA, 2022).

No Brasil, os estados que possuem uma produção significativa da soja são o Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Goiás, Minas Gerais, São

Paulo, Distrito Federal, Bahia, Maranhão, Piauí, Ceará, Tocantins, Pará, Acre e Amazonas (CONAB, 2023). Na safra de 2020/2021 a produção de soja em grãos foi de 139.3 milhões de toneladas (t) sendo maior do que na safra 2021/2022 onde produziu 125.5t. Já a produção de farelo de soja e de óleo foram maiores na safra 2021/2022 com valores respectivos de 36.9 e 9.7t quando comparados à safra 2020/2021 que foram de 35.3 e 9.2t, respectivamente (CONAB, 2022).

Para a safra 2022/2023, a CONAB estima que a colheita de grãos será de cerca de 153.6t superando a safra anterior em 22,4%. Conforme o sétimo levantamento do acompanhamento da safra a colheita já está em 74,5% e o avanço da produtividade se dá pelas condições favoráveis para o cultivo. A visibilidade da alta produção ocorre nos estados Matopiba (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) e Mato Grosso (CONAB, 2023).

O estado de Alagoas também é um produtor de soja só que se difere das outras regiões por ter sua produção de safra no outono/inverno. O diferencial climático em conjunto com possíveis falhas no manejo do cultivo pode estar impactando na baixa produtividade nessa região (EMBRAPA, 2018). Na safra de 2021/2022, a produção de soja em Alagoas foi de 6,2t e a estimativa para a safra de 2022/2023 é de 9,1t segundo o 7º levantamento da previsão da safra realizado pela CONAB (2023).

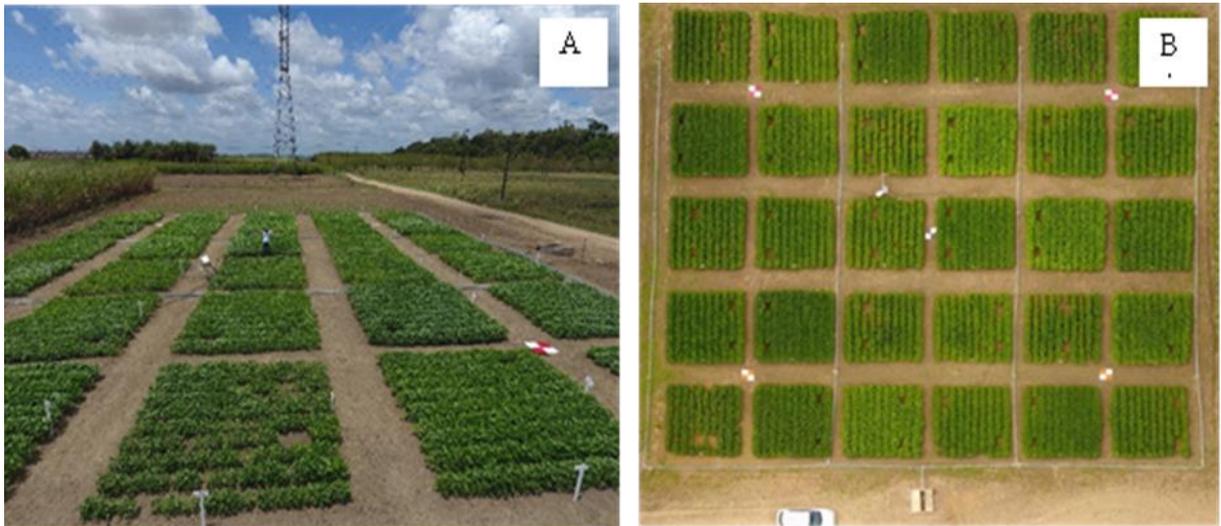
De acordo com o boletim logístico da CONAB de dezembro de 2022, as exportações brasileiras de soja tiveram uma queda de 7,6% nesse ano quando comparada aos dados de 2021. A redução se deu por conta de oscilações na bolsa de Chicago onde fortaleceu o dólar na Argentina que chegou a retirar compradores de soja dos Estados Unidos. O impacto negativo desvalorizou o dólar no Brasil e enfraqueceu as vendas externas. Apesar da redução o Brasil demonstra crescimento nos últimos vinte anos na produção e exportação da soja, essa expansão comercial se dá pela qualidade do produto, faixa de preço e acordos comerciais (FIGUEIRA; GALACHE, 2023).

Esse alcance pode estar relacionado com a modernização no campo e a gestão dos custos na produção da soja. A inovação agrícola possibilitou otimizar e solucionar alguns empecilhos desafiadores na agricultura, sendo alguns deles a adaptação ao clima, o uso de máquinas, de sementes, de fertilizantes e o controle das doenças e pragas acometidas no cultivo. Com a inovação houve um aumento nos custos e por esse motivo o controle de gastos se faz necessário porque todos os insumos e mão de obra irão impactar no custo final da soja (ARTUZO et al., 2018).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), que se localiza no município de Rio Largo /AL, as coordenadas geodésicas são 09° 29' 45" S e 35° 49' 54" W; e a altitude 127 metros. O clima dessa região é úmido, megatérmico com deficiência de água moderado no verão e grande excesso de água no inverno, no qual foi determinado seguindo a metodologia de Thornthwaite e Mather (1955). O trabalho foi executado em duas etapas, uma no campo (Figura 1) e outra no Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia (Figura 2).

**Figura 1** - Fotografias da área experimental: A) Em perspectiva; B) Aérea.



Fonte: Barbosa et al, 2022.

**Figura 2** –Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia (LIA) do CECA/UFAL situado no município de Rio Largo, Alagoas.



Fonte: Autor, 2019.

As cultivares de soja utilizadas foram: M 6210, M 6410, M 8349, AS 3730, Bmx- Potência e BRS 9383. As variedades foram cultivadas em sequeiro no período de 20/06/2019 a 28/10/2019. O solo do cultivo é caracterizado como Latossolo amarelo Distrocoeso Argissólico, de textura média/argilosa (CANTARELLI, 2019). O experimento foi conduzido em uma área de 1.155 m<sup>2</sup> em blocos ao acaso com cinco repetições. Houve revolvimento do solo com duas gradagens e de forma manual ocorreu a abertura dos sulcos para realização da adubação. Na adubação foi utilizado fertilizantes potássicos sendo 60% de cloreto de potássio e 18% de superfosfato simples em kg ha<sup>-1</sup>.

Foram utilizados alguns equipamentos, como: Piranômetro (Figura 3) que se encontra instalado na estação agrometeorológica com finalidade de medir a irradiância solar global (R<sub>g</sub>), o Sensor Quantum/RFA contínuo de 1 metro de comprimento, para medição de irradiância fotossinteticamente ativa transmitida (Figura 4) e o Datalogger CR1000 Campbell Scientific (Figura 5) com finalidade de registrar a cada cinco minutos a medição da radiação transmitida.

**Figura 3** – Piranômetro utilizado para medir a irradiância solar global que se encontra no CECA/UFAL situado no município de Rio Largo, Alagoas.



Fonte: Ferreira Junior, 2016.

**Figura 4** – Sensor Quantum LI-191R utilizado para medir a irradiância fotossinteticamente ativa que se encontra no CECA/UFAL situado no município de Rio Largo, Alagoas.



Fonte: Autor, 2019.

**Figura 5** –Datalogger CR1000 (Campbell Scientific) utilizado para medir e armazenar os dados de irradiância fotossinteticamente ativa transmitida na soja.



Fonte: Autor, 2019.

Os dados obtidos foram tabulados no programa do pacote office Excel 2013. Para chegar no objetivo deste trabalho foi calculado a EUR – relação entre a massa seca (MS) vegetal da parte área e a irradiação fotossinteticamente ativa interceptada ( $RFA_{int}$ ) acumuladas ao longo do cultivo, que é determinada através de regressão linear.

A MS vegetal foi determinada a cada 10 dias após a semeadura (DAS), as cultivares foram coletadas no campo aleatoriamente em cada parcela do experimento, as plantas foram separadas em folhas, caules e vagens. Esse material foi embalado em sacos de papel craft e a matéria fresca foi pesada em uma balança de precisão, em seguida foi levada à estufa de ventilação forçada à temperatura de 65°C até atingir a matéria seca (g) constante.

A determinação da  $RFA_{int}$  acumulada, primeiramente calculou. A área foliar da planta (AF) foi calculada somando a área das folhas individuais, medida pelo comprimento e largura da folha, multiplicada por 3, adotando-se um fator de correção de 0,70 (GASSEN, 2001) e multiplicada pelos números. O número de folhas de uma planta para estimar a área foliar de acordo com a Equação 1.

$$AF = C * L * 3 * 0,7 * NF * NP \quad (1)$$

Onde: AF: Área da folha. C: comprimento do folíolo; L: largura da folha; 3: Número de folíolo por folha. 0,7: Fator de correção do formato da folha. NF: Número de folhas por planta; NP: Número de plantas por m<sup>2</sup>.

O IAF foi obtido entre a razão entre a área foliar e a área ocupada por m<sup>2</sup> de acordo com a Equação 2, e depois ajustado por hectare. Um modelo Pic Log Normal foi usado para ajustar a Equação 3.

$$IAF = \frac{AF}{AOP} \quad (2)$$

Onde: IAF: índice de área foliar; AF: área foliar (m<sup>2</sup>); AOP: Área em m<sup>2</sup> ocupada pela planta em cada tratamento.

Onde: estimou-se o IAF diário através das equações Pic Log Normal ajustada por Barbosa et al. (2022), esses usaram os dados medidos em função dos DAS. Na equação a letra ‘a’ é o valor de IAF máximo; ‘b’ é o valor de IAF mínimo; ‘x<sub>0</sub>’ é o DAS em que ocorre o máximo do IAF; ‘ΣDAS’ equivale ao somatório dos dias após a semeadura no período de crescimento:

$$IAF = a \exp \left[ -0,5 \left\{ \ln \frac{(\Sigma DAS)}{b} \right\}^2 \right] \quad (3)$$

A R<sub>g</sub> foi medida pelo piranômetro e integrada no tempo para obter a irradiação solar global (H<sub>g</sub>) diária. A irradiação fotossinteticamente ativo incidente (RFA<sub>inc</sub>) sobre as plantas foi 43% da H<sub>g</sub> (SOUZA et al., 2005; FERREIRA JÚNIOR et al., 2013). A partir da RFA<sub>inc</sub> foi calculada a (RFA<sub>int</sub>) através da subtração da energia transmitida ao solo, ou seja, a irradiação fotossinteticamente ativo transmitida (RFA<sub>t</sub>):

$$RFA_{int} = RFA_{inc} - RFA_t \quad (4)$$

Posteriormente, com os dados diários de IAF e RFA<sub>int</sub> foi utilizada uma equação similar a Lei de Beer, onde ‘RFA<sub>t</sub>’ representa a energia transmitida, ‘RFA<sub>inc</sub>’ representa a energia incidente, ‘exp’ é o exponencial, o ‘k’ é o coeficiente de extinção de luz (0,77) multiplicado pelo ‘IAF’ que é o índice de área foliar.

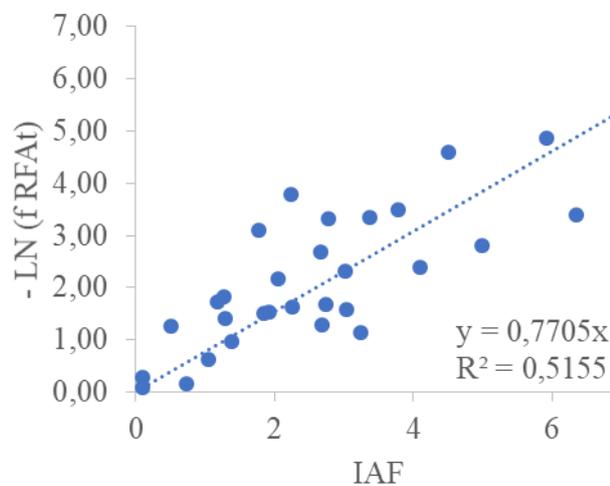
$$RFA_t = RFA_{inc} \exp (- K IAF) \quad (5)$$

O coeficiente de extinção de luz foi determinado através de uma regressão linear ajustada entre o negativo do logaritmo natural da fração da irradiância fotossintética transmitida,  $-\ln(f_{RFA_t})$ , e o IAF utilizando as observações de todas as cultivares.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 6 demonstra a relação negativa do logaritmo natural da fRFAt e o IAF para a cultura da soja. A inclinação da reta representa o valor médio do coeficiente de extinção de luz (k) durante o crescimento da cultura após a semeadura. Um ajuste se fez necessário mediante de uma adaptação da lei de Beer através da relação entre o IAF e a fRFAt, foi possível definir o coeficiente de extinção de luz em 0,77, no qual teve um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi igual a 51. O valor máximo IAF obtido foi de 6,34  $m^2 m^{-2}$ . Apesar da metodologia, clima e solo terem sido distintos do manejo utilizado neste trabalho, a faixa de valores encontrada de k no estudo de Petter et al. (2016) com a cultura de soja foi aproximado entre uma faixa de 0,50 a 0,80.

**Figura 6** – Coeficiente de extinção da luz de cultivares de soja em sistema sequeiro no ano 2019 em Rio Largo – Alagoas determinado pela relação do negativo do logaritmo natural da fração da irradiância solar fotossintética transmitida ( $-\ln(fRFAt)$ ) e o índice de área foliar (IAF).



Fonte: Autoria própria, 2023.

Já no trabalho de Procópio et al. (2003), o valor encontrado do k foi de 0,93 sendo superior às demais pesquisas. Dentre os fatores que podem ter contribuído para um valor maior do k foi a duração do ciclo de 133 dias pois os outros estudos abordados realizaram a análise em um ciclo de 100 dias. Uma hipótese pode ter sido o modelo equipamento no qual mesmo utilizou light ceptômetro (Delta T. Devices). Além disso, o método de avaliação da área foliar que é um

fator indispensável para o cálculo do IAF foram determinados a partir de um medidor eletrônico diferente do presente estudo que foi feito de forma manual.

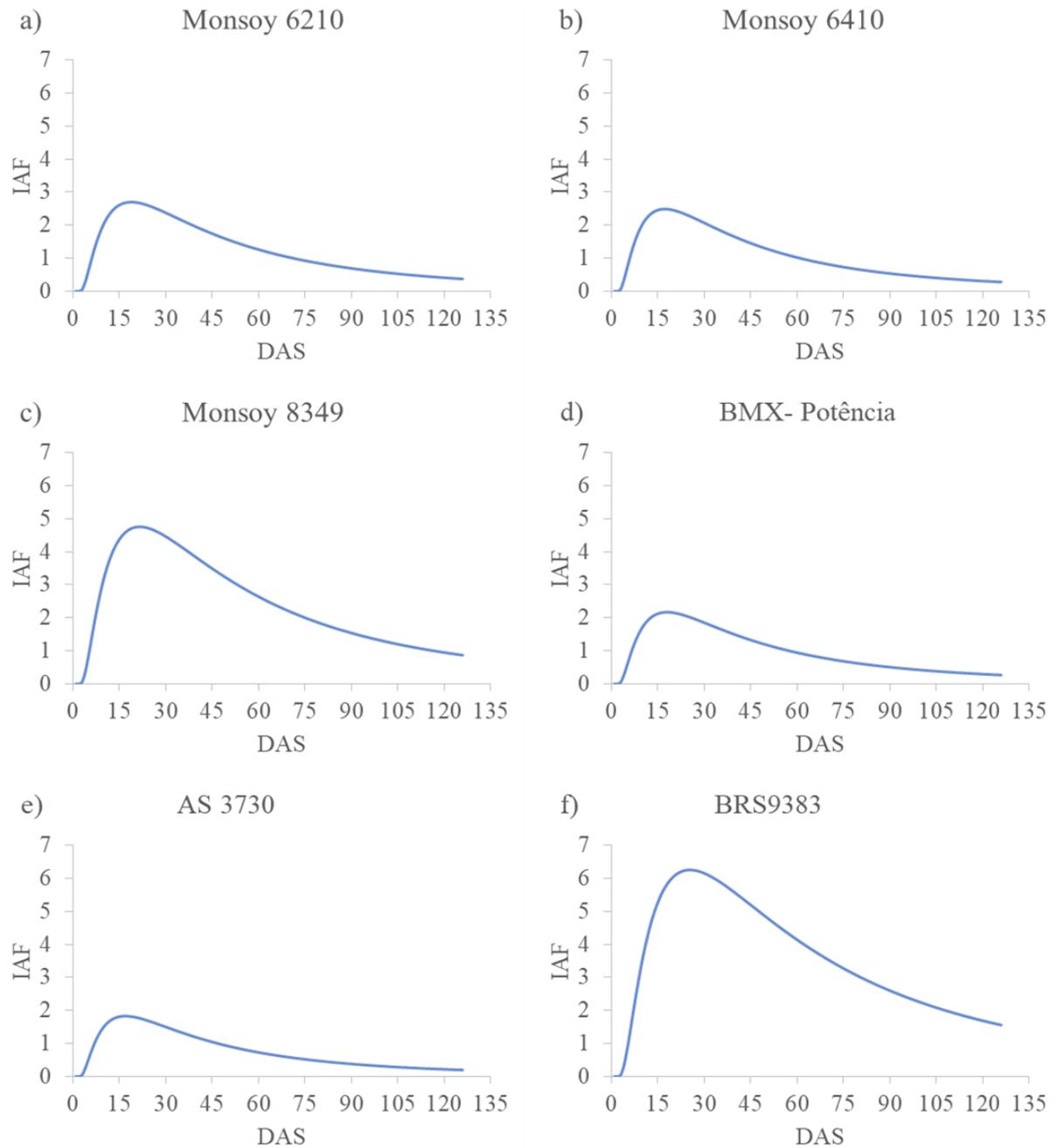
A pesquisa de Song et al. (2020) realizada na University of Illinois na cidade de Urbana-Champaign situada no continente americano também analisou o  $k$  na cultura da soja, na qual encontraram valores na faixa de 0,43 a 0,58. Seu estudo foi realizado no período sequeiro e a obtenção da área foliar foi definida com um scanner fotográfico de folhas não destrutivo utilizado para obter a imagem da planta, a determinação da largura, do comprimento e dos ângulos das folhas que foram definidos a partir de um software que processou a imagem.

Nas cidades de West Lafayette e Romney nos EUA os pesquisadores LOPEZ, MOREIRA e RAINEY (2021) avaliaram o  $k$  da soja e encontraram valores na faixa de 0,43 a 0,67. Seu estudo também foi conduzido em período sequeiro e o déficit hídrico não foi um fator limitante, no entanto, a composição dos solos foram distintas. A área foliar para o cálculo do IAF foi definida com um equipamento eletrônico analisador de dossel portátil.

Com base nos estudos elucidados pode verificar que apesar da pesquisa ter sido realizada em diferentes cidades brasileiras e americanas, os resultados obtidos de  $k$  foram próximos. Alguns fatores podem ter influenciado nos valores mais altos ou mais baixos sendo eles a densidade do plantio, o déficit hídrico, latitude, a época da semeadura e a disposição das folhas na planta (SCHWERZ et al., 2019). Essa variabilidade do  $k$  decorre de mudanças dos estádios de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da soja, como exemplos temos os estudos de Petter et al. (2016) e Procópio et al. (2003) que avaliaram o  $k$  antes do florescimento (estádio vegetativo) e após o florescimento (estádio reprodutivo). Ambos enfatizaram em seus estudos que o  $k$  foi maior após o florescimento, ou seja, no final do ciclo da soja.

Outro fator que pode ter influenciado nos resultados foi o método de avaliações da área foliar para determinação do IAF. O presente estudo avaliou de forma manual onde coletou 3 amostras de soja por  $m^2$  e mensurou com réguas a largura e comprimento e posteriormente utilizou um fator de correção de 0,7 para obter o resultado. Os demais trabalhos brasileiros utilizaram medidores eletrônicos e os americanos usaram o método de imagem, ambos possuíram resultados significativos (ADAMI et al., 2008). Com isso podemos concluir que o  $k$  é um parâmetro fundamental na modelagem de crescimento da cultura e da eficiência da absorção da radiação solar, entretanto, se faz necessário mais pesquisas na área.

**Figura 7** - Índice de área foliar (IAF) de cultivares de soja em sistema sequeiro ao longo dos dias após sementeira (DAS), no ano 2019 em Rio Largo – Alagoas.



Fonte: Autor, 2023.

Os gráficos apresentados na Figura 7 demonstram cada variedade da soja que foi cultivada e os valores de IAF obtidos durante o ciclo da cultura. Pode-se observar que a variedade BRS 9383 foi a que teve o maior valor de IAF e a AS 3730 foi a que teve o menor. Na linha vertical

pode observar o IAF em uma escala de 0 a 7, na qual, o valor máximo alcançado foi de 6,34 e o mínimo de 1,83. Na linha horizontal consta a informação dos DAS estimados diariamente.

Existem diversos métodos de avaliação da AF que podem ser diretos quando a medição é diretamente nas folhas e indiretos quando ocorre uma correlação entre a variável medida e a AF. Ainda há o método destrutivo onde ocorre a retirada das estruturas das plantas (folhas, caules, raízes) e o não destrutivo quando a estrutura da soja é preservada e as medidas são realizadas sem necessidade de retirar suas partes. Dentre os métodos diretos temos os medidores eletrônicos como exemplo o LI-COR e os discos foliares já no indireto temos as imagens digitais (ADAMI et al., 2008).

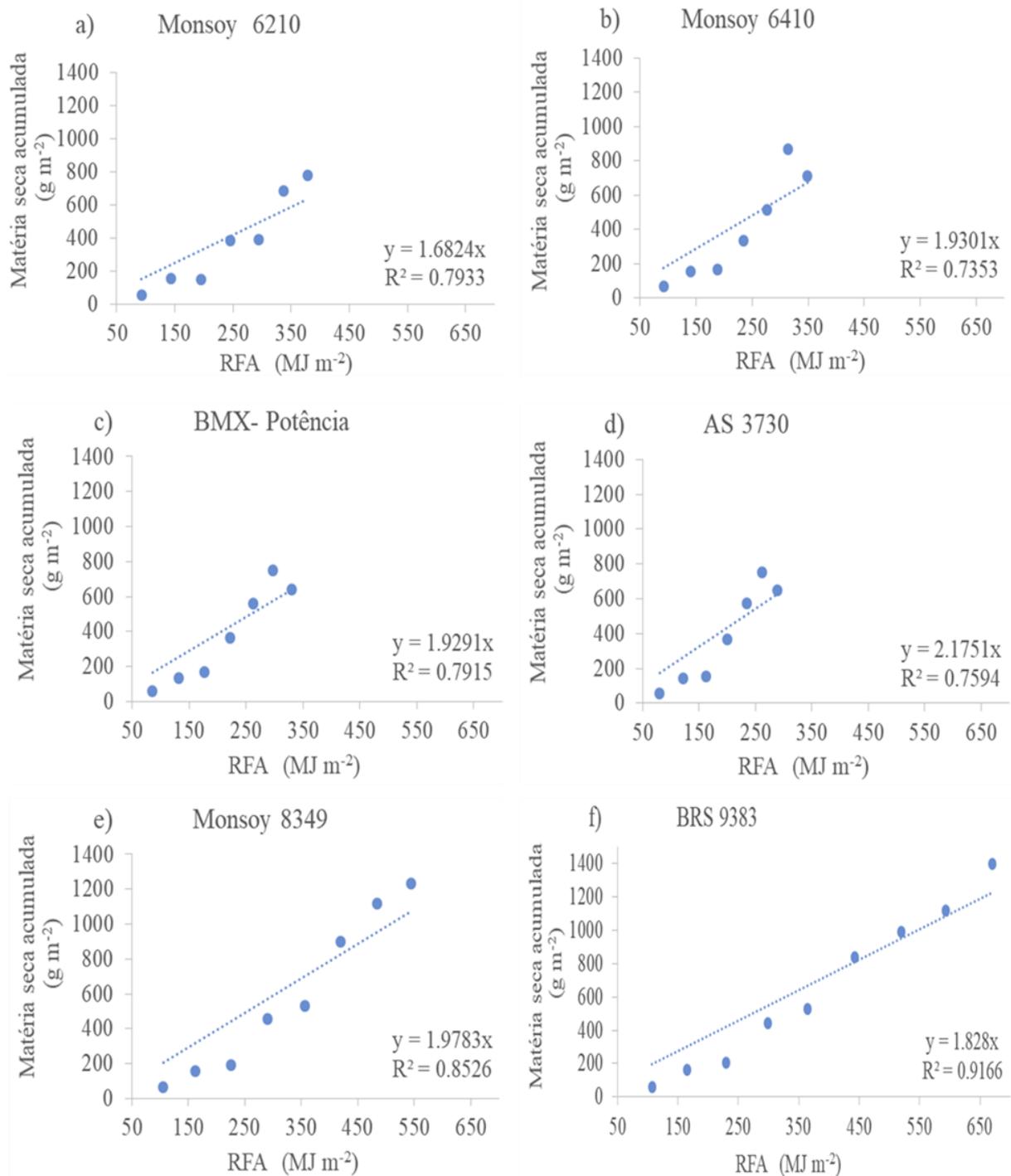
As cultivares BRS 9383, M 8349, M 6210, M 6410, BMX-Potência e AS 3730 obtiveram os respectivos valores de IAF 6.34, 4.76, 2.70, 2.49, 2.17 e 1,83. Um estudo realizado no departamento de fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria no Rio Grande Sul cultivou a soja sob sistema de irrigação, avaliou a área foliar de 13 cultivares de soja onde foram coletadas 20 folhas de tamanhos variados de cada variedade de planta ao longo de todo o ciclo. A AF foi obtida a partir de imagens digitalizadas que foram calculadas com o auxílio de um software chamado Quant versão 1.0.1 e ajustado através de equação. O gráfico do IAF teve uma escala de 0 a 9 e a variedade que chegou ao valor mais próximo de 9 foi a IAS 5 seguida da BRS 246 RR. Conforme a metodologia utilizada para determinar o IAF pode-se inferir que seu trabalho é caracterizado como método indireto e destrutivo ao invés de não destrutivo como mencionado em sua conclusão pois as folhas foram retiradas da sua estrutura para cálculo da AF (RICHTER et al., 2014).

Em outro trabalho brasileiro realizado em Paragominas no estado do Pará foi avaliado a área foliar e o IAF de apenas uma cultura de soja denominada Candeia. O cultivo foi mecanizado com a técnica de SPD em um clima úmido, a Rg foi medida também através de um piranômetro Campbell e a radiação refletida foi medida com o mesmo equipamento sendo invertido. A área foliar foi estimada através do método de discos foliares que coletou as folhas pesou e levou à estufa por 48 horas até atingir o peso seco, a partir do peso seco das folhas a área foliar foi estimada através de uma equação onde posteriormente os valores foram utilizados na equação do IAF em que o valor máximo obtido foi de 7,17. A metodologia para determinação da AF utilizada se enquadra como destrutiva e indireta pelo fato de ter sido estimada através de equação a partir de folhas secas ao invés de verdes tornando o manejo peculiar devido ao fato das folhas diminuírem de tamanho após o processo de secagem (SOUZA et al, 2010).

Liu et al. (2017) realizaram um estudo na China em meados de 2013 a 2015 com o cultivo de soja com solo irrigado e determinou a área foliar através do cálculo comprimento foliar x maior largura foliar x coeficiente da soja 0,75. O valor de IAF obtido ao longo dos anos avaliados foram entre 5 e 6. As medições foram em campo utilizando do método direto e não destrutivo conforme metodologia deste presente trabalho. Já o estudo de Kross et al. (2014) também realizado durante três anos (2011 a 2013) em período chuvoso no Canadá avaliou a AF a partir de imagens digitais e posteriormente usou o software Can para obter a AF e estimar o IAF (6 a 7). As imagens foram obtidas das folhas diretamente na lavoura sem retirá-las de sua estrutura configurando metodologia não destrutiva e indireta.

Sendo assim, avaliando as diferentes metodologias utilizadas nos estudos para determinação da AF e conseqüentemente estimativa do IAF podemos inferir que o cultivo irrigado/úmido/chuvoso apresenta um maior IAF quando comparado ao sequeiro. Entretanto, o estudo de Liu et al. (2017) apesar de ter sido irrigado e com período de experimento maior (3 anos) quando comparado a este trabalho (~ 4,5 meses) obteve um menor valor de IAF (entre 5 e 6) e neste 6,34. O valor inferior pode ter sido influenciado pela latitude e variedade da soja já que os estudos são de nacionalidades distintas.

**Figura 8** - Produção de matéria seca acumulada ( $\text{g m}^{-2}$ ) em função da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) no período de 20/06/2019 a 28/10/2019 em sistema de sequeiro na região de Rio Largo – Alagoas.



Fonte: Autor, 2023.

A eficiência do uso da radiação foi maior na variedade AS 3730 que apresentou 2,17  $\text{MJ m}^{-2}$  e a que apresentou menor eficiência foi a variedade Monsoy 6210 com 1,68  $\text{MJ m}^{-2}$ . Para

se obter a EUR é necessário correlacionar a matéria seca em  $\text{g m}^{-2}$  com a RFA em  $\text{MJ m}^{-2}$ . A variedade que mais produziu matéria seca foi a variedade BRS9383 com  $1398,59 \text{ g m}^{-2}$  seguida respectivamente da M8349 com  $1235,91 \text{ g m}^{-2}$ , M6410 com  $865,74 \text{ g m}^{-2}$ , M6210 com  $779,87 \text{ g m}^{-2}$ , AS3730 com  $753,29 \text{ g m}^{-2}$  e BMX - potência com  $747,48 \text{ g m}^{-2}$ .

O estudo de Souza et al. (2009) realizado em Paragominas no estado do Pará em meados de 2007 a 2008 verificou que a EUR foi de  $1,46 \text{ g MJ}^{-2}$  para o ano de 2007 e  $1,99 \text{ g MJ}^{-2}$  em 2008. A produção de biomassa seca foi maior no ano de 2008 com  $960,2 \text{ g m}^{-2}$  quando comparada em 2007 com  $805,4 \text{ g m}^{-2}$ , os valores podem ser justificados pelo fator abiótico do estresse hídrico que foi moderado e que se fez presente durante o experimento em 2007.

De acordo com o estudo de Santos et al. (2003) realizado no período em torno de 5 meses no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa Minas Gerais, os valores encontrados da EUR para a soja foram na faixa de  $2,28$  a  $2,53 \text{ g MJ}^{-2}$ . Para determinação da biomassa seca as estruturas da soja foram levadas à estufa sob temperatura de  $75 \text{ }^\circ\text{C}$  por cerca de 72 horas onde obteve-se cerca de  $135,93 \text{ g m}^{-2}$ . Concluiu-se que houve eficiência em converter a radiação interceptada em biomassa.

Apesar do estudo de Souza et al. (2009) ter sido realizado em 2 períodos anuais os trabalhos brasileiros tiveram um período de avaliação semelhantes em torno de 5 meses. Dentre os fatores justificáveis para os valores do estudo de Santos et al (2003) se sobressair podemos destacar o controle hídrico efetuado sob sistema de irrigação que foi uniforme em todo o experimento. Já o outro estudo foi realizado em período chuvoso com possíveis estiagens visto que os autores enfatizaram que no ano de 2007 houve uma redução da precipitação pluvial.

Kukal e Irmak (2020) realizaram um estudo nos Estados Unidos na Universidade de Nebraska-Lincoln, South-Central Agricultural Laboratory nos anos de 2016 a 2017 e determinaram a MS a partir de amostras de soja que foram secas na estufa sob temperatura de  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  sem especificar o tempo. A produção de biomassa seca foi de  $1946 \text{ g m}^{-2}$  e a eficiência do uso da radiação absorvida foi de  $3,1 \text{ g MJ}^{-2}$ . Em comparação com Liu et al (2017) que avaliou em um período maior (2013 a 2015) a eficiência do uso da radiação encontrada foi de  $1,48 \text{ MJ}^{-2}$ , a biomassa seca de  $749 \text{ g m}^{-2}$  foi determinada a partir da secagem em estufa sob temperatura de  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  sem especificar o tempo. Os valores discrepantes entre os estudos podem ter sido influenciados por fatores ambientais (fotoperíodo, solo, clima, manejo) e genético (genótipo da cultura) já que os estudos são de continentes distintos.

Após análise dos estudos o maior valor de EUR elucidado foi o de Kukal e Irmak (2020) seguido do Santos et al (2003). Os valores foram maiores do que o obtido neste presente trabalho, entretanto, podemos enfatizar alguns fatores influenciadores, dentre eles o período de

avaliação da cultura que nos Estados Unidos foram de 2 anos e neste trabalho foi em torno de 4,5 meses o que pode ter favorecido para um maior desempenho pelo fato da amostra ter sido maior.

Já no trabalho de Santos et al (2003) que teve em torno o mesmo período de avaliação que este estudo sua EUR se sobressaiu e sua produção de MS foi inferior, uma hipótese que pode ter influenciado o valor baixo de MS é a temperatura da estufa que foi de 75 °C por 72 horas porque de acordo com a literatura a recomendação para a secagem das plantas em estufa com circulação forçada de ar é entre 65 a 70 °C por cerca de 48 a 72 horas. Vale enfatizar que temperaturas maiores não são proibidas, entretanto, deve haver um controle do tempo pois quanto maior for a temperatura menor deve ser o tempo (EMBRAPA, 2008; EMBRAPA, 2013).

Para elucidar o fato da pesquisa ter obtido um valor maior de EUR em contrapartida à um valor menor de MS podemos levantar a hipótese de que a depender do genótipo da cultura pode haver uma menor superfície de absorção da radiação, essa diminuição da superfície absorptiva pode ser ocasionada por danos bióticos às folhas, visto que, o acometimento de doenças e pragas ocasionam em perdas de folhas. Tal hipótese pode ser corroborada com o estudo de Soares et al (2004) que afirmaram em seu trabalho que temperatura entre 14 a 28 °C e umidade elevada são fatores propícios para os fatores bióticos. Ao verificar os gráficos de Santos et al (2003) podemos observar que a temperatura durante o ciclo foi variada com períodos de temperatura propícios para doenças, além disso, a umidade foi alta em torno de 90%.

Apesar dos trabalhos de Souza et al. (2009) e Liu et al. (2017) terem sido avaliados em períodos maiores sob época chuvosa e sob sistema de irrigação os valores da EUR e da MS foram inferiores ao encontrado neste trabalho realizado em período seco. O baixo valor da MS pode ter sido acometido pelo fotoperíodo curto que ocasiona em uma indução precoce do florescimento restringindo a AF máxima, ou seja, restringindo o número de folhas (EMBRAPA, 2006). Consequentemente pôde ocasionar em uma redução do acúmulo de MS, quanto a EUR os valores baixos podem ter sido por conta da limitação da radiação no período chuvoso e da latitude.

## **5 CONCLUSÕES**

A variedade AS 3730 foi a que mais obteve eficiência no uso da radiação, entretanto, não foi a que mais produziu MS.

Sendo assim, o experimento obteve resultados positivos para determinar o k e a EUR porém, se faz necessário mais estudos na área para corroborar com a presente pesquisa.

## **RECOMENDAÇÕES FUTURAS**

Os resultados neste estudo demonstram a eficiência nos modelos apresentados na região estudada. No entanto se faz necessário mais estudos na área para confrontar os dados apresentado neste trabalho visto que o índice de área foliar, eficiência do uso da radiação e coeficiente de extinção da luz são parâmetros importante para estimar crescimento e gerar dados de entrada em modelagem.

## REFERÊNCIAS

- ADAMI, M.; HASTENREITER, F. A.; FLUMIGNAN, D. L.; FARIA, R. T. de. Estimativa de área de folíolos de soja usando imagens digitais e dimensões foliares. **Campinas**, v.67, n.4, p.1053-1058, 2008.
- ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; SOUZA, A. R. L. de; SILVA, L. X. da. Gestão de custos na produção de milho e soja. **Rev. Bras. Gest. Neg.**, São Paulo, v.20, n.2, p.273-294, 2018.
- AZEVEDO, E. Riscos e controvérsias na construção social do conceito de alimento saudável: o caso da soja. **Rev. Saúde Pública**. v.45, n.4, p.781-788, 2011.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; FLECK, N. G. Manejo de plantas daninhas na cultura de milho em função do arranjo espacial de plantas e características dos genótipos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, p. 245-252, 2004.
- BARBERO, R. P.; BARBOSA, M. A. A. de F.; FORTALEZA, A. P. de S.; MASSARO JUNIOR, F. L.; SILVA, L. das D. F.; CASTRO, L. M. de. Suplementação com fontes proteicas na terminação de novilhas de corte: estudo bioeconômico. **Cienc. anim. bras.** Goiânia, v.17, n.1, p.45-50, 2016.
- BARBOSA, W. S. da S.; LYRA, G. B.; SOUZA, I. D. M. de; SOUZA, J. L. de; TEODORO, I. P. de O.; LOPES, J. H.; SANTOS, J. W. S. dos. Modeling the growth and productivity of soya cultivars under irrigation and rainfed conditions, **Rev. Ciênc. Agrovet.**, Lages, v.21, n.4 p.370-383, 2022.
- BARROZO, J. C.; ROSA, J. C. da. 04 **A expansão do cultivo da soja no brasil através dos dados oficiais**. Santa Fe: Pampa, 2018. n.18, p.79-98. Disponível em: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2314-02082018000200005](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2314-02082018000200005). Acesso em 06 abr. 2023.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C.; PILAU, F. G.; WOLLMANN, C. A. Eficiência climática para as culturas da soja e do trigo no estado do Rio Grande do Sul em diferentes datas de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.3, p.390-396, 2013.
- BATISTA, M. A.; INOUE, T.T.; ESPER NETO, M.; MUNIZ, A. S. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In: BRANDÃO FILHO, J. U. T.; FREITAS, P. S. L.; BERIAN, L.O.S.; GOTO, R. **Hortaliças-fruto**. Maringá: EDUEM: 2018, p. 113-162. ISBN: 978-65-86383-01-0. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/bv3jx/pdf/brandao-9786586383010-06.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2023.
- BELO, A. P. M.; SOUZA, E. R. B.; CAMILO, Y. M. V.; NAVES, R. V.; VIEIRA, M. do C. Fenologia, biometria e precocidade de plantas de caju arbóreo do cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.). **Ci. Fl.**, Santa Maria, v.29, n.4, p.1672-1684, 2019.
- BEULTER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.39, n.6, p.581-588, 2004.

BUENO, A. V. I.; JOBIM, C. C.; RIBEIRO, M. G.; OLIVEIRA, J. P. de. Método de obtenção de matéria seca e composição química de volumosos. **Cienc. anim. bras.**, Goiânia, v.18, p.1-8, 2017.

CAETANO, J. O.; BENITES, V. de M.; SILVA, G. P.; SILVA, I. R. da. ASSIS, R. L. de; CARGNELUTTI FILHO, A. Dinâmica da matéria orgânica de um neossolo quartzarênico de cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. **R. Bras. Ci. Solo**, v.37, p.1245-1255, 2013.

CÂMARA, Gil Miguel de Sousa. Fenologia é ferramenta auxiliar de técnicas de produção. *Visão Agrícola*, v. 3, n. ja/ju, p. 63-66, 2006. Tradução. . Acesso em: 23 abr. 2023.

CANTARELLI, Arthur Luan Dias. **Crescimento, produtividade e balanço hídrico de gramíneas forrageiras, nos tabuleiros costeiros de alagoas**. Guilherme Bastos Lyra: 2019. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: produção vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2019. p. 12-64, 2019.

CARON, B. O.; SOUZA, V. Q. de; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; SCHMIDT, D.; BAMBERG, R.; ELOY, E. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa de mudas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v.36, n.5, p. 833-842, 2012.

CARVALHO, J. C. C. de; BERTECHINI, A. G.; FASSANI, E. J.; RODRIGUES, P. B.; PEREIRA, R. A. N. Desempenho e características de carcaça de frangos de corte alimentados com dietas à base de milho e farelo de soja suplementadas com complexos enzimáticos. **R. Bras. Zootec.**, v.38, n.2, p.292-298, 2009.

CASAROLI, D.; FAGAN, E. B.; SIMON, J.; MEDEIROS, S. P.; MANFRON, P. A.; DOURADO NETO, D.; VAN LIER, Q. de J. MÜLLER, L.; MARTIN, T. N. Radiação solar e aspectos fisiológicos na cultura de soja - uma revisão. **Revista da FZVA.**, Uruguaiana, v.14, n.2, p.102-120, 2007.

CASTRO, G. S. A.; CALONEGO, J. C.; CRUSCIOL, C. A. C. Propriedades físicas do solo em sistemas de rotação de culturas conforme o uso de corretivos da acidez. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.46, n.12, p.1690-1698, 2011.

CATUCHI, T. A.; GUIDORIZZI, F. V. C.; GUIDORIZI, K. A.; BARBOSA, A. M.; SOUZA, G. M. Respostas fisiológicas de cultivares de soja à adubação potássica sob diferentes regimes hídricos. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.47, n.4, p.519-527, 2012.

CAVALINI, P. F.; SEVILHA, A.; CRUZ, R. M. S. da; ALBERTON, O. Resposta da soja a épocas de aplicação de potássio em cobertura. **Arq. Ciênc. Vet. Zool. UNIPAR**, Umuarama, v. 21, n. 1, p. 23-28, 2018.

CHAVARRIA, 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.

CHEVARRIA, V. V.; DEL PONTE, E. M.; JAHNKE, S. M. Número de gerações de um percevejo e seu parasitoide e da severidade da ferrugem asiática em soja, simulados em

cenários de clima e manejo no norte do RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.4, p.571-578, 2013.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Compactação de um latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.32 p.933-942, 2008.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2021/2022**. Brasília, v. 9, n. 12, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 23 abr. 2023.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2022/2023**. Brasília, v. 10, n. 7, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 23 abr. 2023.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Análise mensal maio soja 2021**. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-soja>. Acesso em: 23 abr. 2023.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim logístico - dezembro/2022**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/boletim-logistico>. Acesso em: 25 abr. 2023.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; NOGUEIRA, D. C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F. L.; ASSIS, J. T.; OLIVEIRA, M. S. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v.41, n.1, p.8-19, 2011.

ECHER, E.; SOUZA, M. P.; SCHUCH, N. J. A Lei de Beer Aplicada na Atmosfera Terrestre. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.23, n.3, p.276-283, 2001.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **A soja no Brasil: história e estatística**. Londrina, 1987. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/446431/a-soja-no-brasil-historia-e-estatistica>. Acesso em: 05 de jan. 2023.

EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Bases ecofisiológicas da assimilação de carbono e suas implicações na produção de forragem**. Palmas, 1. Ed., 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1095207/estudos-de-populacao-de-plantas-de-soja-na-regiao-do-sealba>. Acesso em 22 abr. 2023.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Desempenho fisiológico de plantas de soja em função do estresse hídrico por encharcamento**. Pelotas, 1. ed., 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1145930/desempenho-fisiologico-de-plantas-de-soja-em-funcao-do-estresse-hidrico-por-encharcamento>. Acesso em: 23 abr. 2023.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Ecofisiologia da soja**. Londrina, 2007. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/470308/ecofisiologia-da-soja>. Acesso em: 20 mar. 2023.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Efeito da temperatura e do fotoperíodo na duração e na taxa de crescimento de grãos de soja**. Passo Fundo, 2006. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/852110/efeito-da-temperatura-e-do-fotoperiodo-na-duracao-e-na-taxa-de-crescimento-de-graos-de-soja>. Acesso em: 25 mar. 2023.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Estudos de população de plantas de soja na região do SEALBA**. Aracaju, 1. ed., 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1095207/estudos-de-populacao-de-plantas-de-soja-na-regiao-do-sealba>. Acesso em: 24 abr. 2023.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Métodos de avaliação das condições hídricas das plantas**. Goiás, 2008. Disponível em: [https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAF-2009-09/27961/1/comt\\_161.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAF-2009-09/27961/1/comt_161.pdf). Acesso em: 11 mai. 2023.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Secagem Rápida de Tecidos de Plantas para Determinação da Matéria Seca**. Florionópolis, 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/106434/1/472.pdf>. Acesso em: 11 mai. 2023.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja**. Londrina, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1123928/tecnologias-de-producao-de-soja>. Acesso em: 13 mar. 2023.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja- região central do Brasil 2012 e 2013**. Londrina, 2011. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/904487/tecnologias-de-producao-de-soja---regiao-central-do-brasil-2012-e-2013>. Acesso em: 13 mar. 2023.

FENOLOGIA É FERRAMENTA AUXILIAR DE TÉCNICAS DE PRODUÇÃO. Piracicaba: visão agrícola, v.5, 2006. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/edicoes/soja>. Acesso em: 01 abr. 2023.

FERREIRA JUNIOR, R. A.; SOUZA, J. L. de; TEODORO, I.; ARAÚJO NETO, R. A. de; SILVA, M. B. P. da; ESCOBEDO, J. F. Coeficiente de extinção da luz em cana-de-açúcar irrigada em Alagoas. **Revista Brasileira de Energia Solar**. v.IV, n.2, p.55-60, 2013.

FERREIRA JUNIOR, R. A.; SOUZA, J. L. de; TEODORO, I.; LYRA, G. B.; SOUZA, R. C. de. ARAÚJO NETO, R. A. de. Eficiência do uso da radiação em cultivos de milho em Alagoas. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.18, n.3, p.322-328, 2014.

FIETZ, C. R.; URCHEI, M. A. Deficiência hídrica da cultura da soja na região de Dourados, MS. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.262-265, 2002.

- FIGUEIRA, S. R. F.; GALACHE, V. de O. Análise comparativa da competitividade das exportações de soja em grão do Brasil, Estados Unidos e Argentina. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.61, n.1, p.1-18, 2023.
- FILASSI, M.; OLIVEIRA, A. L. R de. Competitiveness drivers for soybean exportation and the fundamental role of the supply chain. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.60, n.3, p.1-22, 2022.
- FONTANA, D. C.; ALVES, G. M.; ROBERTI, D.; MORAES, O. L. de L.; GERHARDT, A. Estimativa da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela cultura da soja através de dados do sensor Modis. **Bragantia**, Campinas, v.71, n.4, p.563-571, 2012.
- GASSEN, D. N. O desfolhamento e a planta de soja. *Revista Plantio Direto*, Passo Fundo, p.26, jan/fev, 2001.
- GÓMEZ, J. M. R.; CARLESSO, F.; L. E. VIEIRA, L. E.; SILVA, L. da. A irradiância solar: conceitos básicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.40, n.3, 2018.
- GONÇALVES JÚNIOR, A. C.; NACKE, H.; MARENGONI, N. G.; CARVALHO, E. A. de; COELHO, G. F. Produtividade e componentes de produção da soja adubada com diferentes doses de fósforo, potássio e zinco. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v.34, n.3, p.660-666, 2010.
- HEIFFIG, L. S.; CÂMARA, G. M. de S.; MARQUES, L. A.; PEDROSO, D. B.; PIEDADE, S. M. de S. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.2, p.285-295, 2006.
- IGARASHI, S.; OLIVEIRA, G. M.; CAMARGO, L. C. M.; FALKOSKI FILHO, J.; GARDIANO, C. G.; BALAN, M. G. Danos causados pela infecção de oídio em diferentes estádios fenológicos da soja, **Arq. Inst. Biol.**, São Paulo, v.77, n.2, p.245-250, 2010.
- KROSS, A.; MCNAIRN, H.; LAPEN, D.; SUNOHARA, M.; CHAMPAGNE, C. Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 34, p. 235- 248, 2015.
- KURIHARA, C. H.; VENEGAS, V. H. A.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. de. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em soja, como variável do potencial produtivo. **Rev. Ceres**, Viçosa, v.60, n.5, p. 690-698, 2013.
- KUKAL, M. S.; IRMAK, S. Light interactions, use and efficiency in row crop canopies under optimal growth conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 234, 2020.
- KUSS, C. C.; ROGGIA, R. C. P. K.; BASSO, C. J.; OLIVEIRA, M. C. N. de; PIAS, O. H. de C.; ROGGIA, S. Controle de *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) em soja com inseticidas químicos e biológicos. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.51, n.5, p.527-536, 2016.
- LADEIRA, F. S. B. Solos do passado: origem e identificação. **R. Bras. Ci. Solo**, n.34, p.1773-1786, 2010.

LEITNER, C. P. S.; ALVES FILHO, A. G. Estratégia de operações: uma abordagem teórica quanto à aplicabilidade do constructo para empreendimentos rurais produtores de grãos. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 26, n.1, p.1-15, 2019.

LIU, X.; RAHMAN, T.; YANG, F.; SONG, T.; YONG, T.; LIU, J.; ZHANG, C.; YANG, W. PAR Interception and Utilization in Different Maize and Soybean Intercropping Patterns. s. **Plos one**, v. 12, n. 1, p. 1-17, 2017.

LOPEZ, M. A.; MOREIRA, F. F.; RAINEY, K. M. Genetic Relationships Among Physiological Processes, Phenology, and Grain Yield Offer an Insight Into the Development of New Cultivars in Soybean (*Glycine max* L. Merr). **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 1-14, 2022.

MARENCO, R. A.; ANTEZANA VERA, S. A.; GOUVÊA, P. R. dos S.; CAMARGO, M. A. B.; OLIVEIRA, M. F. de; SANTOS J. K. da S. Fisiologia de espécies florestais da Amazônia: fotossíntese, respiração e relações hídricas. **Rev. Ceres**, Viçosa, v.61, p.786-799, 2014.

MIRANDA, H. Expansão da agricultura e sua vinculação com o processo de urbanização na Região Nordeste/Brasil (1990–2010). **EURE**, v.38, n.114, p.173-201, 2012.

NASCIMENTO, W. F.; COSTA, J. S. da; PEIXOTO, P. P. P.; DUARTE, N. D. L. Efeitos da temperatura sobre a soja e milho no Estado de Mato Grosso do Sul. **Investig. Agrar**, v.20, n.1, p.30-37, 2018.

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

PRIOLLI, R. H. G.; MENDES JUNIOR, C. T.; SOUZA, S. M. B.; SOUZA, N. E. A.; CONTEL, E. P. B. Diversidade genética da soja entre períodos e entre programas de melhoramento no Brasil. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.39, n.10, p.967-975, 2004.

PROCÓPIO, S. de O.; SANTOS, J. B. do; SILVA, A. A. da; COSTA, L. C. Desenvolvimento foliar das culturas da soja e do feijão e de plantas daninhas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.2, p.207-211, 2003.

PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J. B.; PIRES, F. R.; SILVA, A. A.; MENDONÇA, E. S. Absorção e utilização do nitrogênio pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v.22, n.3, p.365-374, 2004.

REIS, E. F. dos; CUNHA, J. P. B.; MATEUS, D. L. S; DELMOND, J. G.; COUTO, R. F. Desempenho e emissões de um motor-gerador ciclo diesel sob diferentes concentrações de biodiesel de soja. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**. v. 17, n. 5, p. 565–571, 2013.

REZENDE, P. M. de; CARVALHO, E. de A. Avaliação de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) MERRILL] para o sul de Minas Gerais. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1616-1623, 2007.

RICHTER, G. L.; ZANON JÚNIOR, A.; STRECK, N. A.; GUEDES, J. V. C.; KRAULICH, B.; ROCHA, T. S. M. da; WINCK, J. E. M.; CERA, J. C. Estimativa da área de folhas de cultivares antigas e modernas de soja por método não destrutivo. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 4, p.416-425, 2014.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; BERTAGNOLLI, P. F.; JULIA LUZ, J. S. da; Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 431-437, 2001.

SANTOS, J. B. dos; PROCÓPIO, S. de O.; SILVA, A. A. de; COSTA, L. C. Captação e aproveitamento da radiação solar pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.1, p.147-153, 2003.

SCHWERZ, F.; CARON, B. O.; ELLI, E.; STOLZLE, J. R.; MEDEIROS, S. L. P.; GARBOSSA, J.; ROCKENBACH, A. P. Microclimatic conditions in the canopy strata and its relations with the soybean yield. **An Acad Bras Cienc**, v. 91, n.3, p. 2-16, 2019.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BOREM, A. **Soja do plantio à colheita**. Viçosa. Ed. UFV., 2015. p.9-333.

SILVA, A. J. da; CANTERI, M. G.; SILVA, A. L. da; Haste verde e retenção foliar na cultura da soja. **Summa Phytopathol.**, Botucatu, v.39, n.3, p.151-156, 2013.

SILVA, L. H. da; COSTA, P. F. P. da; NOMIYAMA, G. W.; SOUZA, I. P. de; CHANG, Y. K. Caracterização físico-química e tecnológica da farinha de soja integral fermentada com *Aspergillus oryzae*. **Braz. J. Food Technol.**, Campinas, v.15, n.4, p.300-306, 2012.

SILVA, M. P. da; MARUJO, L. G. Análise de modelo intermodal para escoamento da produção da soja no centro oeste brasileiro. **Journal of Transport Literature**, v.6, n.3, p.90-106, 2012.

SILVA, Y. K. de L.; PARAGUASSU, M. E.; OLIVEIRA, T. F.; MELO, M. C.; CARVALHO FILHO, A.; GOOD, P. I. G. Sistemas de preparo do solo e seus efeitos no desenvolvimento da cultura da soja. **Investig. Agrar**, v.23, n.2, p.94-100, 2021.

SOARES, R. M.; RUBIN, S. de A. L.; WIELEWICKI, A. P.; OZELAME, J. G. Fungicidas no controle da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e produtividade da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.4, p.1245-1247, 2004.

SONG, Q.; Srinivasan, V.; LONG, S. P.; ZHU, X-G.; Decomposition analysis on soybean productivity increase under elevated CO<sub>2</sub> using 3-D canopy model reveals synergistic effects of CO<sub>2</sub> and light in photosynthesis. **Annals of Botany**, v.126, p. 601-614, 2020.

SOUZA, P. J. de O. P. DE; RIBEIRO, A.; ROCHA, E. J. P. da; FARIAS, J. R. B.; LOUREIRO, R. S.; BISPO, C. C.; SAMPAIO, L. Solar radiation use efficiency by soybean under field conditions in the Amazon region. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.44, n.10, p.1211-1218, 2009.

SOUZA, P. J. de O. P. de; RIBEIRO, A.; ROCHA, E. J. P. da; LOUREIRO, R. S.; BISPO, C. J. C.; SOUZA, A. M. L. Albedo da cultura da soja em área de avanço da fronteira agrícola na Amazônia. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.14, n.1, p.65–73, 2010.

SOUZA, V. C.; FLORES, T. B.; LORENZI, H. **Introdução à Botânica: Morfologia**. São Paulo: Instituto Plantarum de estudos da fora, 2013. p.10-222.

STÜRMER, G. R.; CARGNELUTII FILHO, A.; STEFANELO, L. da S.; GUEDES, J. V. C. Eficiência de métodos de amostragem de lagartas e de percevejos na cultura de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.12, p.2105-2111, 2012.

TEIXEIRA, G. C. da S.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B. Eficiência do uso da radiação solar e índices morfofisiológicos em cultivares de feijoeiro. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 45, n.1, p.9-17, 2015.

TRENTIN, R.; HELDWEIN, A. B.; STRECK, N. A.; TRENTIN, G.; SILVA, J. C. da; subperíodos fenológicos e ciclo da soja conforme grupos de maturidade e datas de semeadura. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.48, n.7, p.703-713, 2013.

VIEIRA, E. L.; SOUZA, G. S. de; SANTOS, A. R. dos; SILVA, J. dos S. **Manual de Fisiologia Vegetal**. São Luiz: EDUFMA, 2010. p.230.

WALTERI, L.C.; ROSA, H. T.; STRECK, N. A. Mecanismos de aclimação das plantas à elevada concentração de CO<sub>2</sub>. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.9, p.1564-1571, 2015.

ZANON, A. J.; WINCK, J. E. M.; STRECK, N. A.; ROCHA, T. S. M. da; CERA, J. C.; RICHTER, G. L.; LAGO, I.; SANTOS, P. M. dos; MACIEL, L. da R.; GUEDES, J. V. C.; MARCHESAN, E. Desenvolvimento de cultivares de soja em função do grupo de maturação e tipo de crescimento em terras altas e terras baixas, Campinas. **Bragantia**. v.74, n.4, p.400-411, 2015.

## APÊNDICES

### Apêndices 1. Avaliações de matéria seca

