



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



WEMERSON SAULO DA SILVA BARBOSA

**CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES
DE SOJA EM ALAGOAS**

Rio Largo, AL
2021

WEMERSON SAULO DA SILVA BARBOSA

**CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES
DE SOJA EM ALAGOAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do *Campus* de Engenharia e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

Orientadores:

Professor Dr. Guilherme Bastos Lyra - UFAL

Professor Dr. Iêdo Teodoro - UFAL

Rio Largo, AL
2021

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias – CECA
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana

B588c Barbosa, Wemerson Saulo da Silva.

Crescimento, desenvolvimento e produtividade de cultivares de soja em Alagoas. / Wemerson Saulo da Silva Barbosa. – 2021.

124 f.: il.

Orientador: Guilherme Bastos Lyra.

Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Produção vegetal, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2021.

Inclui Bibliografia

1. Glycine max (L.) Merrill. 2. Irrigação. 3. Balanço hídrico. 4. Produtividade agrícola.

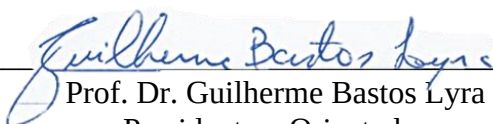
CDU:633.34:813.5

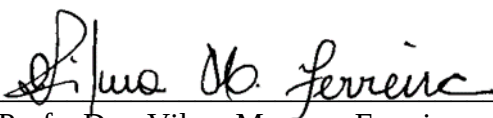
TERMO DE APROVAÇÃO

“CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE SOJA EM ALAGOAS”

Wemerson Saulo da Silva Barbosa
(Matrícula 2018102588)

Tese apresentada e avaliada pela banca examinadora em 12 de novembro de 2021, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção vegetal) do *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias da UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS.


Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra
Presidente – Orientador


Profa. Dra. Vilma Marques Ferreira
Membro Interno


Prof. Dr. Stoécio Malta Ferreira Maia
Membro interno


Dr. Antônio Dias Santiago
Membro Externo

Rio Largo, AL
Novembro de 2021

*A Deus, a meu avô, Antônio Elias (in memorian), a
minha família e aos amigos*

Dedico!

BIOGRAFIA

Wemerson Saulo da Silva Barbosa, filho de Clarete Maria da Silva Barbosa, Neto de Antônio Elias da Silva e Dona Maria Salete de Souza Silva, nasceu em Penedo, Alagoas, em 17 de fevereiro de 1990.

Concluiu o Ensino Fundamental na Escola Agrícola São Francisco de Assis, na cidade de Junqueiro, Alagoas. Coursou Ensino Médio e Técnico em Agropecuária na Escola Agrotécnica Federal de Satuba (atual Instituto Federal de Alagoas-*Campus* de Satuba), na cidade de Satuba, Alagoas.

Em 2009 ingressou no Curso de Graduação em Agronomia na Universidade Federal de Alagoas, *Campus* de Arapiraca. Durante a graduação executou atividades de iniciação científica, participando de pesquisas em fitotecnia, desenvolveu trabalhos voltados ao manejo de culturas agrícolas anuais (milho, feijão e amendoim) e olerícolas (alface, coentro e tomate), os quais despertaram interesse pela pesquisa científica. Em fevereiro de 2015 recebeu o grau de Engenheiro Agrônomo.

Em março de 2015, iniciou o Curso de Mestrado em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, do *Campus* de Engenharia e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Em abril de 2017 concluiu sua dissertação, recebendo o título de Mestre em Agronomia.

Em março de 2018, iniciou o Curso de Doutorado em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, do *Campus* de Engenharia e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Em novembro de 2021 concluiu o referido curso de Doutorado.

AGRADECIMENTO

Aos meus orientadores Prof. Guilherme Bastos Lyra e Prof. Iêdo Teodoro, pela orientação, confiança, amizade e paciência;

A fundação de amparo a pesquisa do Estado de Alagoas-FAPEAL e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPES pelo fomento de bolsas de pesquisa;

Ao CECA/UFAL, por fornecer os insumos, equipamentos, materiais e mão-de-obra para a realização desse trabalho;

A minha namorada, Patrícia Almeida, pelo incentivo, companheirismo, amizade e carinho ao longo desta jornada;

Aos amigos do LIA: Constantino Jr., Iêdo Peroba, Itamar Gomes, Jailton Aciole, Jair Quintela, Joyce Herculano Lopes, Jonathan Tenório, Julianna Catonio, José Antônio Costa, José Wanderson, Manoel Alpiano e Marcos Moraes pela força no desenvolvimento dos experimentos, conselhos, risos e convivência inesquecível;

A todos os Professores da Pós-Graduação do CECA/UFAL que contribuíram com seus conhecimentos;

Aos professores do LIA: José Leonaldo, Ricardo Araújo, Marcos Alex, Alexsandro Almeida, André Carvalho e Ivomberg Dourado pelas orientações e incentivos;

A técnica Isabella Cardoso P. da Silva do Laboratório de Fisiologia Vegetal pelo auxílio no manejo dos equipamentos de laboratório;

Ao Prof. Gilson Moura Filho, coordenador do Laboratório de Solos do CECA/UFAL pela análise química e física do solo dos experimentos;

Ao secretario da Pós-Graduação, Gustavo Nepomuceno, pela probidade como servidor público;

Aos membros da banca Profa. Vilma Marques Ferreira, Prof. Stoécio Maia e Antônio Santiago pelas sugestões e correções para o enriquecimento deste trabalho;

Enfim, a todos aqueles que contribuíram para a realização desse trabalho.

Muito obrigado!

RESUMO GERAL

O cultivo de grãos na Zona da Mata Alagoana apresenta-se como uma alternativa promissora. Dentre os grãos a produção de soja, vem crescendo, no entanto, ainda apresenta baixos índices produtivos, sobretudo quando se compara as produtividades de Alagoas com outras regiões produtoras do nordeste brasileiro. Por esse motivo, com o objetivo de analisar o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade de cultivares de soja na Zona da Mata alagoana, foram instalados dois experimentos de campo no *Campus* de Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL): um irrigado, durante a estação seca, e outro em sequeiro na estação chuvosa da região. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com cinco repetições, os tratamentos foram seis cultivares de soja (M 6210, M 6410, BMX-Potência, AS370, M8349 e BRS-9383). As variáveis de produção analisadas nos dois experimentos foram: altura de inserção da primeira vagem, número de vagens por planta, massa de mil grãos, índice de colheita, produtividade de água e rendimento de grãos. As variáveis de crescimento foram: altura de plantas, matéria seca de plantas e índice de área foliar. O desenvolvimento foi monitorado em função da duração das fases fenológicas. As variáveis fisiológicas analisadas foram: taxa fotossintética líquida, concentração interna de CO₂, transpiração, condutância estomática, eficiência instantânea do uso da água, eficiência instantânea de carboxilação, o rendimento quântico potencial do fotossistema II e índice SPAD. As temperaturas do ar média, durante as pesquisas, foram de 26,5 e 24 °C, as umidades relativas do ar média foram 72 e 75%, na primeira pesquisa as lâminas de irrigação totalizaram 345,30 mm, precipitações de 375 mm, houve incremento na disponibilidade de água a cultura, observada pela soma de chuva e irrigação de 720 mm, com apenas 547 mm nos cultivos de sequeiro. A evapotranspiração de referência (ET_c) acumulada foi 589 mm e 422 mm. No experimento irrigado a altura de inserção da primeira vagem máxima foi de 19,30 cm (M 8349), o maior número de vagens por planta foi de 118 unid. (BRS-9383), a maior massa de mil grãos 209,5 g (M 8349) índice de colheita de 45 (BMX-Potência), produtividade de água de 1,30 kg m⁻³ (AS 3730), o rendimento de grãos máximo foi de 6.180 (AS 3730) kg ha⁻¹. As variáveis de crescimento máximas foram: altura de plantas 110,35 cm, matéria seca de plantas 66 g e IAF de 7,68. O desenvolvimento teve duração máxima de 140 dias após o semeio com 2.331 Graus-dia acumulados. As variáveis fisiológicas máximas foram: taxa fotossintética, 28,40 μmol de CO₂ m⁻² s⁻¹; taxa transpiratória e condutância estomática de 8,20 e 1,04 μmol de H₂O m⁻² s⁻¹, respectivamente; concentração interna de CO₂ de 395 μmol m⁻² s⁻¹; eficiência quântica efetiva máxima de 0,75 e o índice SPAD máximo foi 41,86. Nos cultivos de sequeiro a altura de inserção da primeira vagem máxima foi de 16,80 cm (M 8349), o maior número de vagens por planta foi de 72,0 Unid. (BRS-9383), a maior massa de mil grãos foi 176,0 g (AS3730) índice de colheita de 51,0 (BMX-Potência), produtividade de água de 0,86 kg m⁻³ (AS 3730), o rendimento de grãos máximo foi de 3.600 (M 6410) kg ha⁻¹. As variáveis de crescimento máximas foram: altura de plantas 62,91 cm, matéria seca de plantas 40 g e IAF de 6,34. O desenvolvimento teve duração máxima de 130 dias após o semeio com 1.832,4 Graus-dia acumulados. As variáveis fisiológicas máximas foram: taxa fotossintética, 15,40 μmol de CO₂ m⁻² s⁻¹; taxa transpiratória e condutância estomática de 4,22 e 0,48 μmol de H₂O m⁻² s⁻¹, respectivamente; concentração interna de CO₂ de 200,61 μmol m⁻² s⁻¹; eficiência quântica efetiva máxima de 0,73 e o índice SPAD máximo de 40,05. De maneira geral, a irrigação é capaz de gerar maiores componentes de produção e crescimento nas cultivares de soja, na região de Rio Largo, AL.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill; irrigação; balanço hídrico; produtividade agrícola.

ABSTRACT

Grain cultivation in the Zona da Mata of the state of Alagoas is seen as a promising alternative. Among grains, soybean production has been increasing, however, production rates are still low, especially when comparing the productivity of Alagoas with other producing regions in the Northeast of Brazil. For this reason, and in order to analyse the growth, development and productivity of soya cultivars in the Zona da Mata of Alagoas, two field experiments were set up on the Agrarian Sciences Campus (CECA) of the Federal University of Alagoas (UFAL): one irrigated, during the dry season, and the other under rainfed conditions during the rainy season. The experimental design was of randomised blocks with five replications, with the treatments comprising six soya cultivars (M 6210, M 6410, BMX-Potência, AS 370, M 8349 and BRS-9383). The production variables under analysis in the two experiments were height of the first pod insertion, number of pods per plant, 1000-grain weight, harvest index, water productivity and grain yield. The growth variables were plant height, plant dry matter and leaf area index. Development was monitored based on the duration of the phenological phases. The physiological variables analysed were the net photosynthetic rate, internal CO₂ concentration, transpiration, stomatal conductance, instantaneous water use efficiency, instantaneous carboxylation efficiency, the potential quantum yield of photosystem II and the SPAD index. The mean air temperature during each study was 26.5°C and 24°C, mean relative humidity was 72% and 75%. In the first study, the irrigation depths totalled 345.30 mm, rainfall was 375 mm, and there was an increase in the water available to the crop, as seen from the sum of the rainfall and irrigation of 720 mm, with only 547 mm in the rainfed crops. The accumulated reference evapotranspiration (ET_c) was 589 mm and 422 mm. In the irrigated experiment, the maximum height of the first pod insertion was 19.30 cm (M 8349), the greatest number of pods per plant was 118 units (BRS-9383), the greatest 1000-grain weight was 209.5 g (M 8349), with a harvest index of 45 (BMX-Potência), water productivity of 1.30 kg m⁻³ (AS 3730), and maximum grain yield of 6,180 (AS 3730) kg ha⁻¹. The maximum growth variables were a plant height of 110.35 cm, plant dry matter of 66 g, and LAI of 7.68. Development lasted a maximum of 140 days after sowing, with 2,331 accumulated degree-days. The maximum physiological variables were a photosynthetic rate of 28.40 µmol CO₂ m⁻² s⁻¹, a transpiration rate of 8.20 µmol H₂O m⁻² s⁻¹, stomatal conductance of 1.04 µmol H₂O m⁻² s⁻¹, internal CO₂ concentration of 395 µmol m⁻² s⁻¹, maximum effective quantum efficiency of 0.75, and maximum SPAD index of 41.86. For the rainfed crops, the maximum height of the first pod insertion was 16.80 cm (M 8349), the greatest number of pods per plant was 72.0 units (BRS-9383), the greatest 1000-grain weight was 176.0 g (AS3730), with a harvest index of 51.0 (BMX-Potência), water productivity of 0.86 kg m⁻³ (AS 3730), and maximum grain yield of 3,600 (M 6410) kg ha⁻¹. The maximum growth variables were a plant height of 62.91 cm, plant dry matter of 40 g, and LAI of 6.34. Development lasted a maximum of 130 days after sowing, with 1,832.4 accumulated degree-days. The maximum physiological variables were a photosynthetic rate of 15.40 µmol CO₂ m⁻² s⁻¹, transpiration rate of 4.22 µmol H₂O m⁻² s⁻¹, stomatal conductance of 0.48 µmol H₂O m⁻² s⁻¹, internal CO₂ concentration of 200.61 µmol m⁻² s⁻¹, maximum effective quantum efficiency of 0.73, and maximum SPAD index of 40.05. In general, irrigating soya cultivars generates greater production and growth components in the region of Rio Largo, Alagoas.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merrill; irrigation; water balance; agricultural productivity.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1.1.** Centro de origem e expansão do cultivo da soja no mundo.....23
- Figura 1.2.** Distribuição dos grupos de maturidade relativa de cultivares de soja no Brasil, em função da latitude.....33
- Figura 1.3.** Proporção da área irrigada por pivô central, por grupos e classes de atividades de soja no Brasil.....39

CAPÍTULO II

- Figura 2.1.** Fotoperíodo, durante dois ciclos de cultivo de soja, sob irrigação no período de 14 de novembro de 2018 a 03 de abril 2019, e em sequeiro de 20 de junho de 2019 a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.....57
- Figura 2.2.** Temperatura média do ar diária (A), Evapotranspiração da cultura (B), durante dois ciclos de cultivo de soja, sob irrigação no período de 14 de novembro de 2018 a 03 de abril 2019, e em sequeiro de 20 de junho de 2019 a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.....58
- Figura 2.3.** Variação do armazenamento de água no solo (ARM, mm) para o cultivo de soja sob irrigação no período de 14 de novembro de 2018 a 03 de abril de 2019, determinada pelo balanço hídrico de Thornthwaite e Matter, em Rio Largo, Alagoas.....59
- Figura 2.4.** Variação do armazenamento de água no solo (ARM, mm) para o cultivo de soja, durante 20 de junho de 2019 a 28 de outubro de 2019, em função dos dias após o semeio, determinada pelo balanço hídrico de Thornthwaite e Matter em Rio Largo, Alagoas.....60
- Figura 2.5.** Altura de Inserção da Primeira Vagem (A) e Número de Vagens por Planta (B), de cultivares de soja irrigadas 14/11/18 a 03/04/19, e em sequeiro de 20/06/2019 a 28/10/2019, em Rio Largo, Alagoas.....62
- Figura 2.6.** Massa de Mil Grãos (A) e Índice de colheita (IC) (B) de cultivares de soja irrigadas 14/11/18 a 03/04/19, e em sequeiro de 20/06/2019 a 28/10/2019, em Rio Largo, Alagoas.....64

Figura 2.7. Produtividade de Água (A) e Rendimento de Grãos (B), de cultivares de soja irrigadas 14/11/18 a 03/04/19, e em sequeiro de 20/06/2019 a 28/10/2019, em Rio Largo, Alagoas.....	66
---	----

CAPÍTULO III

Figura 3.1. Fotoperíodo durante os experimentos, irrigado de 14 de novembro de 2018 a 04 de abril de 2019, e em sequeiro de 20 de junho a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.....	82
--	----

Figura 3.2. Variáveis Agrometeorológicas temperatura (A), e evapotranspiração da cultura (B), irrigado no período de 14 de novembro de 2018 a 04 de abril de 2019, e em sequeiro de 20 de junho a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.....	83
--	----

Figura 3.3. Precipitação e irrigação (A) no período de 14 de novembro de 2018 a 04 de abril de 2019, e Precipitação (B) de 20 de junho a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.....	84
---	----

Figura 3.4. Altura de plantas de cultivares de soja, irrigadas no período 14 de novembro de 2018 a 04 de março de 2019, e em sequeiro de 20 de junho a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.....	87
---	----

Figura 3.5. Massa seca de plantas das cultivares de soja, irrigadas no período 14 de novembro de 2018 a 04 de março de 2019, e em sequeiro de 20 de junho a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.....	88
--	----

Figura 3.6. Índice de Área Foliar (IAF) de cultivares de soja, irrigadas no período 14 de novembro de 2018 a 04 de março de 2019 (A), e em sequeiro de 20 de junho a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.....	92
---	----

Figura 3.7. Produtividade Agrícola (Mg ha^{-1}) de cultivares de soja, irrigadas no período 14 de novembro de 2018 a 04 de abril de 2019, e em sequeiro de 20 de junho a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.....	94
--	----

CAPÍTULO IV

Figura 4.1. Variáveis Agrometeorológicas: Umidade Relativa (A), Temperatura média do ar (B) em dois ciclos de cultivo de soja, de 14/11/18 a 03/04/19 e de 20/06 a 28/10/19, em Rio Largo-AL.....	104
--	-----

Figura 4.2. Fotoperíodo durante os experimentos, irrigado no período de 14/11/2018 a 03/04/2019 e em sequeiro de 20/06/2019 a 28/10/2019, em Rio Largo, Alagoas.....	107
Figura 4.3. Precipitação e irrigação (A) de 14/11/18 a 03/04/19 e Precipitação (B) de 20/06 a 28/10/19, em Rio Largo, Alagoas.....	108
Figura 4.4. Duração em dias após o semeio e Graus-dia acumulados ($^{\circ}$ C dia-1), das fases fenológicas: Semeadura-Emergência (SEM-EM), Emergência-R1 (EM-R1) e das subfases R1-R3, R3-R5, R5-R7 e R7-R8 de seis cultivares de soja, irrigadas (14/11/2018 a 03/04/2019), e em sequeiro de (20/06/2019 a 28/09/2019), em Rio Largo, Alagoas.....	109
Figura 4.5. A) Taxa de assimilação de CO ₂ (A), B) transpiração (E), C) condutância estomática (gs), D) concentração interna de CO ₂ (Ci), E) eficiência no uso da água (A/E), F) eficiência instantânea de carboxilação (EiC), G) rendimento quântico potencial do fotossistema II (F_v/F_m) e H) índice SPAD, de seis cultivares de soja, irrigada de 14/11/2018 a 03/04/2019, e em sequeiro de 20/06/2019 a 28/09/2019, em Rio Largo, Alagoas.....	116

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1.1. Composição química da semente de soja.....28

Tabela 1.2. Descrição dos estádios vegetativos e reprodutivos da cultura da soja.....30

Tabela 1.3. Demanda hídrica da soja em função dos estádios de desenvolvimento.....35

CAPÍTULO II

Tabela 2.1. Características físicas e químicas do solo da área experimental, em Rio Largo, Alagoas.....52

Tabela 2.2. Nome, hábito de crescimento, ciclo e grupo de maturação das cultivares de soja utilizadas no trabalho em Rio Largo, AL.....53

Tabela 2.3. Cultivares de soja e total de água no experimento irrigado (irrigação + precipitação) e no experimento de sequeiro (precipitação pluvial), em Rio Largo, Alagoas.....55

Tabela 2.4. Análise de variância (Quadrado médio) para os componentes de produção: Número de Vagens por Planta (NVP, Unid.), Massa de mil grãos (MMG, g), Índice de Colheita (IC), Produtividade de Água (PA, kg m⁻³) e Rendimento de Grãos (RG, kg ha⁻¹) de cultivares de soja irrigadas de 14/11/18 a 03/04/19, e em sequeiro de 20/06/2019 a 28/10/2019, em Rio Largo, Alagoas.....61

Tabela 2.5. Médias observadas para os componentes de produção de cultivares de soja, irrigada de 14/11/18 a 03/04/19, e em sequeiro de 20/06/2019 a 28/10/2019, em Rio Largo, Alagoas.....66

CAPÍTULO III

Tabela 3.1. Características químicas do solo da área experimental. Rio Largo, Alagoas.....75

Tabela 3.2. Cultivares de soja, grupo de maturação, e hábito de crescimento das cultivares de soja utilizadas no trabalho. Rio Largo, Alagoas.....77

Tabela 3.3. Altura de plantas (AP), estimada pelo modelo logístico, para cultivares de soja, irrigada no período 14 de novembro de 2018 a 04 de março de 2019, e em sequeiro de 20 de

junho a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.....	85
---	----

Tabela 3.4. Massa seca de plantas (MSP), estimada pelo modelo Sigmoidal de 3 parâmetros, para as cultivares de soja, irrigada no período de 14 de novembro de 2018 a 04 de março de 2019, e em sequeiro de 20 de junho a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.....	89
---	----

Tabela 3.5. Índice de área foliar (IAF), estimado pelo modelo Pic Log Normal, para as cultivares de soja, irrigada no período de 14 de novembro de 2018 a 04 de março de 2019, e em sequeiro de 20 de junho a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.....	91
--	----

Tabela 3.6. Análise de variância (Quadrado médio) para Produtividade agrícola (PA) (Mg ha ⁻¹) de cultivares de soja irrigadas no período 14 de novembro de 2018 a 04 de março de 2019, e em sequeiro de 20 de junho a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.....	93
--	----

CAPÍTULO IV

Tabela 4.1. Análise química do solo da área experimental, em Rio Largo, Alagoas.....	105
---	-----

Tabela 4.2. Nome, tipo de crescimento, ciclo e grupo de maturação das cultivares de soja usadas no experimento, Rio Largo, Alagoas.....	103
--	-----

Tabela 4.3. Descrição dos estádios vegetativos e reprodutivos da cultura da soja.....	105
--	-----

Tabela 4.4. Fases vegetativas e reprodutivas de cultivares de soja, irrigadas no período 14 de novembro de 2018 a 03 de abril 2019, em Rio Largo, Alagoas.....	110
---	-----

Tabela 4.5. Fases vegetativas e reprodutivas de cultivares de soja, em sequeiro no período 20 de junho a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.....	111
---	-----

Tabela 4.6. Resumo da análise de variância para os aspectos fisiológicos de seis cultivares de soja, irrigada no período de 14/11/2018 a 03/04/2019, e em sequeiro de 20/06/2019 a 28/09/2019, em Rio Largo, Alagoas.....	112
--	-----

APÊNDICES

Apêndice 1. Croqui do experimento.....	124
Apêndice 2. Preparo do solo e locação da área.....	124
Apêndice 3. Abertura das linhas para o plantio, aplicação de calcário, adubação e montagem do sistema de irrigação.....	125
Apêndice 4. Cultivares de soja.....	125
Apêndice 5. Vista aérea do experimento.....	126
Apêndice 6. Avaliações.....	126

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Fotossíntese
ABIOVE	Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais
A/Ci	Eficiência de carboxilação
A/E	Eficiência instantânea de uso da água
AF	Área Foliar
AL	Alagoas (estado brasileiro)
AFD	Água facilmente disponível
AGROSTAT	Estatísticas de comércio exterior do agronegócio brasileiro
AIPV	Altura de inserção da Primeira Vagem
ANA	Agência Nacional de águas
AP	Altura de Plantas
ARM	Armazenamento de água no solo
CAD	Capacidade de água disponível
CECA	<i>Campus</i> de Engenharias e Ciências Agrárias
CC	Capacidade de Campo
Ci	Concentração interna de CO ₂
CO ₂	Dióxido de carbono
CONAB	Companhia Nacional de abastecimento
DAP	Dias após o Plantio
DAS	Dias após o Semeio
DBC	Delineamento em Blocos Casualizados
E	Transpiração
Ea	Pressão atual do vapor médio diário
Eic	Eficiência instantânea da carboxilação
Es	Pressão de saturação do vapor médio diário
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ET0	Evapotranspiração de referência (mm dia ⁻¹)
ETc	Evapotranspiração da cultura (mm dia ⁻¹)
EUA	Estados Unidos da América
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
FBN	Fixação Biológica de Nitrogênio

Fv/Fm	Rendimento quântico potencial do fotossistema II
gs	Condutância estomática
G	Fluxo total diário de calor do solo
GM	Grupo de Maturação
GDA	Graus-dia acumulados
ha	Hectare- Unidade agrária (10.000m ²)
IAF	Índice de Área Foliar
IC	Índice de Colheita
IPA	Instituto Agrônômico de Pernambuco
Kc	Coeficiente de cultivo
MAPA	Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MMG	Massa de Mil Grãos
MATOPIBA	Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia
MSP	Matéria Seca de Plantas
NEB	Nordeste Brasileiros
NVP	Número de vagens por Planta
PA	Produtividade de água
PMP	Ponto de Murcha Permanente
RG	Rendimento de Grãos
Rn	Saldo de radiação diário
SPAD	Índice SPAD
SEALBA	Sergipe, Alagoas e Bahia
T	Temperatura média diária do ar
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
U ₂	Velocidade do vento média diária à altura de 2 m
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
VIB	Velocidade de Infiltração Básica
z	Profundidade do Sistema Radicular das Plantas
Δ	Declividade da curva da pressão do vapor em relação à temperatura
γ	Coeficiente psicrométrico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	20
	CAPÍTULO I.....	22
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	22
2.1.	A cultura da soja.....	22
2.2.	Aspectos gerais.....	24
2.3.	Taxonomia, centro de origem e domesticação da soja.....	25
2.4.	Características botânicas da soja	25
2.4.1.	Folhas	26
2.4.2.	Caule.....	26
2.4.3.	Flor	26
2.4.4.	Raiz.....	27
2.4.5.	Vagem	27
2.4.6.	Semente.....	27
3.	Aspectos fenológicos da soja	27
4.	Seleção de cultivares	30
4.1.	Hábito de crescimento	30
4.2.	Grupo de maturação relativa	31
5.	Ecofisiologia da soja	32
6.	Necessidade hídrica da soja.....	33
6.1.	Germinação-emergência.....	33
6.2.	Fase vegetativa	33
6.3.	Floração-enchimento de vagens	34
7.	Déficit hídrico.....	34
8.	A irrigação na cultura da soja.....	36
9.	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS	38
	CAPÍTULO II.....	48
	MANEJO HÍDRICO DE CULTIVARES DE SOJA NOS TABULEIROS	
	COSTEIROS DE ALAGOAS.....	48
	Resumo.....	48
	Abstract.....	49
10.1	INTRODUÇÃO.....	50
10.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	51

10.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
10.4	CONCLUSÃO.....	66
10.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
CAPÍTULO III.....		70
MODELAGEM DO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE SOJA SOB CONDIÇÕES DE SEQUEIRO E IRRIGAÇÃO.....		71
	Resumo.....	71
	Abstract.....	72
11.1	INTRODUÇÃO.....	73
11.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	74
11.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	80
11.4	CONCLUSÃO.....	93
11.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
CAPÍTULO IV.....		98
DESENVOLVIMENTO E ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE CULTIVARES DE SOJA IRRIGADA E EM SEQUEIRO.....		98
	Resumo.....	98
	Abstract.....	99
12.1	INTRODUÇÃO.....	100
12.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	101
12.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	106
12.4	CONCLUSÃO.....	116
12.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116

1 INTRODUÇÃO GERAL

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma das principais culturas agrícolas do mundo, e a principal *commodity* do agronegócio brasileiro. Devido ao seu alto teor proteico, é utilizada para composição de inúmeros produtos na alimentação humana e animal. Por outro lado, a soja é matéria-prima indispensável para o funcionamento de diversos complexos agroindustriais, tais como as indústrias de óleos, fertilizantes, agrotóxicos e máquinas agrícolas (MAUAD et al., 2010).

A partir de estudos da Embrapa Tabuleiros Costeiros e instituições parceiras foi identificada uma região com elevado potencial agrícola, que engloba municípios de Sergipe, Alagoas e Bahia. A região foi denominada SEALBA, um acrônimo formado pelas siglas dos estados componentes, conforme documento elaborado pela Embrapa Tabuleiros Costeiros (PROCÓPIO et al., 2016).

Os dados relativos à produção de soja no estado de Alagoas ainda são inexpressivos nas estatísticas da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2019), por Alagoas ainda não ser uma região tradicional em seu cultivo. Mas, com o uso de tecnologias agronômicas, tais como o de cultivares adaptadas às características ambientais de clima e solo e o uso da irrigação, é possível melhorar os índices produtivos da soja em Alagoas.

Na Zona da Mata alagoana, região integrada aos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, o principal problema para o estabelecimento da soja é encontrar uma janela (período de cultivo) em que o cultivo de soja não seja prejudicado pela falta de água no período de estiagem ou aos grandes excessos hídricos que ocorrem durante a quadra chuvosa da região, nos meses de maio, junho, julho e agosto, (SOUZA et al., 2004; CARVALHO et al., 2013). Pois, o excesso de chuva, sobretudo durante a fase reprodutiva dessa leguminosa, provoca reduções de produtividade porque causam o abortamento de flores e frutos em início de desenvolvimento, e quando ocorre depois dos grãos já formados, provoca o apodrecimento dos mesmos, gerando o que se conhece como grãos ardidos. Por outro lado, a falta de água nesse mesmo período pode comprometer o enchimento de grãos.

A produção animal no estado de Alagoas tem uma elevada demanda por grãos, para a composição de rações, para suprir a indústria de carne de frango e principalmente a sua bacia leiteira, que usa a soja como uma das principais fontes de proteína para a nutrição dos animais. O estabelecimento de cultivos de soja nos Tabuleiros Costeiros de

Alagoas poderia melhorar a disponibilidade de grãos, uma vez que atualmente são importados de outras regiões produtoras do Brasil. Outra possibilidade para a soja em Alagoas é a de produção de sementes, uma vez que o plantio no estado se dá em uma safra de outono/inverno entre os meses de maio a setembro, o que o diferencia de outras regiões produtoras, o estado poderia atender a demanda por sementes de boa qualidade para outras regiões produtoras do Brasil.

Portanto, diante do exposto, a presente pesquisa foi organizada para conhecer como a disponibilidade de água atua no desenvolvimento, crescimento e produtividade de cultivares de soja nas condições edafoclimáticas dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, e está organizado nos seguintes tópicos:

- Capítulo I – Revisão de Literatura;
- Capítulo II – Manejo hídrico de cultivares de soja nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas;
- Capítulo III – Modelagem do crescimento e produtividade de cultivares de soja sob condições de sequeiro e irrigação;
- Capítulo IV – Desenvolvimento e aspectos fisiológicos de cultivares de soja irrigada e em sequeiro.

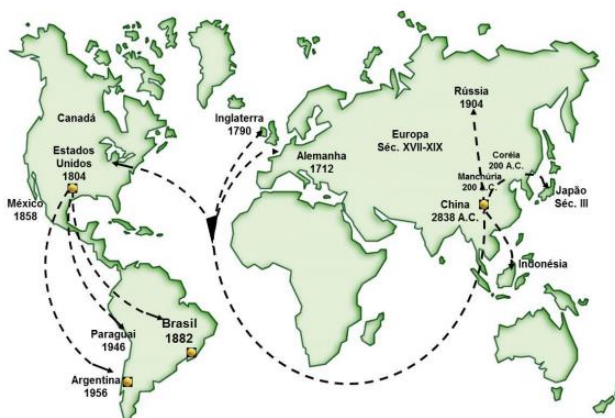
CAPÍTULO I

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura da soja

A literatura pertinente aponta que os primeiros indícios do cultivo, armazenamento e domesticação da soja datam do século XI a.C, em territórios asiáticos. No entanto, não há informações precisas sobre e em qual região do continente o plantio foi iniciado, apesar de estudos apontarem a China como sendo a suposta localidade do fato histórico. Nos séculos seguintes, a soja foi disseminada pelas regiões circunvizinhas, quando no século III d.C, foi estabelecida na Coreia, e em seguida no Japão. O continente europeu foi o próximo, introduzindo a soja a partir de experiências botânicas. Por volta de 1880, a cultura expandiu-se para o continente americano, inicialmente nos Estados Unidos da América (EUA), e pouco tempo depois, em 1882, foram realizados os primeiros experimentos no Brasil, especificamente na Bahia, conduzidos por Gustavo D'utra (BONATO; BONATO, 1987; MANDARINO, 2017; ZANON, 2018). A Figura 1 ilustra o fluxo de disseminação pelos continentes.

Figura 1.1. Centro de origem e expansão do cultivo da soja no mundo.



Fonte: BONETTI (1970).

Através dos experimentos de D'utra, foi constatado que as cultivares trazidas dos EUA ao Brasil, não apresentavam desempenho satisfatório em solo e clima baiano, no entanto, apresentaram resultados significativos no Sul do país (MANDARINO, 2017). Apenas em 1950, no estado Rio Grande do Sul, os plantios de soja foram intensificados por latifundiários em território brasileiro, em sua maioria imigrantes alemães e italianos.

A característica geológica local, com presença de solos do tipo Terra Roxa, colaborou para a manutenção dos plantios comerciais da soja nessa região do país a partir de então (SIEBEN; MACHADO, 2006).

Para Gazzoni e Dall'Agnol (2018), o avanço da soja no Brasil ocorreu em quatro fases: I) com expansão no Sul durante as décadas de 1960 e 1970, sendo a produção máxima em 1979 de 8,9 milhões de t.; II) com expansão no Centro-Oeste nas décadas de 1980 e 1990, com 13,36 milhões de t. em 1999; III) com a incorporação da região MATOPIBA, atingindo, em 2011, 4,3 milhões de t; IV) com a expansão para novas áreas do Pará, Rondônia e Roraima, assim como áreas do nordeste e sudoeste do Mato Grosso.

Contini et al. (2018), destaca que ao final dos anos 60, e especialmente em 1970, o Brasil e a Argentina foram os principais países da América do Sul, em desenvolvimento, a aumentarem as linhas de produção de grãos de soja no segmento comercial, em virtude do incremento tecnológico. É válido ressaltar o desenvolvimento de pesquisas de melhoramento genético de cultivares, com melhor adaptação regional, sobretudo em regiões de baixa latitude (trópico de capricórnio à linha do equador) com clima tropical, onde foi necessário induzir o prolongamento do período juvenil da planta a fim de prevenir seu florescimento precoce (ZANON, 2015).

Fatores como sistemas de produção com mecanizados, carga e transporte mais eficientes, rotação de culturas, programas governamentais com incentivos fiscais, e aumento do consumo de gorduras vegetais em detrimento do animal, colaboraram mutuamente para os resultados positivos alcançados, (EMBRAPA, 2003; CONTINI et al., 2018). Outro fator importante foi a adesão do farelo de soja como fonte proteica na ração animal, principalmente na avicultura e suinocultura do país, aumentando, portanto, a demanda pela matéria-prima que é o grão de soja (WARNKEN, 2000).

A expansão do cultivo de soja para o Centro-Oeste e Norte, foi possível em virtude das peculiaridades geográficas e climáticas locais, com terrenos propícios ao trânsito do maquinário, e precipitações regulares durante o inverno e verão, com menor probabilidade de ocorrer veranicos, além de valores acessíveis por hectare dos terrenos nas regiões citadas, em relação àqueles ofertados no Rio Grande do Sul, colaborou para que a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), através do Programa Nacional de Pesquisa da Soja, por volta de 1976, impulsionasse pesquisas em biotecnologia e contatos internacionais em prol do desenvolvimento de cultivares viáveis às diferentes facetas agrometeorológicas das regiões brasileiras, o que acarretou aumento da produção nacional, e colocação do Brasil na rota de comércio e escoamento mundial

da soja, em 1990, chegando a 40,6% sua participação no segmento a partir dessa época (ESPÍNDOLA; CUNHA, 2015; EMBRAPA, 2003; CAMPOS, 2011).

2.2. Aspectos gerais

Dentre os grãos cultivados, a soja destaca-se como uma das principais *commodities* agrícola do mundo. Conforme o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2020), a produção mundial de soja na safra 2019/2020 foi de 337,298 milhões de toneladas, com uma área plantada de 122,647 milhões de hectares. O Brasil na safra 2019/2020 se tornou o maior produtor mundial dessa oleaginosa, produzindo 124,0 milhões de toneladas (t) em 36,95 milhões de hectares cultivados e produtividade média de 3.379 kg ha⁻¹ na safra (CONAB, 2020).

Conforme dados da CONAB (2021), no Brasil 90% das áreas cultivadas com soja encontram-se na Região Centro-Sul, e os 10% restantes encontram-se entre a Região Norte e Nordeste. Na Região Centro-Sul, os principais produtores em ordem decrescente de produção são: Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul, Minas Gerais, São Paulo e Santa Catarina. Na Região Norte e Nordeste são: Bahia, Tocantins, Piauí, Paraná e Maranhão.

O grão de soja é utilizado como matéria-prima para composição de inúmeros produtos. O consumo interno brasileiro de soja em grão esteve na ordem de 44,60 milhões de toneladas em 2020 (ABIOVE, 2020). A exportação de soja em grão foi 74,1 milhões de toneladas, gerando U\$\$ 26,1 bilhões de receita. A exportação de farelo de soja foi equivalente a 16,7 milhões de toneladas com a renda de U\$ 5,9 bilhões. Exportação de óleo de soja foi de 1,0 milhão de toneladas, renda de U\$ 0,7 bilhão. O valor total exportado foi U\$ 32,6 bilhões (AGROSTAT, 2019). A soja também é uma importante matéria-prima para a produção de biocombustível. O Brasil produziu o equivalente a 5.901.104 m³, tendo 77% da produção do combustível como matéria-prima o óleo de soja (ABIOVE, 2020).

No tocante a utilização da soja na cultura alimentar e nas preparações culinárias da população brasileira, são verificados baixos índices, ficando em torno de 3,5% a produção agrícola que é destinada a essa finalidade (MANDARINO, 2017). De outro modo, é predominante o consumo da leguminosa entre os países orientais, em virtude da predileção cultural por dietas vegetarianas e suas propriedades nutricionais sobre a saúde humana (GAZZONI; DALL'AGNOL, 2018).

2.3. Taxonomia

A soja cultivada (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma planta herbácea, anual, autógama, originária da costa leste da Ásia na região da Manchúria, que fica no nordeste da China. Apresenta mecanismo de fixação de carbono do tipo C3. É incluída na classe Dicotyledoneae, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília das Faboideae, subtribo glycininae (JUDD et al., 2008). As espécies *G. max* e *G. soja* possuem células diploide ($2n = 40$ cromossomos), o que permite um cruzamento genético viável entre as duas espécies, visto que os híbridos F1 são férteis (BORÉM, 2005).

Lackey (1981) reconheceu 16 gêneros para glycininae: *Glycine*, *Amphicarpaea* Elliot., *Cologania* Kunth, *Dumasia* DC., *Diphyllarium* Gagnep., *Eminia* Taub., *Matersia* Benth., *Neonotonia* Lackey, *Nogra* Merr., *Pseudeminia* Verdc., *Pueraria* DC., *Shuteria* Wight e Arn., *Sinodolichos* Verdc., *Teramnus* P.Br. e *Teyleria* Backer.

Viviani et al. (1991), ao conduzir análises genéticas para a tribo Phaseolae, observaram que Glycininae não forma um grupo monofilético, incluindo vários gêneros, até este momento, circunscritos a Clitoriinae, Diocleinae e Kennediinae. O estudo ainda indica que o gênero mais próximo ao *Glycine* é o *Pueria*. Lee e Hymowitz (2001) indicam que a subtribo Glycininae somente é monofilética se incluir os gêneros *Pachyrhizus* e o *Calapogonium*. O gênero *Teramnus* é o mais próximo relacionado ao *Glycine*, e a *Amphicarpaea* é o grupo irmão do glado formado por *Teramnus* + *Glycine*, sendo este o panorama atual da taxonomia de *G. max* (SEDIYAMA, 2015).

A planta de soja passa por mudanças morfológicas ao longo de seus ciclos vegetativos e reprodutivos, identificadas a partir da exibição da plântula e abertura de suas primeiras flores, e do período de floração até a conclusão do ciclo da cultura, respectivamente. Os fatores ambientais também interferem no surgimento, duração e qualidade do desenvolvimento vegetativo (BORÉM, 2009).

2.4. Características botânicas da soja

Apresenta crescimento herbáceo e reprodução autógama, quando a partir da polinização dos estigmas, a planta se autofecunda nas carenas florais, sem ocorrer a abertura de seus botões (cleistogamia) (BORÉM, 2009).

A germinação de sua semente é considerada epígea e a duração de seu ciclo pode se manifestar precoce ou tardiamente, indo de 75 a 200 dias. Quando adulta, a planta de soja apresenta variações de altura, que a depender da cultivar, atinge de 30 a 200 cm, que pode influenciar demais variáveis, dentre elas, a ramificação é umas das mais afetadas (MÜLLER, 1981).

Para maximizar a absorção de compostos benéficos ao crescimento e desenvolvimento da planta, em especial o nitrogênio (N), é realizada a inoculação das sementes com bactérias do gênero *Bradirhizobium* para maximizar a redução do azoto presente no ar (N₂) pela bactéria, em formas mais absorvíveis e assimiláveis pelas plantas como o NH₃ (amônia solúvel em água) e NO₃- (nitratos), de tal forma que a concretização dessa simbiose é constatada pela presença de formações nodulares nas raízes da planta. Em contrapartida, a bactéria recruta para si moléculas de hidratos de carbono (EMBRAPA, 2020; SEDIYAMA et al., 2015).

2.4.1. Folhas

A planta de soja desenvolve folhas do tipo cotiledonares, primárias/simples, trifolioladas/compostas, e prófilos simples. Também exibem coloração de verde pálida a escura, sendo a primeira mais prevalente entre as cultivares (BORÉM, 2009; SEDIYAMA et al., 2015).

2.4.2. Caule

Seu caule, a depender do tempo de exposição solar e peculiaridades da variedade, varia de 80 a 150 cm. Em sua maioria é erigido e ramoso, com inflorescências racêmicas em sua terminação, quando a variedade possui crescimento determinado, e ausentes, naquelas de crescimento indeterminado (BORÉM, 2009; SEDIYAMA et al., 2015).

2.4.3. Flor

O florescimento da soja se inicia em média quando as plantas apresentam de 10 a 12 folhas trifolioladas. A inflorescência pode apresentar até 35 flores, com 8mm de diâmetro, por racemo em cada um dos botões axilares. Suas pétalas podem assumir intensidades variadas e gradativas entre branca e a roxa, o que também atrai a polinização por abelhas. No entanto, é válido destacar que é baixa a taxa de fecundação cruzada na

cultura, não alcançando nem mesmo 1% de sucesso (BORÉM, 2009; SEDIYAMA et al., 2015).

2.4.4. Raiz

O sistema radicular da soja é constituído de um eixo principal e grande número de raízes secundárias, sendo classificado com um sistema difuso. O comprimento das raízes pode chegar a até 1,80 m. A maior parte delas encontra-se a 15 cm de profundidade (BORÉM, 2009; SEDIYAMA, et al., 2015).

2.4.5. Vagem

As características da vagem da soja dependem do estágio de desenvolvimento em que se encontra, principalmente sua cor, que pode se apresentar amarela-palha, cinza ou preta. Externamente, é dotada de pelugem discreta sobre as valvas pareadas, as quais recobrem de 1 a 5 sementes, chegando a medir em sua totalidade até 7 cm (BORÉM, 2009; SEDIYAMA et al., 2015).

2.4.6. Semente

As sementes de soja, apresentam formato globoso, variando do oval ao elíptico, tegumento liso de cor amarela, preta ou verde, já o seu hilo, geralmente é cinza, marrom ou preto, características que conjuntamente contribuem para a identificação de uma cultivar, as quais carregam em sua composição óleos, proteínas e lipídios abundantes, expressos na Tabela 1, o que justifica seu uso como matéria prima em inúmeros produtos (BORÉM, 2009; SEDIYAMA et al., 2015).

Tabela 1.1. Composição química da semente de soja.

Componente	Percentuais
Óleo	19
Proteínas	36
Carboidratos insolúveis	19
Carboidratos solúveis	9
Água	13
Minerais	4

Fonte: United Soybean Board

3. Aspectos fenológicos da soja

As plantas de soja possuem marcos vegetativos e reprodutivos que são estudados na fenologia botânica, a partir de investigação do tempo em que ocorre cada uma das

fases, e quais as características marcantes em cada uma delas. É entendimento científico que a fase vegetativa é contemplada em aspectos germinativos, emergência plantar, e crescimento aéreo e radicular. Já a fase reprodutiva, é marcada pelos eventos de floração, aparecimento e amadurecimento dos frutos (CÂMARA, 2006).

A obtenção de lavouras de soja com alto potencial produtivo depende do conhecimento detalhado do crescimento e desenvolvimento da cultura, das suas exigências edafoclimáticas, bem como do potencial genético das cultivares (SETIYONO et al., 2011).

O crescimento e desenvolvimento vegetal são processos relacionados e que geralmente ocorrem simultaneamente, no entanto, possuem características identificáveis e métodos de avaliação distintos (ZANON, et al. 2016). Por isso, o crescimento vegetal é compreendido a partir de elementos físicos, resultantes de processos irreversíveis no tamanho, espessura e comprimento da planta ou de seus órgãos. Já o desenvolvimento, é conferido através das ocorrências de surgimento e senescência dos componentes vegetais ao longo do ciclo de vida da planta (WILHELM; McMASTER, 1995).

A transição do estágio vegetativo ao reprodutivo é influenciada pela duração das horas de luz de uma região, haja vista que quanto menor é o período de luz atingida no dia, maior será o estímulo à indução floral da planta de soja, o que culminará na entrada precoce do ciclo na fase reprodutiva (SEDIYAMA, 2015; SETIYONO et al., 2007; KANTOLIC, 2008).

Dessa forma, reitera-se a importância da caracterização dos estádios de desenvolvimento para o estabelecimento de um organizado sistema de produção, por meio do manejo adequado das lavouras de soja. Em Alagoas, por exemplo, a proximidade da linha do Equador é fator que condiciona um número elevado de horas de incidência de horas sol por ano e, conseqüentemente, a pouca variação sazonal da radiação solar, do fotoperíodo e da temperatura do ar e índices acentuados de evapotranspiração (BARROS, 2012).

A soja tem sua fenologia detalhada em duas fases, as quais são representadas por meio de uma escala alfanumérica, onde são representadas pelas legendas V e R, conforme a Tabela 1.2 (FEHR; CAVINESS, 1977). Ambas as fases são classificadas de acordo com observações das mudanças morfológicas realizadas nas folhas, flores, vagens, e das sementes (NOGUEIRA, 2013).

Tabela 1.2. Descrição dos estádios vegetativos e reprodutivos da cultura da soja.

I. Fase vegetativa	
VE	Emergência.
VC	Cotilédones expandidos, com folhas unifolioladas.
V1	Aparecimento das primeiras folhas trifolioladas.
V-(N)	Desenvolvimento dos nós nas gemas axilas das plantas, contabilizado pelo desdobramento das folhas trifolioladas.
II. Fase reprodutiva	
R1	Início da floração, 50% das plantas com uma flor.
R2	Floração plena, maioria dos ramos com flores abertas.
R3	Início da formação da vagem.
R4	Vagem completamente desenvolvida.
R5	Início do enchimento do grão.
R6	Aparecimento completo das sementes nas vagens.
R7	Começo da maturação.
R8	Maturação final da vagem, 95% com coloração madura.

Fonte: FEHR e CAVINESS, 1977.

Os estádios vegetativos (V1 a VN) são determinados pela contagem do número de nós (NN), iniciando pelo par de folhas unifolioladas. O intervalo compreendido entre a emergência e o surgimento do último nó, é simbolizado pela sigla NN (SETIYONO et al., 2007; NOGUEIRA et al., 2013; SEDIYAMA et al., 2015).

Em virtude das folhas possuírem tempo limitado de adesão ao nó, em razão de mudanças morfológicas, por exemplo, ou serem interrompidas por algum agressor externo (vento ou chuva forte, maquinário), os estádios vegetativos são inferidos pelo próprio número de nós, haja vista que estes são inalteráveis na planta. Para isso leva-se em consideração o afastamento das bordas dos folíolos de uma folha acima da qual se pretende analisar, para então considerá-la desenvolvida, e conseqüentemente seu nó também o será. A partir desse nó, serão então sequenciados os estádios vegetativos (V1, V2, V3 ao VN), de modo tal que o nó cotiledonar (VC) é indeferido na contagem, pois sua folhagem não é autótrofa, requisito essencial para que fosse considerada folha (FEHR et al., 1971; ZANON et al., 2016).

Ao todo são oito os estádios reprodutivos da planta de soja, simbolizados pela inscrição R, indo, portanto, de R1 a R8. Cada uma dessas fases compreende um marco que vai da floração até a maturação completa dos grãos. A sequência cronológica é caracterizada pela instalação da primeira flor (R1), flor com a abertura completa em um dos dois últimos nós da haste condutora (R2 – Florescimento Pleno), surgimento dos primeiros legumes (R3), legumes com crescimento completo (R4), grãos em processo de aumento de volume (R5), legume com volume e crescimento alcançados (R6), legume

com coloração verde (R7), e 95% dos legumes verdes (R8). De R3 a R6, as características definidoras devem ser avaliadas no segmento que compreende os quatro nós finais da haste condutora. As fases R7 e R8 definem a maturidade fisiológica da planta de soja (FEHR et al., 1971).

4. Seleção de cultivares

A seleção de cultivares de soja é de fundamental importância para o estabelecimento de cultivos, uma vez que o material genético é responsável por até 50% do rendimento potencial de uma lavoura comercial (SEDIYAMA, 2015).

No Brasil, as condições climáticas são marcadamente um potencial barreira para a implantação da cultura, tornando-se ainda mais evidentes e bruscas nas regiões equatoriais tropicais do país, onde a latitude decresce. No entanto, em razão da seleção de cultivares, os índices de produtividade nacional têm sido superiores aos dos países americanos, onde a soja é cultivada em altas latitudes (CÂMARA, 2006).

A introdução do gene de período juvenil longo, na década de 1970, possibilitou o cultivo da soja em latitudes menores que 20° e com isso, ela avançou nas áreas de cultivo do Cerrado, chegando a ser cultivada atualmente em latitudes próximas a 0°. Tal evento possibilitou a entrada de novas empresas de melhoramento genético, havendo assim grande aumento no lançamento de cultivares que anteriormente estavam restritos à região sul (SEDIYAMA, 2015).

Após a promulgação da Lei de Proteção de Cultivares em 1998, houve um aumento na oferta de cultivares em âmbito nacional. Atualmente estão registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento 3.152 cultivares de soja. Avaliando o registro de cultivares, em cerca de 22 anos ocorreram grandes mudanças nas cultivares de soja no Brasil, destacando-se, a introdução de eventos tecnológicos transgênicos, inicialmente com resistência ao herbicida glifosato e posteriormente com resistência a algumas espécies de insetos desfolhadores e outros mecanismos de ação de herbicidas, e recentemente, no ano de 2019, materiais tolerantes ao herbicida glifosato e ao dicamba (MAPA, 2020).

4.1. Hábito de crescimento

Os cultivares de soja, quanto ao hábito de crescimento são assim classificados: determinado, semideterminado ou indeterminado. O tipo de crescimento da cultivar é

classificado conforme a presença e a posição da inflorescência racemosa (TIAN et al. 2010; NOGUEIRA et al., 2009). As plantas de crescimento determinado completam seu ciclo vegetativo pouco antes da floração, assim pode-se ter uma colheita mais uniforme em relação à maturidade fisiológica dos grãos (SEDIYAMA et al., 2009).

Os cultivares de crescimento indeterminado, que são os tipos mais comuns e de maturação precoce na parte sul do Brasil, continuam a desenvolver novas folhas mesmo após a indução floral até que a demanda de fotossintatos pelas sementes em desenvolvimento cause uma interrupção na produção de matéria seca vegetativa, o que pode tornar a colheita irregular, mas torna-se viável diante de condições climáticas e/ou ambientais rigorosas, haja vista a perduração da produção vegetativa nestes tipos de cultivar, permitindo assim a reiteração da produção (TIAN et al., 2010; BORÉM, 2005).

Outra característica marcante acerca da maturação, é que as plantas com crescimento indeterminado maturam de baixo para cima, diferentemente das demais, que ocorre de cima para baixo (SEDIYAMA et al., 2015; NOGUEIRA et al. 2013). Em contraste, as de crescimento determinados de maturação tardia cessam a atividade vegetativa logo após a indução floral induzida pelo fotoperíodo. Por causa disso, geralmente, têm uma copa mais folheada com um comprimento de tronco principal mais longo.

4.2. Grupo de maturação relativa

A interpretação dos ciclos de soja em precoce, médio e tardio, caiu em desuso, devido a introdução de novas cultivares por empresas privadas no Brasil, que teve sua taxonomia atualizada em conformidade com evidências traçadas por estudos desenvolvidos nos Estados Unidos (POEHLMAN, 1987). Alliprandini et al., (2009) citam que a classificação em ciclos conseguiu descrever de forma adequada apenas a maturidade em um local, porém, não foi precisa para descrever a maturidade relativa sobre uma faixa de ambientes e latitudes que ocorrem nas áreas produtoras de soja no Brasil.

Essa nova estratégia de classificação, conhecida por Maturidade Relativa, é baseada em 12 grupos, os quais contemplam genótipos de acordo com o tempo em dias que se passa entre a semeadura e a maturação fisiológica. Essa definição levou em conta o comportamento das plantas sob diferentes latitudes e condições ambientais no território nacional (ALLIPRANDINI et al., 1994; PENARIOL, 2000; ALLIPRANDINI et al.,

2009; CAVASSIM et al., 2013; SEYDIAMA, 2015). A Figura 1.2 representa a classificação mencionada.

Figura 1.2. Distribuição dos grupos de maturidade relativa de cultivares de soja no Brasil, em função da latitude.



Fonte: Adaptado de ALLPRANDINI et al. (2009).

5. Ecofisiologia da soja

Dias (2018) define ecofisiologia como o estudo das relações entre as plantas e o ambiente, ou seja, a influência dos fatores edáficos e meteorológicos sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas. A planta de soja apresenta variabilidade genética, tanto no ciclo vegetativo (período compreendido da emergência da plântula até a abertura das primeiras flores), como no reprodutivo (período do início da floração até o fim do ciclo da cultura), sendo também influenciada pelo meio ambiente (BORÉM, 2009).

Conforme Zanon et al. (2018), os fatores abióticos: radiação solar, fotoperíodo e temperatura média do ar, regem o crescimento das plantas, a duração das fases de desenvolvimento e a produtividade de grãos. A planta de soja é considerada uma planta de dia curto, ou seja, a diminuição das horas de luz induz a transformação dos meristemas vegetativos (hastes e folhas) em reprodutivos (primórdios florais) (JIANG et al., 2011; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Os altos resultados de produtividade da soja no Brasil ao longo dos anos só foram possíveis devido a estudos baseados na interação de genótipos aos fatores ambientais e edáficos. Quando se analisa a adaptação dos genótipos de soja às condições de cultivo, a premissa de maior importância é otimizar a produtividade da cultura, fazendo coincidir

suas fases fenológicas críticas com as condições ambientais mais favoráveis, minimizando a ocorrência de períodos de estresse nas fases mais vulneráveis (KANTOLIC, 2008; DIAS, 2018).

6. Necessidade hídrica da soja

A necessidade de água das plantas varia em função da espécie, solo e condições climáticas durante a estação de crescimento. Conforme Doorenbos e Kassam (1979), a evapotranspiração da cultura (ET_c) estimada para a produção máxima da soja está entre 450 mm e 700 mm e depende da duração do período de cultivo, cultivar, condições do solo e clima.

Estudos sobre o planejamento da irrigação para a soja demonstraram diferentes estádios críticos em relação à disponibilidade hídrica, os períodos mais sensíveis à deficiência hídrica são: da germinação a emergência, fase vegetativa e do florescimento ao enchimento de grãos (FARIAS et al., 2009).

6.1. Germinação-emergência

Conforme a EMBRAPA (2011) o déficit ou o excesso hídrico durante esse período afeta a população das plantas. O manejo da irrigação em condições médias de evapotranspiração que são de cerca de 5 a 6 mm dia⁻¹ para a cultura da soja, deve repor a água a tal nível para não comprometer a formação do estande de plantas.

As sementes necessitam absorver, no mínimo, 50% de seu peso em água para assegurar uma boa germinação. Nesta fase, o conteúdo de água no solo não deve exceder 85% do total de água disponível, nem ser inferior a 50%.

6.2. Fase vegetativa

Observa-se na Tabela 1.3, que no período vegetativo, há um aumento significativo na necessidade de água pelas plantas, que em média a depender da região, está na ordem de 5 a 6 mm dia⁻¹, tendo em vista a evapotranspiração e o desenvolvimento da área foliar. O déficit hídrico nesse estágio reduz a altura das plantas, diminui o número de nós, comprimento dos entrenós e o tamanho das folhas. Entretanto, o excesso de água no solo durante o início da fase vegetativa pode ocasionar acamamento, resultando em queda de produtividade (BONATO, 2000).

Tabela 1.3. Demanda hídrica da soja em função dos estádios de desenvolvimento.

Período de cultivo	Coeficiente de cultivo (Kc)
Semeadura-Emergência	0,30 a 0,40
Emergência-Início do Florescimento	0,70 a 0,93
Início do Florescimento-Surgimento das vagens	1,10 a 1,23
Surgimento das vagens-50% das folhas amarelas	0,70 a 1,10
50% das folhas amarelas- Maturação	0,40 a 0,62

Fonte: Adaptado de Doorenbos e Kassam (1979).

6.3. Floração-Enchimento de vagens

É durante a Floração-Enchimento de grãos que a soja atinge a máxima necessidade de água, na ordem de 7 a 8 mm dia⁻¹, decrescendo após esse período (Tabela 1.3). O déficit hídrico expressivo, provoca alterações fisiológicas das plantas, como a diminuição da fotossíntese líquida (em consequência do fechamento estomático), há também o enrolamento das folhas e abortamentos de vagens, prejudicando o rendimento de grãos (EMBRAPA, 2011; SEDIYAMA, 2015).

7. Déficit hídrico

Estresse biológico é qualquer mudança nas condições ambientais que atuam no organismo, produzindo alterações no metabolismo, ou redução no normal crescimento ou desenvolvimento do vegetal. Dessa forma estresse biológico (causa) é um fator externo que atua sobre um organismo. Já o efeito é a redução ou mudança de função, ou seja, é qualquer alteração física ou química produzida pelo estresse (LOPES; LIMA, 2015).

Em agricultura, particularmente no âmbito agrônomo e fisiológico, define-se seca como o déficit hídrico que prejudica o crescimento e a produção das plantas comparado com o suprimento de água requerido para o ótimo ou máximo crescimento (TAIZ; ZEIGER, 2013; LOPES; LIMA, 2015).

Farias (2009) cita que os estresses abióticos podem reduzir significativamente o rendimento das lavouras, restringindo as latitudes e os solos onde espécies, comercialmente, importantes podem ser cultivadas. A água é considerada por muitos autores como o mais importante recurso ambiental, para a produtividade da soja (SENTELHAS, et al., 2015; BATISTTI, et al., 2018; ZANON et al., 2018).

De acordo com Allen et al. (1998), a ETc é um importante componente meteorológico da relação solo, planta, água e atmosfera, pois o padrão de água utilizado

pela cultura é diretamente relacionado ao desenvolvimento de estresses nas plantas. Portanto, conhecer a ET_c em diversos climas é de extrema importância, para o manejo de irrigação.

À medida que o solo seca, aumenta a resistência ao fluxo de água dele para a rizosfera, alargando o gradiente de potencial hídrico (Ψ_w) entre o solo e o sistema radicular; isso faz com que as raízes não mantenham o suprimento adequado de água para a cultura. Sem a reposição de água no solo por chuva ou irrigação, as plantas sofrerão danos irreparáveis, haverá a redução do crescimento de raízes, decaimento da demanda transpiratória por intermédio da área foliar e do fechamento dos estômatos (LOPES; LIMA, 2015).

Conforme Taiz e Zeiger (2013), o déficit hídrico pode variar a magnitude, desde um pequeno decréscimo no Ψ_w ou murcha no meio do dia, observada frequentemente com tempo ensolarado e quente de verão, até um ponto de murcha permanente (PMP) e morte por dessecação, em que cerca de 97% da água captada pelas plantas é perdida para a atmosfera (principalmente pela transpiração).

Lyra et al. (2010) adaptaram o balanço hídrico proposto Thorntwaite e Mather (1955), para culturas agrícolas, considerando a Capacidade de Armazenamento de Água Disponível (CAD), a Água Facilmente Disponível (AFD) e o Armazenamento de água no solo (ARM) ao longo do ciclo das culturas. Conforme os autores a CAD é a parte do total de água armazenada no solo que as plantas conseguem absorver, essa é definida pela diferença entre os valores de base úmida do solo (θ , $m^3 m^{-3}$) na capacidade de campo (CC) e PMP multiplicada pela profundidade do sistema radicular das plantas (z), que varia conforme o crescimento das plantas.

A AFD representa a fração da água absorvida, é estimada pela CAD multiplicada por um fator de depleção (f). O ARM representa a dinâmica do conteúdo de água no perfil do solo durante o cultivo, que pode representar um nível de estresse quando está abaixo da AFD.

Pesquisas em âmbito mundial apontam que a formação da vagem é a fase mais sensível ao déficit hídrico na cultura da soja, havendo perdas significativas de rendimento quando o estresse de umidade do solo se inicia no estágio de formação da vagem (R3-R4) e no estágio de enchimento de grãos (R5-R6) (KORTE et al., 1983; BROWN et al., 1985; WIJEWARDANA et al., 2018).

Porém, há trabalhos que comprovam que redução das irrigações durante fases vegetativas pode resultar em rendimentos tão altos quanto aqueles obtidos se a cultura for

irrigada durante toda a estação de cultivo, essa prática permite o estresse durante períodos de crescimento vegetativo, mas as lâminas de irrigação aplicadas reduzem o déficit hídrico em períodos críticos, principalmente no enchimento de grãos (GAVA, et al., 2015; MONTROYA, et al., 2017; GAJIC, et., 2018).

8. A irrigação na cultura da soja

De acordo com Bernardo et al. (2019), a irrigação é uma prática agrícola de grande importância para aumentar o rendimento dos cultivos, principalmente em regiões que apresentam irregularidades na distribuição das chuvas, uma vez que complementa a disponibilidade de água no solo a um teor de umidade suficiente para suprir as necessidades das plantas.

Procópio et al. (2018), citam que o cultivo da soja em Alagoas é predominante no período chuvoso, entre os meses de maio a setembro, em uma safra de outono/inverno, onde existem condições de disponibilidade hídrica. No entanto, verifica-se que os índices produtivos de soja ainda são inferiores, comparando a média do nordeste de 3,36 t ha⁻¹, com a alagoana que é de 2,50 t ha⁻¹ (CONAB, 2020).

Souza et al. (2004), avaliaram a precipitação pluvial e a temperatura do ar na região dos Tabuleiros Costeiros, no período de 1972 a 2001, e verificaram que o período chuvoso da região se inicia na primeira quinzena de abril e se estende até a segunda quinzena de agosto, correspondendo a 70% das chuvas anuais. Todavia, de acordo com os autores apesar da média de precipitação ser de 1.800 mm há uma grande variação interanual das precipitações pluviais.

Já Carvalho et al. (2013), avaliaram a probabilidade de ocorrências de períodos secos (≥ 5 dias, ≥ 7 dias e ≥ 10 dias), no período de 1973 a 2008 nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, e verificaram variações entre as estações seca e chuvosa da região. Para o período seco a probabilidade de 5 dias sem chuva foi a mais frequente (5 a 85%) durante os anos da série de estudo. Na estação chuvosa, a probabilidade de ocorrência de períodos secos maiores que 7 dias variou de 0 a 45% e para 10 dias, 0 a 5%.

Teodoro et al. (2017), avaliaram onze safras para a cultura da cana-de-açúcar em Alagoas e estimaram média de 1.688,0 mm de chuva, e apesar desse total atender a demanda hídrica da cultura, houve uma média de 593,0 mm de deficiência hídrica. Os maiores períodos de seca ocorreram nas safras 2012/2013 e 2015/2016, com déficit hídrico de 702,0 e 729,0 mm, respectivamente.

Conforme a ABIOVE (2020), há uma grande demanda por soja no mercado interno e externo, porém, o rendimento dos cultivos aparece como um grande desafio nos próximos anos, essa preocupação é evidenciada pelo fato de que as projeções da produtividade mostram uma relativa estagnação, cuja média nacional fica em torno de 3,3 toneladas por hectare.

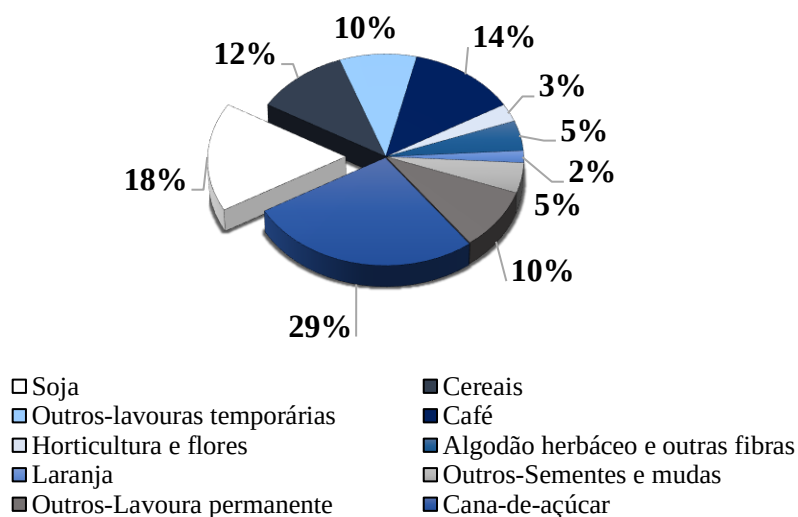
Sentelhas et al. (2015), avaliaram as lacunas de produtividade da soja usando rendimentos potenciais e atingíveis, estimados por um modelo de simulação, em 15 localidades do Brasil. Conforme os autores a maior parte da lacuna de produtividade são causados pelo déficit hídrico, seguido por um manejo de cultura abaixo do ideal. Para os autores, uma possível solução para reduzir as atuais lacunas de produtividade da soja seria o uso de irrigação, rotação de culturas e agricultura de precisão.

A prática de irrigação pode gerar inúmeros benefícios, tais como o aumento de produtividade na ordem de 2 a 3 vezes em relação à agricultura de sequeiro, redução do custo unitário de produção, e condicionar várias safras ao ano (BERNARDO et al., 2019).

Conforme estimativas da FAO (2012), em âmbito mundial o Brasil possui a nona maior área irrigada, ficando atrás de países como: Indonésia, Irã, Paquistão, EUA, Índia e China, no entanto, é considerada pequena em relação a sua área agrícola total e disponibilidade de recursos hídricos.

De acordo com dados da ANA (2014), a irrigação brasileira tem crescido a taxa anuais de 4,4% e 7,3%, estima-se que no ano de 2014 existiam aproximadamente 6,1 milhões de hectares sob irrigação no Brasil. Observa-se na Figura 1.3, que o uso da irrigação para a cultura da soja é crescente, sobretudo pelo método de aspersão por pivô central, que em 2006, com 161,9 mil hectares (18% do total de áreas irrigadas por pivô), já era a segunda maior área irrigada por pivô central no Brasil, ficando atrás apenas da cana-de-açúcar.

Figura 1.3. Proporção da área irrigada por pivô central, por grupos e classes de atividades agrícolas no Brasil.



Fonte: ANA (2016).

No atual cenário da produção agrícola dentro do contexto da sustentabilidade, há uma pressão em aumentar a produtividade em áreas já existentes, o que torna necessário o investimento em tecnologias. Dessa forma, a associação entre a irrigação e o uso de cultivares selecionadas ou melhoradas geneticamente pode aumentar os índices de produção da soja (GAVA et al., 2015).

Na agricultura irrigada o conceito de produtividade da água (PA) na cultura da soja é discutido por vários autores (SINCIK et al., (2008); GARCIA; GARCIA et al., 2010; DEMIRTAS et al., 2010; WIJEWARDANA et al., 2018; MONTOYA et al., 2017; GAJIC et al., 2018), e conforme Cunha et al. (2014), ele representa a quantidade de grãos produzida por unidade de área cultivada por unidade de água usada, expressa em kg de grãos $\text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$. Logo, quanto maior a PA de uma cultivar de soja, maior é a sua capacidade de converter a lâmina de água aplicada ao longo de seu ciclo em grãos. De maneira geral, pesquisa confirmam que a produtividade de água é maior sob irrigação, com valores de PA entre 0,47 a 1,15 kg m^{-3} (GAJIC et al. 2018; MONTOYA et al. 2017; GARCIA y GARCIA et al. 2010). Em condições de sequeiro, verificam-se valores de PA entre 0,41 e 0,83 kg m^{-3} (ALFONSO et al. 2020; DEMIRTAS et al. 2010).

9. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

ANA-AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil-2014. **Brasília: ANA**, 2016.32 p.

AGROSTAT - Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro. Disponível em <http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>. Acesso em 14/11/2020.

ALLIPRANDINI, L. F. et al. Effects of genotype- environment interaction on soybean yield in the Paraná state. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, p. 1433-1444, 1994.

ALLIPRANDINI, L. F. et al. Understanding soybean maturity groups in brazil: environment, cultivar classification, and stability. **Crop Science**, v. 49, p. 801-808, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2008.07.0390>>.

ABIOVE.ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS PRODUTORAS DE ÓLEOS VEGERAIS. Disponível em <https://abiove.org.br/estatisticas/> Acesso em 14/11/2020.

BARROS, A. H. C. Climatologia do Estado de Alagoas. Recife: Embrapa Solos, 2012. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/103956/1/BPD-211-Climatologia-Alagoas.pdf>>. Acesso em: 01 de agosto de 2021.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C.; BOOTE, K. J. Sensitivity and requirement of improvements of four soybean crop. **International Journal of Biometeorology**. v.62, páginas 823–832, 2018.

BONATO, E. R. Estresse em soja. Passo fundo, **Embrapa Trigo**, 2000. 245 p.

BONATO, Emídio Rizzo. BONATO, Ana Lúcia Variani. **A soja no Brasil: história e estatística**. Londrina, EMBRAPA-CNPSO, 1987. 61p. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 21). Disponível: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/446431/1/Doc21.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2021.

BONETTI, L. P. Distribuição da soja no mundo. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. A soja no Brasil. **Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos**, 1977. p. 1-6.

BORÉM, A. Hibridação artificial em plantas. 2. ed. Viçosa. Ed. UFV, 2009. p. 514-536.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; DA SILVA, D. D. S., A. A.; Manual de Irrigação, 9ª Edição - Viçosa, MG: **Ed. UFV**, 2019, 545 p.

CÂMARA, G. M. de SOUSA. INTRODUÇÃO AO AGRONEGÓCIO SOJA. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5746644/mod_resource/content/1/LPV%200584%202017%20%20REVISA0%20Soja%20Apostila%20Agronegocio%20%282%29.pdf. Acesso em 04/11/2020.

CÂMARA, G. M. S. Fenologia é ferramenta auxiliar de técnicas de produção. **VISÃO AGRÍCOLA** Nº 5 JAN | JUN 2006.

CAMPOS, Margarida Cassia. Modernização da agricultura, expansão da soja no Brasil e as transformações socioespaciais no Paraná. **Revista Geografar**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 161-191, jun. 2011. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/geografar/article/view/21808/14203>. Acesso em: 23 mar. 2021.

CARVALHO A. L.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; PORFIRIO, A. C. S. Ocorrência de períodos secos na região de Rio Largo, Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.2, 173 - 180, 2013.

CAVASSIM, J. E. et al. Stability of soybean genotypes and their classification into relative maturity groups in Brazil. **American Journal of Plant Sciences**, v. 4, p. 2060-2069, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2013.411258>.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra 2019/2020**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em 06/06/2021.

CONTINI, Elisio; GAZZONI, Décio; ARAGÃO, Adalberto; MOTA, Mierson; MARRA, Renner. Complexo soja: caracterização e desafios tecnológicos. In: DF. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Série desafios do agronegócio brasileiro (NT1)**. Brasília. 2018. p. 1-35. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/0/COMPLEXO+SOJA+->

+Caracteriza%C3%A7%C3%A3o+e+Desafios+Tecnol%C3%B3gicos/709e1453-e409-4ef7-374c-4743ab3bdcd6. Acesso em: 23 mar. 2021.

CUNHA, G. R., SANTI, A., PASINATO, A., DALMAGO, G. A., PIRES, J. L. F., GOUVEA, J. A. Gestão da produtividade da água em agricultura: o desafio de elevar o rendimento dos cultivos em ambientes com restrição hídrica. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 24, n. 144, p. 27-31, nov./dez. 2014.

DEMIRTAS, C.; YAZGAN, S.; CANDOĞAN, B. N.; SINCIK, M.; BUYUKCANGAZ H.; GOKSOY, A.T. Qualidade e resposta da produtividade da soja (*Glycine max* L. Merrill) ao estresse hídrico em ambiente subúmido. **Afr. J. Biotechnol.**, 9 pp. 6873 – 6881, 2010.

DIAS, J. P. T. Ecofisiologia de culturas agrícola. Belo Horizonte: **Ed. UEMG**, 169 p.2018.

DOORENBOS I.; KASSAM, A.H. Resposta de rendimento à água. Artigo de irrigação e drenagem da FAO Nº 33, **FAO**, Roma, 1979.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **História da soja**. Disponível em: /www.embrapa.br/en/soja/cultivos/soja1/historia. Acesso em 14/11/2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Tecnologias de produção de soja**: região central do Brasil – 2004. - Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Agropecuária Oeste: Embrapa Cerrados: EPAMIG: Fundação Triângulo, 2003. 237p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54358/1/Sistemas-de-Producao-4.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2021.

ESPÍNDOLA, Carlos José; CUNHA, Roberto César Costa. A dinâmica geoeconômica recente da cadeia produtiva da soja no Brasil e no mundo. **Geotextos**, Salvador, v. 11, n. 1, p. 217-238, jun. 2015. Disponível em: <https://cienciasmedicasbiologicas.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/12692/9733>. Acesso em: 23 mar. 2021.

EVANS, L.T. Evolução, adaptação e rendimento das culturas. **Cambridge Univ. Press**, Cambridge, UK, 1993.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. Physiology of crop production. New York: **The Haworth Press Inc**, 1984. 345p.

FAO. **Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil**: Identificação de Áreas Prioritárias / Editores: José Roberto Borghetti, Washington L. C. Silva, Helder Rafael Nocko, Luís Nicolas Loyola, Gustavo Kauark Chianca – Brasília, 2017.243 p.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2011). The state of the world's land and water resources for food and agriculture. **Managing system at risk**. New York.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). **World Land and Water prospects**. Rome: Land and Water Development Division.

FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Soja. In: MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos Cultivos**: O fator meteorológico na produção agrícola. 1. ed. Brasília: **INMET**, p.263-277, 2009.

GAJIĆ, B.; KRESOVIĆ, B.; TAPANAROVA, A.; ŽIVOTIĆ, L.; TODOROVIĆ, M. Effect of irrigation regime on yield, harvest index and water productivity of soybean grown under different precipitation conditions in a temperate environment. **Agricultural Water Management**, v. 210, n. August, p. 224–231, 2018.

GARCIA Y GARCIA, A.; PERSSON, T.; GUERRA, L. C.; HOOGENBOOM, G. Response of soybean genotypes to different irrigation regimes in a humid region of the southeastern USA. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 7, p. 981–987, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2010.01.030>>.

GAVA, R. FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; JOSE, J. V.; FRAGA JUNIOR, E. F.; PERBONI. Estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. **Rev. Bras. Agric. Irr.** v. 9, nº.6, Fortaleza, p.349 - 359, Nov - Dez, 2015.

GAZZONI, Decio Luiz. DALL'AGNOL, Amélio. **A saga da soja: de 1050 a.C. a 2050 d.C.** – Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1093166/1/ID-38839-Livro-Saga-da-Soja-versao-web.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2021.

JIANG, Y. et al. Long-day effects on the terminal inflorescence development of a photoperiod-sensitive soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) variety. **Plant Science**, v. 180, p. 504-510, 2011.

JUDD, W. S.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGG, E. A.; DONOGHUE, M. J. Sistemática vegetal, um enfoque filogenético. 3. ed. Porto alegre: **Artmed**, 2009.632 p.

KANTOLIC, A. G., MERCAU, J. L., SLAFER, G. A., & SADRAS, V. O. (2007). Simulated yield advantages of extending post-flowering development at the expense of a shorter pre-flowering development in soybean. **Field Crops Research**, 101, 321-330. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2006.12.008>

KIIHL, R. A. S., ALMEIDA, L. A. & DALL'AGNOL, A. Strategies for cultivar development in the tropics. In: World Soybean Research Conference III. Proceedings. **Ames, IL, USA**.1985. p. 301-304.

LYRA, G. B., DE SOUZA, J. L., TEODORO, I., LYRA, G. B., MOURA FILHO, G., & JÚNIOR, R. F. A. Conteúdo de água no solo em cultivo de milho sem e com cobertura morta na entrelinha na região de Arapiraca-AL. **Irriga**, 15(2), 173-183, 2010.

LEE, J. S.; HYMOWITZ, T. A molecular phygenetic study of the subtribe Glycininae (Leguminosae) derived from the chloroplast DNA *rps 16 intron* sequences. **American Journal Botany**, v. 88, p.2064-2073, 2001.

LAWLOR, D. W. Genetic engineering to improve plant performance under drought: physiological evaluation of achievements, limitations, and possibilities. **Journal of Experimental Botany**, v.64, n.1, p. 83-108, 2013.

MANDARINO, J. M. G. Origem e história da soja no Brasil. **Canal rural**. Disponível em: <https://blogs.canalrural.com.br/embrapasoja/2017/04/05/origem-e-historia-da-soja-no-brasil/#:~:text=A%20primeira%20refer%C3%Aancia%20sobre%20soja,relato%20de%20Gustavo%20D'utra.&text=Entretanto%2C%20oficialmente%2C%20a%20cultura%20foi,comerciais%20a%20partir%20de%201924>. Acesso em 14/11/2020.

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABSTECIMENTO Disponível em http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php?txt_ordem=&cod_especie=2746&txt_nome_comum=soja&first=G&postado=1&acao=pesquisar Acesso em 10/11/2020.

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

MONTOYA, F., GARCÍA, C., PINTOS, F., OTERO, A. Effects of irrigation regime on the growth and yield of irrigated soybean in temperate humid climatic conditions. **Agric. Water Manag.** 193, 30–45, 2017.

MÜLLER, L. Taxonomia e morfologia. In; MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. (Ed.). A soja no Brasil. 1 ED.[S.l.]: **Instituto de tecnologia de alimentos**, 1981. p.65-104.

NOTÍCIAS

AGRÍCOLAS.

<https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/soja/185058-embrapa-aponta-alagoas-com-potencial-para-producao-de-soja>. Verificado em novembro de 2020.

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

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

PROCÓPIO, S. de O.; CRUZ, M. A. S.; ALMEIDA, M. R. de; NOGUEIRA JUNIOR, L. R.; JESUS JÚNIOR, L. A. de; SANTOS, N. S. dos. SEALBA: região de alto potencial agrícola do Nordeste. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016. 37p. (**Embrapa Tabuleiros Costeiros. Nota Técnica**).

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

SENTELHAS, P.C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G.M.S, FARIAS, J.R.B.; HAMPF, A.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil—magnitude, causes and possible solutions for a sustainable production, **J. Agric. Sci**, 2015, 153, 08, 1394, 1411, 10.1017/S0021859615000313

SETIYONO, T. D., WEISS, A., SPECHT, J. E., BASTIDAS, A. M., CASSMAN, K. G., & DOBERMANN, A. (2007). Understanding and modeling the effect of temperature and daylength on soybean phenology under high-yield conditions. **Field Crops Research**, 100, 257-271. [http:// dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2006.07.011](http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2006.07.011).

SETIYONO, T. D. et al. Nodal leaf area distribution in soybean plants grown in high yield environments. **Agronomy Journal**, v. 103, p. 1198-1205, 2011. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2011.0051>.

SIEBEN, A., MACHADO, C. A.. HISTÓRICO E CONTEXTUALIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA E AMBIENTAL DA SOJA (GLYCINE MAX) NO BRASIL. **Geoambiente On-Line**: Revista Eletrônica do Curso de Geografia do Campus Jataí - UFG, Jataí, n. 7, p. 71-88, 2006. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/25917/14887>. Acesso em: 20 mar. 2021.

SINCLAIR, T. R., et. al. Comparison of vegetative development in soybean cultivars for low latitude environments. **Field Crops Research**, v. 92, p. 53-59, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2004.08.008>.

SINCIK, M., CANDOĞAN, B.N., DEMIRTAS, C., BUYUCANGAZ, H., YAZGAN, S., GOKSOY, A.T. Deficit irrigation of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] in a sub-humid climate. **J. Agron. Crop Sci.** 194, 200–205, 2008.

TAGLIAPIETRA, E. L.; STRECK, N. A.; ROCHA, T. S. M.; RICHTER, G. L.; SILVA, M. R.; CERA, J. C.; GUEDES, J. V. C.; ZANON, A. J. Optimum leaf area index to reach soybean yield potential in subtropical environment. **Agronomy Journal**, v. 110, p. 932-938, 2018.

TEODORO, I. et al. Análise Agrometeorológica de Safras de Cana-de-açúcar no Estado de Alagoas. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.36, p. 38-41, 2017.

TIAN, Z., WANG, X., LEE, R., LI, Y., SPECHT, J. E. , NELSON, R. L. , MCCLEAN, P.E. , QIU, L., MA, J. Artificial selection for determinate growth habit in soybean. **Proceedings of the National Academy Sciences**. v. 107, p. 8563-8568, 2010.

UNITED SOYBEAN BORD. **The soybean composition**. <https://www.unitedsoybean.org/>. Verificado em 20/08/2019.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **A produção mundial de soja na safra 2019/2020**. Disponível em: <<http://www.usdabrazil.org.br/home/>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

VIVIANE, T. CONTE, L.; CHRISTOFOLONI, G.; SPERANZA, M. Sero-systemic and taximetrics studies on the Phaseoleae (Fabaceae) and related tribes. **Botanical Journal of the Linnean Society**. V.105, p. 113-136, 1991.

WARNKEN, Phil. O futuro da soja no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, n. 02, p. 54-65, abr. 2000. Disponível em:

<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/663/617>. Acesso em: 23 mar. 2021.

WIJEWARDANA, C., REDDY, K. R., ALSAJRI, F. A., J. IRBY, T., KRUTZ, J., GOLDEN, B. Quantifying soil moisture deficit effects on soybean yield and yield component distribution patterns. **Irrigation Science**, v. 36, n. 4–5, p. 241–255, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00271-018-0580-1>>.

WILHELM, W. W.; McMASTER, G. S. Importance of the phyllochron in studying development and growth in grasses. **Crop Science**, Madison, v. 35, p. 1-3, 1995.

ZANON, A. J.; WINCK, J. E. M.; STRECK, N. A.; ROCHA, T. S. M.; CERA, J. C.; RICHTER, G. L.; LAGO, I.; SANTOS, P. M.; MACIEL, L. 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. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 4, p.400-411, 2015. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0043>

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, n.4, p.446-458, 2016.

ZANON, A. J. et al. **Ecofisiologia da soja**: visando altas produtividades. 1.ed. Santa Maria: Ed. GR, 2018. 136 .

CAPÍTULO II

MANEJO HÍDRICO DE CULTIVARES DE SOJA NOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS

Resumo: A escolha da cultivar e o uso da irrigação são fatores relevantes para o estabelecimento de cultivos de soja em novas regiões agrícolas. Sendo assim, objetivou-se com este estudo avaliar o balanço de água do solo e os componentes de produção de cultivares de soja, em dois ciclos de cultivo, o primeiro com irrigação suplementar (14/11/18 a 03/04/2019) e o segundo sob condições de sequeiro (20/06/2019 a 28/10/2019) em Rio Largo, Alagoas. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 5 repetições e 6 cultivares de soja (M 6210, M 6410, BMX-Potência, AS 3730, M 8349 e BRS-9383), com diferentes hábitos de crescimento e grupos de maturação. As variáveis analisadas foram: Altura de Inserção da Primeira Vagem (AIPV, cm), Número de Vagens por Planta (NVP, Unid.), Massa de Mil Grãos (MMG, g), Índice de Colheita (IC), Produtividade de Água (PA, kg m^{-3}) e Rendimento de Grãos (RG, kg ha^{-1}). O regime hídrico influenciou significativamente as cultivares de soja, com bons rendimentos sob irrigação, exceto para a cultivar BRS-9383. A evapotranspiração da cultura no experimento irrigado foi de 589 mm, e em sequeiro foi de 422 mm. O desempenho das cultivares de soja em sequeiro foi menor quando comparados ao irrigado, uma vez que as baixas precipitações, deixaram as plantas em condições de estresse. A AIPV máxima foi de 19,30 cm (M 8349). O NVP máximo de 118,0 Unid. (BRS-9383). A MMG máxima de 207,23 g (M 8349). O IC máximo foi de 45,0 (BMX-Potência). A PA máxima de $1,30 \text{ kg m}^{-3}$ (AS 3730) e o RG máximo de 6.180 kg ha^{-1} (AS 3730). Em sequeiro, o valor máximo de AIPV foi de 16,80 cm (M 8349), NVP máximo de 72 Unid. MMG de 176 g (AS 3730), IC máximo de 52 (M 6410), PA de $0,86 \text{ kg m}^{-3}$ (M 6410) e o RG máximo de 3.600 kg ha^{-1} (M 6410). Desse modo, a irrigação aumenta produtividade das cultivares de soja na região nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas

Palavras-chave: genótipos, grãos, *Glycine max.*, irrigação.

CHAPTER II

WATER MANAGEMENT IN SOYBEAN CULTIVARS ON THE COASTAL TABLELANDS OF ALAGOAS

Abstract: The choice of cultivar and the use of irrigation are important factors in establishing soya crops in new agricultural regions. The aim of this study, therefore, was to evaluate the soil water balance and the production components of soya cultivars over two crop cycles, the first with supplementary irrigation (14/11/18 to 03/04/19), and the second under rainfed conditions (20/06/19 to 28/10/19) in Rio Largo, in the state of Alagoas. The experimental design was of randomised blocks with five replications and six soya cultivars (M 6210, M 6410, BMX-Potência, AS 3730, M 8349 and BRS-9383), of different growth habits and maturity groups. The variables under analysis were the height of the first pod insertion (HFPI, cm), number of pods per plant (NPP, unit), 1000-grain weight (TGW, g), harvest index (HI), water productivity (WP, kg m⁻³) and grain yield (GY, kg ha⁻¹). The water regime had a significant influence on the soy cultivars, with good yields when irrigated, except for the BRS-9383 cultivar. Crop evapotranspiration was 589 mm in the irrigated experiment and 422 mm in the rainfed experiment. The performance of the rainfed soya cultivars was poorer compared to the irrigated cultivars since the low rainfall left the plants under stress. The maximum HFPI was 19.30 cm (M 8349), with a maximum NPP of 118.0 units (BRS-9383), maximum TGW of 207.23 g (M 8349), maximum HI of 45.0 (BMX-Potência), maximum WP of 1.30 kg m⁻³ (AS 3730), and maximum GY of 6,180 kg ha⁻¹ (AS 3730). In the rainfed experiment, the maximum value for HFPI was 16.80 cm (M 8349), with a maximum NPP of 72 units, TGW of 176 g (AS 3730), maximum CI of 52 (M 6410), PA of 0.86 kg m⁻³ (M 6410), and maximum GY of 3,600 kg ha⁻¹ (M 6410). Irrigation, therefore, increases the productivity of soya cultivars on the Coastal Tablelands of Alagoas.

Keywords: genotypes, grain, *Glycine max.*, irrigation.

10.1. INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é a principal *commodity* do agronegócio brasileiro. Com aproximadamente 35,87 milhões de hectares cultivados, a produção anual dessa oleaginosa para a safra de 2019/2020 foi de 124,0 milhões de toneladas (t) e produtividade média de 3.379 kg ha⁻¹ (CONAB, 2020). Em Alagoas, a sojicultura tem ganhado espaço em relação a outros cultivos, com uma produção de 5,5 mil t, em 2,2 mil hectares e produtividade média de 2.500 kg ha⁻¹ (CONAB, 2019).

Os Tabuleiros Costeiros de Alagoas integram a região do SEALBA (Sergipe, Alagoas e nordeste da Bahia) uma nova fronteira agrícola para o cultivo de grãos no Nordeste brasileiro (NEB). Todavia, por não ser uma região tradicional no cultivo de soja, ainda apresenta baixos índices de produção em relação a outras regiões produtoras do NEB (SANTIAGO et al., 2019; PROCÓPIO et al., 2018).

A cultura da soja surge como uma importante alternativa para a diversificação de culturas agrícolas, principalmente para ocupar áreas anteriormente cultivadas com cana-de-açúcar. Entretanto, o conhecimento acerca do manejo hídrico, e cultivares melhoradas para as condições edafoclimáticas de Alagoas, são carentes na região, o que os torna fatores limitantes para seu estabelecimento (SANTIAGO et al., 2019; CRUZ et al., 2009).

Os agricultores da região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas cultivam grãos em condições de sequeiro, no início da estação chuvosa, entre os meses de maio a setembro em uma safra de outono/inverno, o que os diferenciam de outras regiões produtoras (PROCÓPIO, et al. 2018; LYRA et al. 2014; SOUZA, et al. 2004).

Conforme Souza et al., (2004), a região tem em média 1.800 mm, com 70% das chuvas concentradas no período de abril a agosto, enquanto 30% se distribuem de outubro a fevereiro. Apesar do índice pluviométrico anual ter uma boa média, verifica-se que há probabilidades de ocorrer veranicos, principalmente dentro da estação chuvosa da região. Devido a essa sazonalidade, as necessidades de água das culturas muitas vezes não são supridas apenas pelas chuvas (CARVALHO et al., 2013; LYRA et al., 2010).

A disponibilidade hídrica é um recurso determinante que justifica os diferentes níveis de produtividade nas regiões produtoras de soja no Brasil. A irrigação é uma prática preponderante para melhorar a produtividade da cultura, principalmente durante a estação de baixas precipitações. As condições meteorológicas durante a fase de crescimento são as principais causas da variabilidade da produção de soja nas safras e regiões, onde o

déficit hídrico pode representar em média 46% da produtividade da cultura (PROCÓPIO et al., 2018; BATTISTI et al., 2018; SENTELHAS et al., 2015).

Pesquisas com competição de cultivares são relevantes para fornecer materiais adaptados às características ambientais de clima e solo de uma localidade específica, o que pode garantir bons índices agronômicos aos sojicultores. Por tanto, objetivou-se com o presente estudo avaliar o balanço de água do solo e os componentes de produção de cultivares de soja, em dois anos de cultivo na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.

10.2. MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área experimental

O solo da área experimental foi caracterizado como Latossolo Amarelo Coeso Argissólico, de textura média/argilosa, com Velocidade de Infiltração Básica de água (VIB) de 52 mm h⁻¹, Capacidade de Água Disponível (CAD, mm) de 58,20 mm e declividade média de 2% de acordo com análise do departamento de Física do solo do CECA/UFAL. A análise química do solo foi utilizada como base para a adubação de plantio (Tabela 2.1).

Tabela 2.1. Características físicas e químicas do solo da área experimental, em Rio Largo, Alagoas.

Características Físicas									
VIB	Densidade Volumétrica	Porosidade total			θ_{CC}	θ_{PMP}	Declividade média		
(mm h ⁻¹)	(Mg m ⁻³)	----- m ³ m ⁻³ -----					(%)		
52	1,52	0,423			0,244	0,148	≤2		
Características Químicas									
*Prof. m	pH H ₂ O	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H + Al	² CTC _t
		-----mg dm ⁻³ -----				-----cmol dm ⁻³ -----			
0 - 0,20	5,5	3	20	10	1,89	1,23	0,09	4,66	3,3
0,2 - 0,40	6,1	4	25	10	2,5	1,89	0	3,12	4,49
Prof. m	CTC _T cmol.dm ⁻³	MO g kg ⁻¹	SB	m	Ca	Mg	K	Na	
			-----%-----						
0 - 0,20	7,87	26,3	41	3	24	15,6	0,6	0,5	
0,2 - 0,40	7,61	29	59	0	32,9	24,8	0,8	0,5	

*Prof. – profundidade, pH – Potencial de hidrogenação, P – fósforo, Mehlich, K – potássio, Na – sódio, Ca – cálcio, Mg – magnésio, Al – alumínio, H+Al – hidrogênio mais alumínio, CTC_t – Capacidade de troca de cátions efetiva, CTC_T – Capacidade de troca de cátions total, MO – Matéria orgânica, SB – soma de bases, m – saturação por alumínio.

Fonte: Autor (2021).

Os experimentos de campo foram conduzidos em dois anos de cultivo, numa área de 0,12 ha, o primeiro sob irrigação suplementar, realizado entre 14/11/2018 a 03/04/19

(140 dias), durante a estação seca; o segundo em sequeiro de 20/06/19 a 28/10/2019 (130 dias) na estação chuvosa da região.

O preparo do solo foi realizado com duas gradagens, posteriormente efetuou-se a abertura dos sulcos para a adubação. A adubação de base seguiu as recomendações do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA, 2008) para a cultura da soja. Foram aplicados 80 e 60 kg ha⁻¹, de superfosfato simples (18% de P₂O₅) e cloreto de potássio (60% de K₂O), respectivamente.

Para o plantio foram utilizadas sementes com tratamento industrial (TSI), inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* para a fixação biológica do nitrogênio (FBN). A semeadura foi realizada manualmente, com espaçamento entre linhas de 0,50 m e a população de plantas variou em função da cultivar e do teste de germinação (BRASIL, 2009).

O controle das plantas invasoras foi realizado com herbicidas em pré-emergência e em pós-emergência. O controle de pragas foi feito com a aplicação de inseticidas. O controle preventivo de doenças foi efetuado com fungicidas (AGROFIT, 2019).

Delineamento e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com cinco repetições e seis tratamentos, sendo esses constituídos de cultivares de soja, de alto potencial produtivo, com diferentes hábitos de crescimento e grupos de maturação: M 6210, M 6410, BMX-Potência, AS 3730, M 8349 e BRS-9383 (Tabela 2.2).

A área experimental foi de 35,0 m de comprimento por 33,0 m de largura, totalizando 1.155 m². Em cada bloco foram fixadas seis parcelas composta por 10 linhas com 5,0 m de comprimento (25,0 m²).

Tabela 2.2. Nome, hábito de crescimento, ciclo e grupo de maturação das cultivares de soja utilizadas no trabalho em Rio Largo, AL.

Cultivar	Hábito de Crescimento	Ciclo	Grupo de maturação
M 6210 IPRO ^(*)	Indeterminado	Precoce	6,2
M 6410 IPRO	Indeterminado	Precoce	6,4
BMX-POTÊNCIA RR	Indeterminado	Semiprecoce	6,7
AS 3730 IPRO	Indeterminado	Superprecoces	7,3
M 8349 IPRO	Determinado	Intermediário	8,3
BRS 9383 IPRO	Determinado	Tardio	9,3

^(*) M-Monsoy; BRS - Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Embrapa Soja); BMX-Brasmax (GDM sementes); AS-Agroeste sementes.
Fonte: Autor (2021).

Dados meteorológicos e manejo de irrigação

A determinação da Evapotranspiração de Referência (ET_0) durante a condução experimental foi calculada pelo método de Penmann-Monteith, parametrizado no boletim FAO-56 (Allen et al., 1998), Equação 1. Os dados meteorológicos foram coletados de uma estação meteorológica automática (Micrologger – CR 1000, Campbell Scientific, Logan, Utah).

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273} U (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (1)$$

Em que: ET_0 : Evapotranspiração de Referência (mm dia^{-1}); R_n : Saldo de radiação diário ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); G : Fluxo total diário de calor do solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); T : Temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$); U_2 : Velocidade do vento média diária à altura de 2 m (m s^{-1}); e_s : Pressão de saturação do vapor médio diário (kPa); e_a : Pressão atual do vapor médio diário (kPa); $(e_s - e_a)$: déficit de saturação de vapor médio diário (kPa); Δ : declividade da curva da pressão do vapor em relação à temperatura ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); γ : coeficiente psicrométrico ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

A irrigação no primeiro experimento, foi realizada pelo método de aspersão, com o espaçamento entre os aspersores de 12,0 x 12,0 m, pressão de serviço de 30 m.c.a, vazão média de $0,50 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$ e intensidade de aplicação de $3,6 \text{ mm h}^{-1}$. As lâminas aplicadas ao longo do experimento, foram registradas pelas leituras em hidrômetros (Tabela 2.3), o manejo de irrigação foi embasado na evapotranspiração da cultura (ET_c), Equação 2.

$$ET_c = ET_0 K_c \quad (2)$$

Em que: ET_0 : Evapotranspiração de Referência (mm dia^{-1}); K_c : coeficiente da cultura de cada fase de desenvolvimento foi considerado os valores de: 1,0, 1,2 e 0,50, respectivamente, para as fases inicial, vegetativo e final, conforme o boletim FAO-56 (Allen et al., 1998).

Tabela 2.3. Cultivares de soja e total de água no experimento irrigado (irrigação + precipitação) e no experimento de sequeiro (precipitação pluvial), em Rio Largo, Alagoas.

Cultivares	M 6210	M 6410	BMX-Potência	AS 3730	M 8349	BRS-9383
IRRIGADO (mm)	601,0	617,0	650,0	617,0	650,0	720,0
SEQUEIRO (mm)	515,0	530,0	531,0	530,0	537,0	547,0

Medidas da umidade do solo

O armazenamento de água no solo (ARM, mm), foi monitorado a partir do balanço hídrico pelo método de Thorntwaite e Mather, 1955, adaptado por Lyra, 2010, para culturas agrícolas. Para isso foi calculada a capacidade de água no solo (CAD, mm), para cada fase da cultura, conforme a Equação 3, desenvolvida em função da profundidade efetiva do sistema radicular (z , m), que varia de 0,1 a 0,4 m, entre a emergência e a fase de senescência, respectivamente (FEHR; CAVINESS, 1977). Os valores de umidade do solo a base úmida na capacidade de campo e ponto de murcha permanente (θ , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) foram determinados por curva de retenção de água no solo.

$$CAD = 1.000(\theta_{cc} - \theta_{pmp})z \quad (3)$$

em que: $\theta_{cc}=0,244 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ umidade na capacidade de campo e $\theta_{pmp}=0,148 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ base umidade em ponto de murcha permanente.

A água facilmente disponível (AFD, mm) foi calculada conforme a Equação 4, que utiliza o fator de disponibilidade hídrica igual a 0,60 (BERNARDO et al., 2019).

$$AFD = CADf \quad (4)$$

em que: f é a disponibilidade hídrica da cultura.

Coleta de dados para os componentes de produção

A colheita foi realizada quando as plantas atingiram a fase de maturação fisiológica (R8), ou seja, com elevada matéria seca de grãos, próximos aos 13% de umidade. Foram avaliados os seguintes componentes de produção: Altura de Inserção da

Primeira Vagem (AIPV, cm), Número de Vagens por Planta (NVP, Unid.), Massa de Mil Grãos (MMG, g), Índice de Colheita (IC), Produtividade de Água (PA, kg m⁻³) e Rendimento de Grãos (RG, kg ha⁻¹).

A AIPV e o NVP foram avaliados em 10 plantas por parcela, escolhidas de forma aleatória, a primeira pela distância entre o coleto da raiz a primeira vagem, o segundo pela contabilização nas plantas. A MMG (g), foi obtida por meio da pesagem de 100 grãos, com oito repetições, e multiplicando a média das oito por 10 (BRASIL, 2009).

A razão entre o RG (kg ha⁻¹) e a Matéria Seca das Plantas (MSP, somatório da massa seca das folhas, ramos e vagens, kg ha⁻¹), determina o IC, conforme a Equação 5.

$$IC = \frac{RG}{MSP} \quad (5)$$

A PA (kg m⁻³), foi estimada de acordo com a Equação 6:

$$PA = \frac{RG}{10 ET_c} \quad (6)$$

em que: RG - Produtividade de grãos (kg ha⁻¹); ET_c total - evapotranspiração total da cultura (mm); o fator 10 destina-se a converter a lâmina de água (mm) em volumes de água aplicado (m³ ha⁻¹).

O RG (kg ha⁻¹) foi calculada a partir da massa seca dos grãos (13% de umidade), coletadas na área útil de 4,0 m² de cada parcela e posteriormente estimado, para um hectare, Equação 7.

$$RG = \left(\frac{M}{C * E} \right) 10.000 \quad (7)$$

Em que: RG - Rendimento de grãos; M - Massa colhida na área amostrada (4,0 m², em kg); C - Comprimento das linhas de plantio na área amostrada (m); E - Espaçamento entre as linhas (m).

Análise estatística

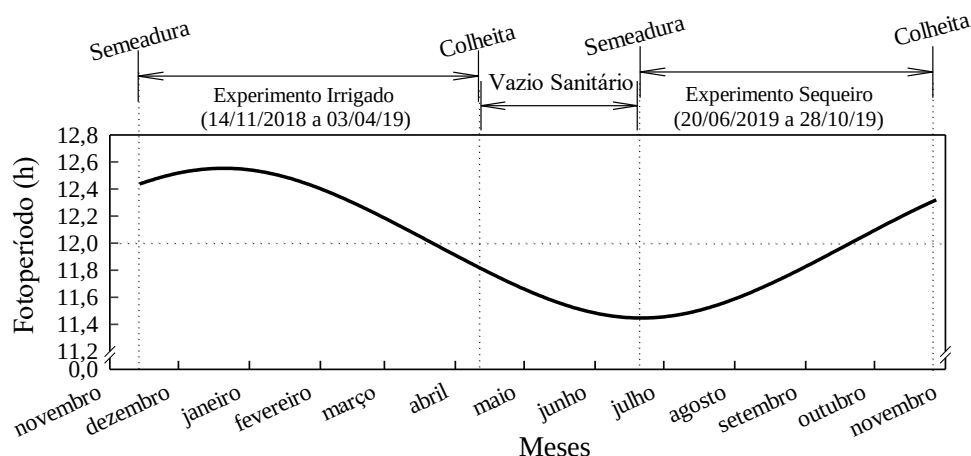
Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e quando houve efeito significativo utilizou-se a análise de agrupamento univariada, conforme o teste de Scott-Knott (1974) ($p \leq 0,05$), para evitar ambiguidades na comparação das médias.

10.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Condições meteorológicas

As condições meteorológicas as quais as cultivares de soja foram expostas variaram entre os experimentos (Figura 2.1 e 2.2). No experimento irrigado, as horas de luz variaram de 11,90 a 12,55 h, com média de 12,35 horas (Figura 2.1). O experimento de sequeiro teve um menor fotoperíodo, com variação de 11,40 a 12,30 h, e média de 11,80 h, o que explica a redução no ciclo das cultivares, principalmente nas de menor GM e hábito crescimento indeterminado.

Figura 2.1. Fotoperíodo, durante dois ciclos de cultivo de soja, sob irrigação no período de 14 de novembro de 2018 a 03 de abril 2019, e em sequeiro de 20 de junho de 2019 a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.



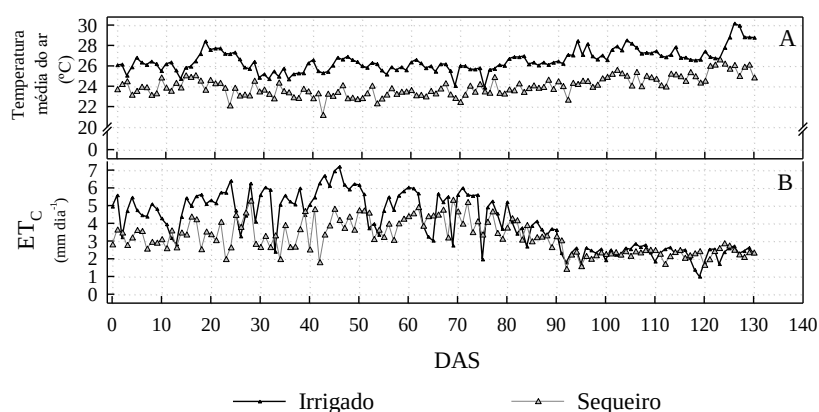
Durante o experimento irrigado a temperatura média do ar (26,50 °C) foi superior à observada do experimento de sequeiro. A temperatura máxima média do ar, registrada nesse ciclo foi de 30,2 °C aos 126 dias após o semeio (DAS) (20/03/2019), e a mínima de 23,9 °C aos 75 DAS (28/01/19). As temperaturas do ar durante o experimento de sequeiro apresentaram tendência de decréscimo, em relação ao ciclo irrigado, por ser conduzido dentro da estação chuvosa da região dos Tabuleiros Costeiros, a temperatura do ar média diária máxima foi de 26,6 °C aos 123 DAS (21/10/2019), média de (24 °C), e mínima de 21,2 °C aos 42 DAS (01/08/2019).

Souza et al. (2004), avaliaram a temperatura do ar na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, no período de 1972 a 2001, e verificaram que o período entre 21/05 até 10/10 é o que melhor atende à necessidade ótima das culturas agrícolas. Porém,

considerando que a temperatura ótima para a soja está entre 20 e 30 °C (Lopes e Lima, 2015), verifica-se que em ambos os experimentos não ocorreram limitações térmicas para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

A ET_c durante o ciclo irrigado foi 12% superior à do experimento de sequeiro (Figura 2B), o que pode ser justificado pela maior incidência de radiação e de temperatura sobre o dossel vegetativo e o solo, o que aumenta o gradiente de transpiração e evaporação de água para a atmosfera. Os valores de ET_c registrados no primeiro ciclo, foram de 7,20 mm dia⁻¹, aos 46 DAS (30/12/18), com média de 3,90 mm dia⁻¹ e mínimo de 0,99 mm dia⁻¹, aos 119 DAS (13/03/19), ao fim do experimento foram somados 589 mm, durante 140 dias de cultivo. A ET_c em sequeiro, totalizou 422 mm em 130 dias de cultivo, com máxima de 5,31 mm aos 69 DAS (28/08/2019), média de 3,22 mm e mínima de 1,42 mm, aos 92 DAS (20/09/2019). A evapotranspiração é um dos principais fatores da relação solo, planta, água e atmosfera, porque o nível de água utilizada pela cultura é diretamente relacionado ao desenvolvimento de estresse nas plantas (ALLEN et al., 1998).

Figura 2.2. Temperatura média do ar diária (A), Evapotranspiração da cultura (B), durante dois ciclos de cultivo de soja, sob irrigação no período de 14 de novembro de 2018 a 03 de abril 2019, e em sequeiro de 20 de junho de 2019 a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.



Balanço hídrico do solo

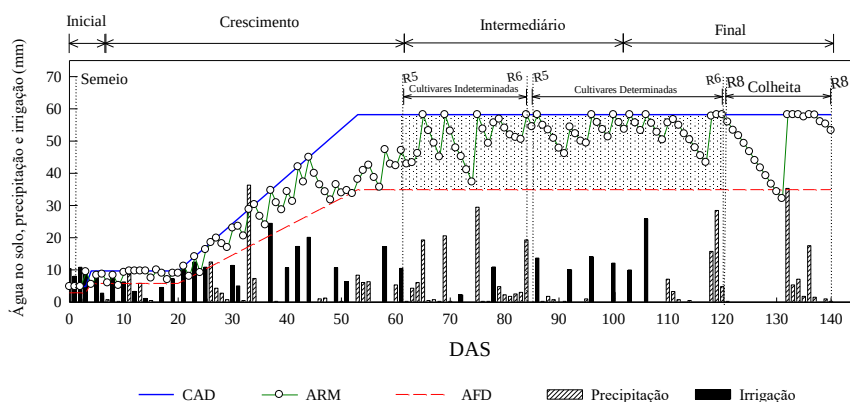
Experimento irrigado

O balanço hídrico teve precipitação pluvial de 375 mm, o mês mais chuvoso foi janeiro (109,20 mm) e novembro o menos chuvoso (25,0 mm) em 140 dias de cultivo, com o maior valor de 36,32 mm dia⁻¹ aos 33 DAS (17/12/2018); média de 2,70 mm dia⁻¹

(Figura 2.3), verifica-se que houve excesso de água em 28 dias (20%) e 70 dias sem chuva (50%).

As lâminas de irrigação totalizaram 345,30 mm, aplicados ao longo do ciclo, o valor máximo foi 25,85 mm, a lâmina média foi de 10,46 mm e o valor mínimo de 2,26 mm. Houve incremento na disponibilidade de água a cultura, observada pela precipitação efetiva, de 720 mm, colocando o armazenamento (ARM) acima da água facilmente disponível (AFD). Observa-se na Figura 2.3, que o ARM não comprometeu os períodos de maior sensibilidade à falta de água, principalmente as fases de enchimento de grãos (R5 a R6).

Figura 2.3. Variação do armazenamento de água no solo (ARM, mm) para o cultivo de soja sob irrigação no período de 14 de novembro de 2018 a 03 de abril de 2019, determinada pelo balanço hídrico de Thornthwaite e Matter em Rio Largo, Alagoas.



Trabalhos realizados com níveis de reposição hídrica, mostram que o déficit moderado de água no solo por curtos períodos durante os estágios vegetativos geralmente não reduz o rendimento da soja. No entanto, se ocorrer durante os estágios de aumento da vagem e enchimento de grãos há um efeito negativo sobre os componentes de produção (ANDA et al., 2019; MONTOYA et al., 2017; GAVA, et al., 2015).

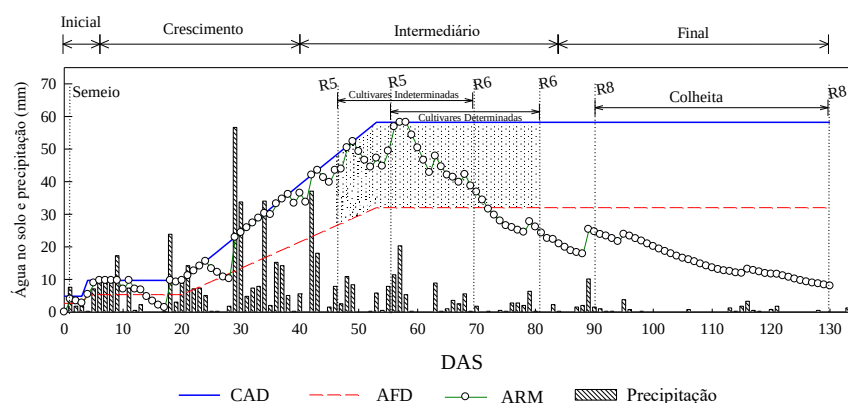
Experimento de sequeiro

Em relação ao balanço de água no experimento de sequeiro, as precipitações totalizaram 547,37 mm, o mês mais chuvoso foi julho (269,50 mm) e outubro o menos chuvoso (11,20 mm), a disponibilidade de água às plantas se deu até o 73º DAS, porém, é válido ressaltar que ela foi insuficiente para atender todo o ciclo produtivo das cultivares.

Ocorreram três períodos de baixo armazenamento de água (Figura 2.4). O primeiro foi entre o 14º ao 17º DAS, o segundo entre 25º e o 27º DAS, equivalente a 11,70 e 23,0 mm, respectivamente. Esses dois períodos sem chuva ocorreram durante os estádios iniciais de crescimento e desenvolvimento da soja. O terceiro ocorreu no 73º DAS onde o ARM caiu drasticamente atingindo um nível de déficit (79 mm). Houve excesso em 24 dias de ciclo (18,46%) e 44 dias sem chuva (33%). A maior chuva ocorreu aos 29 DAS, equivalente a 56 mm (Figura 2.4).

As cultivares de crescimento indeterminado, iniciaram os estádios R5-R6 no 50º ao 70º DAS; no entanto as de crescimento determinado (M 8349 e BRS-9383) aos 56º e 65º DAS, respectivamente, logo tiveram uma menor disponibilidade hídrica, do que as de crescimento indeterminado.

Figura 2.4. Variação do armazenamento de água no solo (ARM, mm) para o cultivo de soja, de 20 de junho de 2019 a 28 de outubro de 2019, em função dos dias após o semeio, determinada pelo balanço hídrico de Thornthwaite e Matter em Rio Largo, Alagoas.



Componentes de produção

Análise de variância

As cultivares geraram diferença significativa, a 1% de probabilidade para as variáveis: altura de inserção da primeira vagem, número de vagens por planta, massa de mil grãos, índice de colheita, produtividade de água e rendimento de grãos, em ambos os experimentos (Tabela 2.4).

Tabela 2.4. Análise de variância para os componentes de produção de cultivares de soja irrigadas de 14/11/18 a 03/04/19, e em sequeiro de 20/06/2019 a 28/10/2019, em Rio Largo, Alagoas.

Fontes de variação	GL ¹	Valores de Quadrado Médio ²					
		<i>Irrigado</i>					
		AIPV	NVP	MMG	IC	PA	RG
Cultivares (C)	5	30,70**	3932,90**	2385,64**	477,34**	0,144**	914,70**
Bloco	4	9,27 ^{ns}	118,82 ^{ns}	311,07 ^{ns}	63,43 ^{ns}	0,083 ^{ns}	51,92 ^{ns}
Resíduo	20	4,61	66,38	107,93	45,96	0,018	119,22
Total	29	-	-	-	-	-	-
CV (%)		13,75	13,20	5,49	19	12,28	12,30
		<i>Sequeiro</i>					
		AIPV	NVP	MMG	IC	PA	RG
		AIPV	NVP	MMG	IC	PA	RG
Cultivares (C)	5	102,63**	1.387,54**	1047,47**	0,078**	0,065**	314,07**
Bloco	4	0,26 ^{ns}	7,63 ^{ns}	13,44 ^{ns}	0,0013 ^{ns}	0,002 ^{ns}	13,36 ^{ns}
Resíduo	20	1,66	36,94	18,92	0,0041	0,004	18,55
Total	29	-	-	-	-	-	-
CV (%)		13,14	14,78	2,79	17,75	8,82	8,75

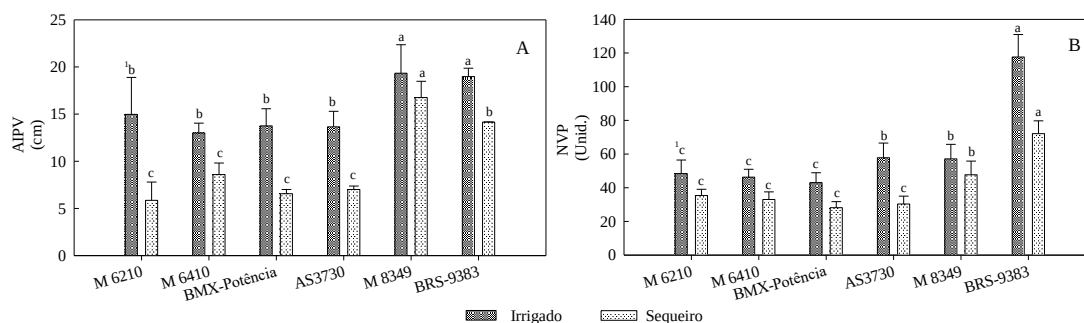
¹ Graus de liberdade; ² **Significativo à nível de 1%; ns não significativo pelo teste F. Altura de inserção da primeira vagem (AIPV, cm), Número de Vagens por Planta (NVP, Unid.), Massa de mil grãos (MMG, g), Índice de Colheita (IC), Produtividade de Água (PA, kg m⁻³) e Rendimento de Grãos (RG, kg ha⁻¹).

Fonte: Autor (2021).

Experimento irrigado

Para a AIPV houve a formação de dois grupos contrastantes, o primeiro com médias de 19,0 (BRS-9383) e 19,30 cm (M 8349); e o segundo com médias variando de 13,0 (M 6410) a 15,0 cm (M 6210) (Figura 2.5A). A seleção de cultivares, bem como as práticas de manejo, devem buscar alturas de inserção da primeira vagem de pelo menos 10 cm, o que evita perdas na colheita mecanizada (CARMO et al. 2018; CARVALHO, et al. 2010). No presente trabalho, verifica-se que os valores de AIPV foram superiores a 10 cm tanto em condições de irrigação quanto em sequeiro.

Figura 2.5. Altura de Inserção da Primeira Vagem (A) e Número de Vagens por Planta (B), de cultivares de soja irrigadas 14/11/18 a 03/04/19, e em sequeiro de 20/06/2019 a 28/10/2019, em Rio Largo, Alagoas.



¹As médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (1974) $p < 0,05$.

Em relação ao NVP, as médias observadas foram agrupadas em 3 grupos contrastantes, o primeiro com 118,0 Unid. (BRS-9383); o segundo com médias variando de 57,80 (AS 3730) e 57,16 Unid. (M 8349); e o terceiro com médias variando de 43,0 (BMX-Potência) a 48,40 Unid. (M 6210), essa variação é atribuída a características genéticas de cada cultivar, em relação à arquitetura da planta, ao hábito de crescimento e ao número de racemos (Figura 2.5B).

Para a MMG, o teste de Scott-Knott gerou dois grupos contrastantes, com médias observadas variando de 187,20 (M 6410) a 207,23 g (M 8349). Verifica-se no primeiro grupo, o menor valor de MMG na cultivar BRS-9383 (147,92 g) (Figura 2.6A).

Para o IC, os valores observados variaram de 17,0 a 45,0, as cultivares de menor ciclo apresentaram maiores ICs (Figura 2.6B), o que mostra que as cultivares desse grupo apresentaram uma maior capacidade de conversão de matéria seca em produtividade de grãos.

Em relação a PA, o maior valor observado foi de $1,30 \text{ kg m}^{-3}$ (AS 3730), superior em 38% a menor média $0,80 \text{ kg m}^{-3}$ (BRS-9383). O teste de Scott-Knott gerou dois grupos, o primeiro com médias variando de 1,05 (M 6410) a $1,30 \text{ kg m}^{-3}$ (AS 3730); e o segundo com a cultivar BRS-9383 ($0,80 \text{ kg m}^{-3}$) (Figura 2.7A).

A PA é um importante indicador para a gestão da água na agricultura, uma vez que considera o rendimento de grãos pelo consumo de água pelas plantas. Os resultados obtidos neste trabalho mostram que a PA das cultivares irrigadas é superior (36,60%) a de sequeiro, pois as irrigações repõem a água perdida pela ETc, sobretudo em períodos de sensibilidade ao déficit hídrico, logo, aumenta-se a produtividade de grãos. Valores

divergentes foram observados por Montoya et al., (2017), em que verificaram valores de PA entre 0,47 e 0,65 kg m⁻³. De maneira geral, estudos com cultivares de soja irrigadas, apresentam valores de PA de 0,55 a 1,15 kg m⁻³ (GAJIC et al., 2018; GARCIA y GARCIA et al. 2010). Esses resultados corroboram com os dados dessa pesquisa e confirmam que a produtividade de água é maior sob irrigação.

As médias observadas de RG foram agrupadas em dois grupos, as maiores produtividades variaram de 5.070 (M 6410) a 6.180 (AS 3730) kg ha⁻¹ (84,5 a 103 sacas) (Figura 2.7B). No segundo grupo, o menor RG foi observado na cultivar BRS-9383 com 3.870 kg ha⁻¹ (64,5 sacas).

A falta de água de acordo com Battisti et al. (2018) é um dos principais fatores para a perda de produtividade da soja em âmbito nacional, principalmente na região Nordeste. Comparando a média geral das cultivares sob irrigação (5.280 kg ha⁻¹) (88 sacas) com as de sequeiro (3.000 kg ha⁻¹) (50 sacas) houve uma redução na ordem de 43%, o que evidencia o efeito do déficit hídrico na produtividade das cultivares.

Experimento de sequeiro

Para a AIPV em sequeiro, houve a formação de dois grupos, o primeiro com 14,15 (BRS-9383) e 16,80 cm (M 8349); e o segundo com médias variando de 5,85 (M 6210) a 8,60 cm (M 6410). De forma geral, a média da AIPV do experimento irrigado foi 15,61 cm, superior em 37,10% ao de sequeiro (9,82 cm).

O NVP foi agrupado em 3 grupos, o primeiro com médias variando de 28 (AS 3730) a 35,34 Unid. (M 6210) (Figura 2.5A); o segundo com 47,71 Unid. (M 8349) e o terceiro com o maior NVP de 72,12 Unid. (BRS-9383). Comparando a média geral de NVP entre as cultivares irrigadas e em sequeiro, verifica-se a redução em 33,40%, possivelmente devido ao abortamento de flores e vagens no experimento em sequeiro. Conforme Mauad et al., (2010), o NVP é determinado pelo balanço entre a produção de flores por planta e a proporção dessas que se desenvolvem até vagem.

Os valores observados evidenciam que o NVP é compensado, pelo aumento da MMG, o que possibilita produtividades satisfatórias. Isso é possível uma vez que o menor NVP diminui a competição por fotoassimilados, fato que contribui para a maior MMG (Figura 2.5B).

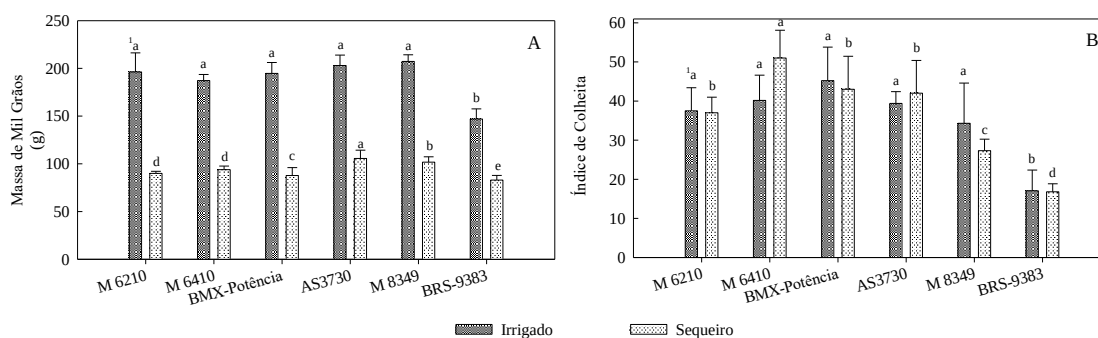
Para a MMG, o teste de Scott-Knott, formou cinco grupos. O primeiro com 176,0 g (AS 3730) (Figura 2.6A); o segundo com 170,0 g (M 8349); o terceiro com 156,27 g

(BMX-Potência); o quarto com valores observados de 146,27 (M 6410) e 150 g (M 6210); e o quinto e último com 137,80 g na cultivar BRS-9383. Verifica-se a redução em 17,60 % de MMG na média das cultivares irrigadas e em sequeiro. Conforme Carmo et al. (2018) O cultivo da soja sob déficit hídrico aumenta o número de grãos pequenos e enrugados, a menor disponibilidade de água para as plantas reduz as taxas fotossintéticas e o período de enchimento de grãos.

Resultados diferentes foram encontrados por Procópio et al., (2018) que avaliaram 8 cultivares de soja em diferentes populações de plantas no SEALBA, nos anos agrícolas 2016-2017, e verificaram médias de Massa de Cem Grãos (MCG) para o primeiro ano de 19,84 g entre as cultivares e de 18,62 g no segundo ano. Rocha et al., (2012) avaliaram 32 genótipos de soja em condições de baixas latitudes no estado do Piauí, e verificaram médias de MCG de 15,29 a 20,78 g.

De maneira geral, quando se compara a média de IC das cultivares sob irrigação (35,60) com as de sequeiro (36,20), é observado uma pequena diminuição de 1,60%, resultante da redução de matéria seca de plantas em sequeiro, o que aumenta a capacidade de conversão das cultivares em regime de sequeiro (Figura 2.6B). Para o IC das cultivares em sequeiro, houve a formação de quatro grupos, no primeiro, o valor de IC máximo foi de 52,0, na cultivar M 6410; no segundo as médias variaram de 37,0 (M 6210) a 40,0 (BMX-Potência), no terceiro o IC de 27,0 (M 8349) e o no quarto grupo o menor valor de IC na ordem de 17,0 (BRS-9383).

Figura 2.6. Massa de Mil Grãos (A) e Índice de colheita (IC) (B) de cultivares de soja irrigadas 14/11/18 a 03/04/19, e em sequeiro de 20/06/2019 a 28/10/2019, em Rio Largo, Alagoas.



¹As médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (1974) $p < 0,05$.

As médias observadas para a PA variaram de 0,86 a 0,55 kg m⁻³, o teste de Scott-Knott gerou 4 grupos contrastantes, o primeiro com 0,86 kg m⁻³ (M 6410); o segundo

com 0,72 (M 8349) e 0,79 (BMX-Potência) kg m^{-3} (Figura 2.7A); o terceiro com 0,62 (AS 3730) e 0,65 (M 6210) kg m^{-3} e o quarto grupo com a menor conversão de água em grãos de 0,55 kg m^{-3} na cultivar BRS-9383. Esses valores estão dentro da faixa relatadas para PA em soja em sequeiro. Alfonso et al, (2020), avaliaram cultivares de soja em sequeiro, em diferentes sistemas de cobertura vegetal, e verificaram valores de PA entre 0,593 a 0,83 kg m^{-3} . Demirtas et al, (2010) observaram valores de 0,41 a 0,64 kg m^{-3} , respectivamente, em cultivo de soja sob sequeiro na região subúmida da Turquia.

O RG apresentou uma ampla variação para as cultivares, o teste de Scott-Knott formou 4 grupos distintos (Figura 2.7B). O primeiro com 3.336 (M 8349) a 3.600 (M 6410) kg ha^{-1} (55,60 e 60 sacas); o segundo grupo com 3.030 (BMX-Potência) kg ha^{-1} (50,50 sacas); o terceiro grupo com 2.640 (AS 3730) e 2.760 (M 6210) kg ha^{-1} (44 e 46 sacas); e o quarto grupo com o menor valor de produtividade, 2.340 (BRS-9383) kg ha^{-1} (39 sacas). Santiago et al. (2019) avaliaram 50 genótipos de soja em Alagoas sob condições de sequeiro, em áreas de 1º e 4º ano de cultivo com histórico de produção de cana-de-açúcar, e verificaram em área de 1º ano RGs de 2.515 (BRS-9383) e 2.470 kg ha^{-1} (M 8349). Porém, em áreas de 4º ano de cultivo, as cultivares apresentaram RG de 3.148 (BRS-9383) e 3.357 kg ha^{-1} (M 8349).

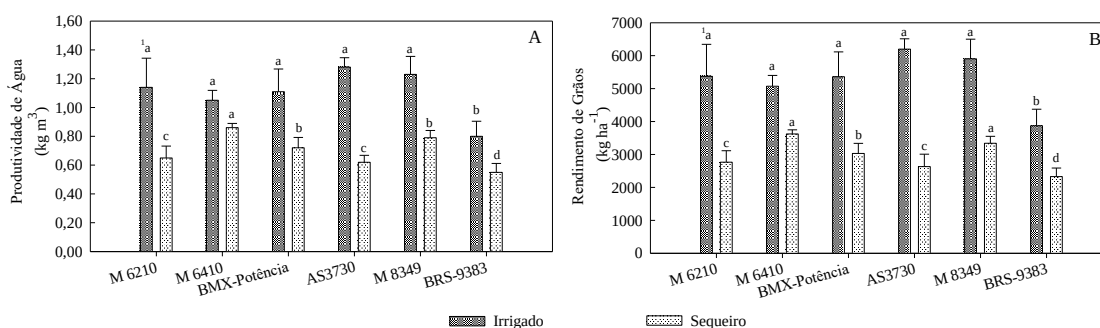
Procópio et al, (2018) avaliaram 8 cultivares de soja sob sequeiro, em diferentes populações de plantas, em municípios de Alagoas, verificaram médias de RG: 2.370 (BRS-GISELE) e 2.203 kg ha^{-1} (BRS-270) em São Miguel dos Campos; 3.958 kg ha^{-1} (BRSGO-8661) e 4.332 kg ha^{-1} (BRS-9280) em Jundiá; 1.783 (BRSGO-8660) e 2.169 kg ha^{-1} (BRSGO-9160) em Campo Alegre, o que evidencia o potencial produtivo dos materiais mesmo em condições de sequeiro.

Viana et al., (2017) avaliaram 5 cultivares de soja no Agreste Meridional Pernambucano, observaram RG variando de 606,30 a 1.616,80 kg ha^{-1} . Rocha et al., (2012) avaliaram 13 genótipos de soja em condições de baixa latitude em Teresina, Piauí, observaram variação de 1.485 a 3.585 kg ha^{-1} .

Todavia, Cruz et al., (2014) avaliaram 5 cultivares de soja em 5 épocas de semeio, no Oeste da Bahia, e verificaram RG's de 4.142 kg ha^{-1} na primeira época de semeio na cultivar BRS-CORISCO. Bohn et al., (2016) avaliaram cultivares de soja para a região sudoeste do Cerrado do Piauí, e verificaram que das 15 cultivares testadas, 10 obtiveram produtividades superiores a 3.500 kg ha^{-1} , e apenas a M 8527 teve RG de 3.000 kg ha^{-1} . Esses resultados indicam que o rendimento de grãos das cultivares de soja são menores

em condições de sequeiro, uma vez que a falta de água, diminui a produtividade das cultivares.

Figura 2.7. Produtividade de Água (A) e Rendimento de Grãos (B), de cultivares de soja irrigadas 14/11/18 a 03/04/19, e em sequeiro de 20/06/2019 a 28/10/2019, em Rio Largo, Alagoas.



¹As médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (1974) $p < 0,05$.

A Tabela 2.5, mostra as médias observadas para os componentes de produção, os valores em negrito indicam as melhores cultivares dentro das variáveis estudadas, conforme o teste de Scott-Knott (1974).

Tabela 2.5. Médias observadas para os componentes de produção de cultivares de soja, irrigada de 14/11/18 a 03/04/19, e em sequeiro de 20/06/2019 a 28/10/2019, em Rio Largo, Alagoas.

<i>Irrigado</i>						
Cultivar	AIPV	NVP	MMG	IC	PA	RG
M 6210	14,97	48,40	196,30	37,50	1,14	5.373,60
M 6410	13,00	46,30	187,19	40,16	1,05	5.071,0
BMX-Potência	13,76	43,00	194,70	45,23	1,11	5.361,60
AS 3730	13,65	57,80	202,94	39,40	1,28	6.198,0
M 8349	19,34	57,16	207,23	34,30	1,23	5.904,0
BRS-9383	18,98	117,60	146,92	17,05	0,80	3.871,20
Média geral	15,62	61,71	189,21	35,61	1,10	5.296,57
<i>Sequeiro</i>						
Cultivar	AIPV	NVP	MMG	IC	PA	RG
M 6210	5,85	35,34	90,0	37,00	0,65	2.766,60
M 6410	8,59	33,04	93,90	51,00	0,86	3.624,0
BMX-Potência	6,56	28,16	87,75	43,00	0,72	3.031,20
AS 3730	7,01	30,33	105,65	42,00	0,62	2.631,60
M 8349	16,76	47,71	101,75	27,30	0,79	3.340,20
BRS-9383	14,15	72,12	82,97	16,80	0,55	2.328,00
Média geral	9,82	41,12	93,67	36,18	0,70	2.953,60

Altura de inserção da primeira vagem (AIPV, cm), Número de Vagens por Planta (NVP, Unid.), Massa de mil grãos (MMG, g), Índice de Colheita (IC), Produtividade de Água (PA, kg m⁻³) e Rendimento de Grãos (RG, kg ha⁻¹). As células em negrito indicam as melhores cultivares dentro das variáveis estudadas, conforme o teste de Scott-Knott (1974).

Fonte: Autor (2021).

Nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas a disponibilidade de água é um fator determinante para o rendimento da soja, principalmente no período crítico de desenvolvimento das plantas, logo, as cultivares que receberam água dentro das fases de sensibilidade, foram mais produtivas em ambos os experimentos

10.4. CONCLUSÃO

A evapotranspiração da cultura no experimento irrigado é de 589 mm, durante 140 dias de cultivo, e em sequeiro é de 422 mm em 130 dias de cultivo.

O balanço de água no solo mostra que a demanda hídrica tem influência na produtividade da soja, uma vez que as cultivares sob irrigação apresentaram bons índices de produção.

O plantio de cultivares de ciclo longo em Alagoas deve coincidir os períodos críticos de enchimento de grãos com os de maior disponibilidade de água.

As cultivares M 6410 e M 8349 têm os melhores rendimentos, e são indicadas para o plantio na região.

A cultivar BRS-9383 tem rendimento inferior as demais cultivares, em ambos os experimentos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas – FAPEAL, Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

10.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSO, C; BARBIERI, P A; HERNÁNDEZ, M D; *et al.* Water productivity in soybean following a cover crop in a humid environment. **Agricultural Water Management**, v. 232, n. January, p. 106045, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106045>>.

ANDA, A.; SIMON, B.; SOÓS, G.; DA SILVA, J. A. T.; KUCSERKA, T. Crop-water relation and production of two soybean varieties under different water supplies.

Theoretical and Applied Climatology, <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2660-9> (2019).

AGROFIT. Sistemas de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 20 out. 2019.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Evapotranspiração das culturas: diretrizes para o cálculo da necessidade de água nas culturas Documento de Irrigação e Drenagem 56, **Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação**, Roma, Itália, 1998.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C.; BOOTE, K. J. Sensitivity and requirement of improvements of four soybean crop. **International Journal of Biometeorology**. v.62, páginas 823–832, 2018.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; DA SILVA, D. D. S., A. A.; Manual de Irrigação, 9ª Edição - Viçosa, MG: **Ed. UFV**, 2019, 545 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 398p.

BOHN, N. P., LUSTOSA FILHO, J. F., NÓBREGA, J. C. A., CAMPOS, A. R., NÓBREGA, R. S. A., PACHECO, L. P. Identificação de cultivares de soja para a região sudoeste do Cerrado piauiense. **Revista Agro@mbiente** On-line, v. 10, n. 1, p. 10 - 16, janeiro-março, 2016.

CARMO, E. L.; BRAZ, G. B.P.; SIMON, G. A.; DA SILVA, A.G.; ROCHA, A. G. C. Desempenho agrônômico da soja cultivada em diferentes épocas e distribuição de plantas. **Rev. Ciênc. Agrovet.**17(1): 2018. DOI: 10.5965/223811711712018061

CARVALHO, E. R. et al. 2010. Desempenho de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] em cultivo de verão no Sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia** 34: 892-899.

CONFALONE, A.; DUJMOVICH, M.N. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, n. 2, p. 183-187, 1999.

CONAB. ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA DE GRÃOS | v. 7 - Safra 2019/20, n.5 - Quinto levantamento, fevereiro 2020.

CRUZ, S.J.S.; OLIVEIRA, S.S.C.; CRUZ, S.S.C.; MADALENA, J.M.S.; CUNHA, J.L.X.L. Desempenho de três variedades de soja na região dos Tabuleiros Costeiros no Estado Alagoas. **Revista caatinga**, v.22, p.195-199, 2009.

DEMIRTAS, C.; YAZGAN, S.; CANDOĞAN, B. N.; SINCIK, M.; BUYUKCANGAZ H.; GOKSOY, A.T. Qualidade e resposta da produtividade da soja (*Glycine max* L. Merrill) ao estresse hídrico em ambiente subúmido. **Afr. J. Biotechnol.**, 9 (2010) pp. 6873 – 6881.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. Stages of soybean development. **Ames: Iowa State University of Science and Technology**, 1977. 11 p. (Special Report 80).

IPA – Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco. Recife, 2ª aproximação, 2. ed. rev., **IPA**, 198p., 2008.

KEMANIAN, A.R., STÖCKLE, C.O., HUGGINS, D.R., VIEGA, L.M. A simple method to estimate harvest index in grain crops. **Field Crops Res.** 103, 208–216, 2007.

LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. Fisiologia da produção, Viçosa, MG: **Ed. UFV**, 2015, 492 p.

LYRA, G. B., DE SOUZA, J. L., TEODORO, I., LYRA, G. B., MOURA FILHO, G., & JÚNIOR, R. F. A. Conteúdo de água no solo em cultivo de milho sem e com cobertura morta na entrelinha na região de Arapiraca-AL. **Irriga**, 15(2), 173-183, 2010.

GAJIĆ, B.; KRESOVIĆ, B.; TAPANAROVA, A.; ŽIVOTIĆ, L.; TODOROVIĆ, M. Effect of irrigation regime on yield, harvest index and water productivity of soybean grown under different precipitation conditions in a temperate environment. **Agricultural Water Management**, v. 210, 30 novembro de 2018, Páginas 224-23.

GARCIA Y GARCIA, A.; PERSSON, T.; GUERRA, L. C.; HOOGENBOOM, G. Response of soybean genotypes to different irrigation regimes in a humid region of the southeastern USA. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 7, p. 981–987, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2010.01.030>>.

GAVA, R. FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; JOSE, J. V.; FRAGA JUNIOR, E. F.; PERBONI. Estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. **Rev. Bras. Agric. Irr.** v. 9, nº.6, Fortaleza, p.349 - 359, Nov - Dez, 2015.

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

NUNES, M. S.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; BRAGA, F. V. A.; PEREIRA, T. S.; BUSKE, E. C. Resposta da produção de soja à variabilidade espacial sob pivô central. **Irriga, Botucatu**, Edição Especial, Grandes Culturas, p. 19-27, 2016.

MONTOYA, F., GARCÍA, C., PINTOS, F., OTERO, A. Effects of irrigation regime on the growth and yield of irrigated soybean in temperate humid climatic conditions. **Agric. Water Manag.** 193, 30–45, 2017.

PROCÓPIO, S. O.; SANTIAGO, A. D.; CARVALHO H. W. L. Estudos de população de plantas de soja na região do SEALBA. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2018 24 p. (**Boletim de Pesquisa / Embrapa Tabuleiros Costeiros**, ISSN 1678-1961; 134).

ROCHA, R. S.; SILVA, J. A. L.; NEVES, J. A.; SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C. Desempenho agronômico de variedades e linhagens de soja em condições de baixa latitude em Teresina-PI. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 1, p. 154-162, 2012.

SANTIAGO, A. D. PROCÓPIO, S. O.; CARVALHO H. W. L.; BRAZ, G. B. P. Desempenho de cultivares de soja em áreas com histórico de produção de cana-de-açúcar no Sealba. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2019. 30 p. (**Boletim de Pesquisa / Embrapa Tabuleiros Costeiros**, ISSN 1678-1961; 142).

SENTELHAS, P.C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G.M.S, FARIAS, J.R.B.; HAMPF, A.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil—magnitude, causes and possible solutions for a sustainable production, **J. Agric. Sci**, 2015, 153, 08, 1394, 1411, 10.1017/S0021859615000313

VIANA, J.S.; DA SILVA, A. C.; GONÇALVES, E. P.; CORDEIRO JUNIOR, J.J.F.; FÉLIX, C.A., DE OLIVEIRA, J.F. F.; DOS SANTOS, A.; SILVA, J.C.A. Avaliação da produtividade de cultivares de soja em Garanhuns-PE. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v.8, n.2, p.10-18, 2017.

CAPÍTULO III

MODELAGEM DO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE SOJA SOB CONDIÇÕES DE SEQUEIRO E IRRIGAÇÃO

Resumo: Objetivou-se com este trabalho avaliar o ajuste de modelos semiempíricos de crescimento e a produtividade de cultivares de soja submetida a condições de irrigação e sequeiro no estado de Alagoas. Foram conduzidos dois experimentos, o primeiro durante a estação seca de 14/11/2018 a 03/04/19 (140 dias), e o segundo na estação chuvosa de 20/06/19 a 28/10/2019 (130 dias) na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. O delineamento experimental foi em blocos casualizados e os tratamentos foram seis cultivares com diferentes grupos de maturação e hábitos de crescimento (M 6210, M 6410, BMX-Potência, AS 3730, M 8349 e BRS-9383). Foram avaliadas a altura de plantas, matéria seca e índice de área foliar (IAF). Os modelos logísticos, sigmoidal e pic log normal apresentaram ajustes estatísticos significativos ($p < 0,05$) para as variáveis de crescimento e coeficientes de determinação ajustado (R^2_{ajs}) máximo de 0,994 e 0,990, respectivamente. Os valores observados e estimados pelos modelos apresentaram alta associação pelos índices de Pearson (r), Willmott (d) e baixo Erro Padrão de Estimativa (EPE). A cultivar BRS-9383 teve as maiores taxas de crescimento observados e estimados. Em condições de irrigação, os valores de altura de plantas máxima foram 98,45 e 110,35 cm, matéria seca máxima de 65,88 e 78,70 g e o IAF máximo de 7,68 e 7,60. Em sequeiro, a altura de plantas máxima foi 62,91 e 72,85 cm, matéria seca máxima de 40,0 e 44,91 g e o IAF máximo de 6,34 e 6,26. As maiores produtividades agrícola sob irrigação, foram de 6,19 e 5,90 Mg ha⁻¹ nas cultivares AS 3730 e M 8349. Em sequeiro sobressaíram-se as cultivares M 6410 e M 8349 com produtividade de grãos de 3,60 e 3,30 Mg ha⁻¹. Dessa forma, os modelos de crescimento podem ser utilizados para auxiliar a análise de crescimento em função dos dias após o plantio.

Palavras-chave: hábito de crescimento, modelos empíricos, *Glycine max* (L.) Merrill.

CHAPTER III

MODELING THE GROWTH AND PRODUCTIVITY OF SOYA CULTIVARS UNDER IRRIGATION AND RAINFED CONDITIONS

Abstract: The aim of this study was to evaluate the fit of semi-empirical models for growth and productivity in soya cultivars under irrigation and rainfed conditions in the state of Alagoas. Two experiments were carried out, the first during the dry season from 14/11/18 to 03/04/19 (140 days), and the second during the rainy season from 20/06/19 to 28/10/19 (130 days) in the coastal-tableland region of Alagoas. The experimental design was of randomised blocks, with the treatments comprising six cultivars of different maturity groups and growth habits (M 6210, M 6410, BMX-Potência, AS 3730, M 8349 and BRS-9383). The following were evaluated: plant height, dry matter and leaf area index (LAI). The sigmoidal and pic log-normal logistic models showed a significant statistical fit ($p < 0.05$) to the growth variables and adjusted coefficients of determination (R^2_{adj}), with a maximum of 0.994 and 0.990, respectively. The observed values and those estimated by the models showed a high association by the Pearson (r) and Willmott (d) indices, with a low Standard Error of the Estimate (SEE). The BRS-9383 cultivar had the highest observed and estimated growth rates. Under irrigation, the maximum values for plant height were 98.45 and 110.35 cm, with maximum dry matter of 65.88 and 78.70 g, and maximum LAI of 7.68 and 7.60. Under rainfed conditions, the maximum plant height was 62.91 and 72.85 cm, maximum dry matter was 40.0 and 44.91 g, and the maximum LAI was 6.34 and 6.26. The highest agricultural yields under irrigation were 6.19 and 5.90 Mg ha⁻¹ for the AS 3730 and M 8349 cultivars. Under rainfed conditions, the M 6410 and M 8349 cultivars stood out with grain yields of 3.60 and 3.30 Mg ha⁻¹. Thus, growth models can be used to help analyse growth as a function of days after planting.

Keywords: growth habit, empirical models, *Glycine max.* (L.) Merrill.

11.1. INTRODUÇÃO

Cultivada numa área de aproximadamente 122,65 milhões de hectares, com produção de 337,30 milhões de toneladas, a soja *Glycine max* (L.) Merrill assume relevante papel socioeconômico em nível mundial (USDA, 2020). O Brasil é o maior produtor dessa leguminosa, com produção de aproximadamente 124,85 milhões de toneladas de grãos na safra 2019/2020, área plantada de 36,95 milhões de hectares e produtividade média de 3.379 kg ha⁻¹ (CONAB, 2020).

A sojicultura tem ganhado espaço em regiões não tradicionais no cultivo de grãos, como é o caso do Estado de Alagoas, que produziu 5,5 mil t, em 2,2 mil hectares com a produtividade média de 2.500 kg ha⁻¹ na safra 2018/2019 (CONAB, 2019). Todavia, essa produtividade ainda é baixa quando comparada com a de outras regiões produtoras do Nordeste Brasileiro (NEB), principalmente em razão da falta de conhecimento sobre a adaptação de cultivares as condições edafoclimáticas de Alagoas (SANTIAGO, 2019).

A evolução do cultivo da soja no Brasil se deu graças a seu valor socioeconômico e da tecnificação dos processos de produção. Porém, devido ao elevado número de cultivares, com diferentes hábitos de crescimento e grupos de maturação, lançadas por empresas de melhoramento genético, muitos produtores encontram dificuldade em obter as especificações agronômicas, sobretudo, o seu comportamento em novas regiões agrícolas (BOFF; LEVIEN, 2019).

A obtenção de lavouras de soja com alto potencial produtivo depende do conhecimento detalhado do crescimento e desenvolvimento da cultura, das suas exigências edafoclimáticas, bem como do potencial genético das cultivares (SETIYONO et al., 2011). A escolha de cada cultivar deve ter em vista um determinado objetivo de produção, já que seus componentes produtivos irão sofrer variações regionais que irão sobrepujar determinado(s) aspecto(s) em detrimento de outro(s) (CRUZ, 2015).

O monitoramento do crescimento da soja requer técnicas destrutivas e que demandam tempo, principalmente quando as plantas fecham as entrelinhas, tornando-se inviável em grandes áreas agrícolas. No entanto, o estudo e acompanhamento das variáveis de crescimento pode subsidiar técnicas de produção rentáveis, tanto em aspectos qualitativos quanto quantitativos, voltadas ao manejo da cultura (TAGLIAPIETRA et al., 2018).

Uma ferramenta importante para o estudo do crescimento, desenvolvimento e produtividade de uma cultura, é o uso de modelagem matemática, a qual permite, a descrição dos processos envolvidos no sistema e a simulação de situações que auxiliem

as tomadas de decisões no manejo das plantas, tais como a irrigação, aplicação de fungicidas, uso de fertilizantes, entre outros (TOLEDO, et al. 2009; TRENTIN et al. 2013).

As condições ambientais e as técnicas agrícolas empregadas influenciam o crescimento e a produtividade da soja, que é altamente dependente da interação genótipo-ambiente (ZANON et al. 2016; LYRA et al. 2014). Sendo assim, objetivou-se com este trabalho avaliar o ajuste de modelos semiempíricos de crescimento, e a produtividade de cultivares de soja, cultivadas sob irrigação e em sequeiro.

11.2. MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização experimental e climática

Os experimentos de campo foram conduzidos durante 2 anos agrícolas (2018/2019 e 2019/2020) no *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL). O clima da região é classificado como úmido, megatérmico, com deficiência de água moderada no verão e grande excesso de água no inverno (THORNTHWAITE; MATHER, 1955).

O solo predominante da área é caracterizado como Latossolo Amarelo Coeso Argissólico, de textura média/argilosa, com velocidade de infiltração básica (VIB) de 52 mm h⁻¹, capacidade de água disponível (CAD) de 58,20 mm e declividade média de 2%. A análise química do solo na profundidade de 0-20 cm, foi utilizada como base para a adubação de plantio (Tabela 3.1). A precipitação pluvial anual média da região é 1.800 mm, com o período chuvoso iniciando na primeira quinzena de abril e terminando na segunda quinzena de agosto. A temperatura média do ar é 23,14 °C, saldo de radiação médio diário igual a 20 MJ m⁻², umidade relativa em torno de 70% (FERREIRA JÚNIOR, 2014).

Tabela 3.1. Características químicas do solo da área experimental, Rio Largo, Alagoas.

¹ Prof. m	pH H ₂ O	P -----mg dm ⁻³ -----	K -----	Na -----	Ca -----	Mg -----	Al -----	H + Al -----	² CTC _t
0 - 0,2	5,5	3	20	10	1,89	1,23	0,09	4,66	3,3
Prof. m	³ CTC _T cmol.dm ⁻³	MO g kg ⁻¹	Saturação %-----						
			⁴ V	⁵ m	Ca	Mg	K	Na	
0 - 0,2	7,87	26,3	41	3	24	15,6	0,6	0,5	

¹Capacidade de troca de cátions efetiva (CTC_t); ²Capacidade de troca de cátions total (CTC_T); ³Saturação por bases (V); ⁴Saturação por alumínio (m).

Experimento irrigado

O primeiro experimento foi conduzido com irrigação suplementar de modo que o crescimento das plantas ocorresse sem deficiência hídrica, entre os meses de novembro de 2018 a abril de 2019 (14/11/2018 a 03/04/19, 140 dias). A irrigação foi realizada pelo método de aspersão, com o espaçamento entre os aspersores de 12,0 x 12,0 m, pressão de serviço de 30 m.c.a, vazão média de 0,50 m³ h⁻¹ e intensidade de aplicação de 3,6 mm h⁻¹. O manejo de irrigação foi embasado na evapotranspiração da cultura (ET_c), Equação 2.

$$ET_c = ET_0 K_c \quad (2)$$

em que: ET₀: Evapotranspiração de Referência (mm dia⁻¹); K_c: coeficiente da cultura de cada fase de desenvolvimento foi considerado os valores de: 1,0, 1,2 e 0,50, respectivamente, para as fases inicial, vegetativo e final, conforme o boletim FAO-56 (Allen et al., 1998).

Experimento de sequeiro

O cultivo de sequeiro foi instalado na estação chuvosa da região, no período de junho a outubro de 2019 (20/06/19 a 28/10/2019, 130 dias). A demanda hídrica das plantas foi entendida unicamente através das precipitações.

Sistema de cultivo

O preparo do solo em ambos os experimentos foi realizado por meio de duas gradagens, objetivando a desagregação e nivelamento do solo, posteriormente efetuou-se a abertura dos sulcos para a adubação. A adubação de fundação seguiu as recomendações do instituto agrônomo de Pernambuco (IPA, 2008) para a cultura da soja.

O plantio foi realizado em 14/11/2018 e 20/06/2020, para o ciclo irrigado e o de sequeiro, respectivamente. As sementes receberam tratamento industrial (TSI), foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* para a fixação biológica do nitrogênio (FBN).

A semeadura foi realizada manualmente, o espaçamento entre linhas foi de 0,50 m e a população de plantas variou em função da cultivar e do teste de germinação (BRASIL, 2009).

Para o controle de plantas infestantes foi utilizado em pré-emergência (Flumioxazina 500g/L) e em pós-emergência (glifosato N-(fosfonometil) glicina-370

g/L+ Glifosato 445 g/L). O controle de pragas foi realizado com a aplicação de inseticidas (Imidacloprido 700g/kg, e Lambda-cialotrina 50g/L). O controle de doenças fúngicas, foi realizado com fungicida (Tebuconazol 200 g/L+Trifloxistrobina 100 g/L).

Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com cinco repetições e os tratamentos foram seis cultivares de soja, de alto potencial produtivo, diferentes hábitos de crescimento e grupos de maturação: M 6210, M 6410, BMX-Potência, AS 3730, M 8349 e BRS-9383.

O crescimento das cultivares de soja pode apresentar forma determinada, semideterminada ou indeterminada (Tabela 3.2). Esses tipos de crescimento são classificados conforme a presença e a posição da inflorescência racemosa (TIAN et al., 2010).

Tabela 3.2. Cultivares de soja, grupo de maturação, e hábito de crescimento das cultivares de soja utilizadas no trabalho. Rio Largo, Alagoas.

Cultivar	Grupo de maturação	Hábito de Crescimento
M 6210*	6,2	Indeterminado
M 6410	6,4	Indeterminado
BMX-Potência RR	6,7	Indeterminado
AS 3730	7,3	Indeterminado
M 8349	8,3	Determinado
BRS-9383	9,3	Determinado

* M-Monsoy; BRS - Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Embrapa Soja); BMX-Brasmax; AS- Agroeste sementes

Fonte: Autor (2021).

A área experimental media 35,0 m de comprimento por 33,0 m de largura, totalizando 1.155 m², em cada bloco foram fixadas seis parcelas composta por 10 linhas com 5,0 m de comprimento, espaçadas a 0,50 m, totalizando 25,0 m², onde foram plantadas as cultivares de soja.

Dados biométricos e modelagem

As coletas de dados de crescimento foram realizadas a cada 10 dias, em 5 plantas de cada tratamento escolhidas dentro da área útil das parcelas. Foram avaliadas as variáveis: Altura de Plantas (AP, cm), Massa Seca de Plantas (MSP, g) e o Índice de Área Foliar (IAF).

A AP foi medida com uma régua graduada do colo da raiz até a parte mais alta considerando o dossel vegetativo, os dados observados foram ajustados ao modelo Logístico de crescimento. A determinação dos valores iniciais (W_0), finais (W_f) e as taxas de crescimento relativo (r) foram baseados na metodologia utilizada por (Lyra et al., 2014), Equação 5.

$$W = \frac{W_f}{\left[1 + \left(\frac{W_f}{W_0} - 1\right) \exp(-r \Sigma DAP)\right]} \quad (5)$$

em que: W (cm): é a variável de crescimento; W_0 e W_f (cm): correspondem, a taxa de crescimento inicial e final do ciclo da cultura; r (cm dia⁻¹): é a taxa máxima de crescimento relativo, calculada com base na Equação 6; ΣDAP : representa o período de crescimento em dias após o plantio.

$$TCR = \frac{\ln(h_2) - \ln(h_1)}{T_2 - T_1} \quad (6)$$

em que: h_2 : é a altura atual da planta (cm); h_1 : é a altura anterior da planta (cm); T_2 é o tempo atual (dias); T_1 é o tempo anterior (dias).

A MSP, teve caráter destrutivo, as plantas foram separadas em folhas, caules e vagens. Este material foi acondicionado em sacos de papel craft, e pesado em uma balança de precisão, em seguida foi levado à estufa de ventilação forçada à temperatura de 65°C por 72h (BENINCASA, 2003). Os dados observados foram ajustados ao modelo Sigmoidal de 3 parâmetros.

$$MSP = \frac{a}{\left(1 + \exp\left(-\frac{(DAP - x_0)}{b}\right)\right)} \quad (7)$$

em que: MSP: é a massa seca de plantas; a : matéria seca final (g); x_0 : ponto de inflexão (g) e representa a assíntota, ou seja, o valor máximo da variável de crescimento a ser atingido pelas plantas; b : o crescimento inicial e o x é o valor para estimar o DAP.

A Área Foliar (AF) das plantas foi calculada somando a área de folhas individuais, mensurada pelo comprimento e largura de um folíolo e depois multiplicado por 3, foi

adotado o fator de correção de 0,70 (GASSEN, 2001), em seguida multiplicado pelo número de folhas de cada planta para estimar a área foliar, conforme a Equação 8.

$$AF = C * L * 3 * 0,7 * NF * NP \quad (8)$$

em que: AF: é a área foliar; C: é o comprimento do folíolo; L: é a largura do folíolo; 3: é a quantidade de folíolos por folha; 0,7: é o fator de correção de forma da folha; NF: números de folhas por plantas; NP: é o número de plantas por m².

O IAF foi obtido pela relação entre a área foliar e a área ocupada por m², conforme a Equação 9, e em seguida ajustada para um hectare. Para ajuste, utilizou-se o modelo Pic Log Normal, Equação 10.

$$IAF = \frac{AF}{AOP} \quad (9)$$

em que: IAF: Índice de Área Foliar; AF: Área foliar (m²); AOP: Área ocupada de coleta em cada tratamento (m²).

$$IAF = a \exp \left[-0,5 \left\{ \ln \frac{(\Sigma DAP)}{b} \right\}^2 \right] \quad (10)$$

em que: a: valor de IAF máximo; b: valor de IAF mínimo; x₀: representa a assíntota, ou seja, o DAP em que ocorre o máximo IAF; ΣDAP: representa o somatório de dias após o plantio no período de crescimento.

Os modelos foram submetidos ao teste t de Student a (p ≤ 0,05), Equação 11 e 12.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (11)$$

em que $\bar{x}$: Média da amostra; μ_0 : Valor fixo usado para comparação com a média da amostra; s: desvio padrão (Equação 12); n: número da amostra.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (12)$$

em que, S: desvio padrão; $\bar{x}$: Média da amostra; n: número da amostra.

A acurácia dos modelos de crescimento foi avaliada por meio do coeficiente de regressão ajustado (R^2_{ajs}), índice de concordância de Willmott, (d) e coeficiente de correlação de Pearson (r). Para a avaliação dos dados estimados pelos modelos, utilizou-se o erro padrão da estimativa (EPE), que fornece o desvio médio entre os valores observados e estimados.

O R^2_{ajs} é a porcentagem de variação na resposta que é explicada pelo modelo, ajustada para o número de preditores do em relação ao número de observações, conforme a Equação 13. Quanto maior o valor de R^2_{ajs} melhor o desempenho do modelo.

$$R^2_{ajs} = 1 - \left[\frac{(1-R^2)(n-i)}{n-p} \right] \quad (13)$$

em que, p é o número de parâmetros assumidos pelo modelo; n é o número de amostras ou medidas, i é a relação de interceptação da curva dos valores observado com a curva do modelo, considerando 1 se houver interceptação das curvas com os pontos.

O índice de concordância proposto por Willmott, (1982) avalia a concordância existente entre os pontos simulados e observados através da aproximação ou afastamento dos dados, esse coeficiente é representado pela letra “d”, que varia de zero a um, em que zero indica a nulidade, e um indica a exatidão, de acordo com a Equação 14.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Si - Oi)^2}{\sum_{i=0}^N (|Si - \bar{o}| + |Oi - \bar{o}|)^2} \right] \quad (14)$$

em que: Si é o valor estimado pelo modelo no dia i; Oi é o valor observado no dia i e $\bar{o}$ é a média dos valores observados.

O coeficiente de correlação de Pearson “r” mede o grau de associação entre duas variáveis, indicando a correlação entre os dados observados e simulados, essa correlação pode ser positiva ou negativa de acordo com, Equação 15.

$$r = \frac{\sum OiSi - \frac{\sum Si \times \sum Oi}{N}}{(N-1) \times Soi * Ssi} \quad (15)$$

em que, r é o coeficiente de correlação de Pearson; $\sum Oi$ é a soma dos produtos entre os valores de observados e estimados; $\sum Oi * \sum Si$ é o produto da soma dos valores de oi e si;

N é o número de observações; SOi é o desvio padrão dos valores de oi e o SSi é o desvio padrão dos valores de si.

O Erro Padrão de Estimativa fornece o desvio médio entre os valores observados e estimados, Equação 16.

$$EPE = \sqrt{\frac{(Si - Oi)^2}{N-2}} \quad (16)$$

em que: Si é o valor estimado pelo modelo no dia i; Oi é o valor observado no dia i e $\bar{o}$ é a média dos valores observados; N é o número de amostras.

Produtividade de grãos

A Produtividade Agrícola (PA) (Mg ha^{-1}) foi calculada a partir da massa seca dos grãos (13%), coletados na área útil de $4,0 \text{ m}^2$ de cada parcela e posteriormente estimado para um hectare, Equação 17.

$$Y = \frac{M}{C \cdot E} * 10.000 \quad (17)$$

em que: Y: é a produtividade agrícola (Mg ha^{-1}); M: é a massa colhida na área amostrada (t); C: é o comprimento total das linhas colhidas (m); E: é o espaçamento entre linhas (m).

Os dados foram submetidos à análise variância pelo teste F, e quando houve efeito significativo utilizou-se a análise de agrupamento univariada, pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$), para evitar ambiguidades na comparação das médias.

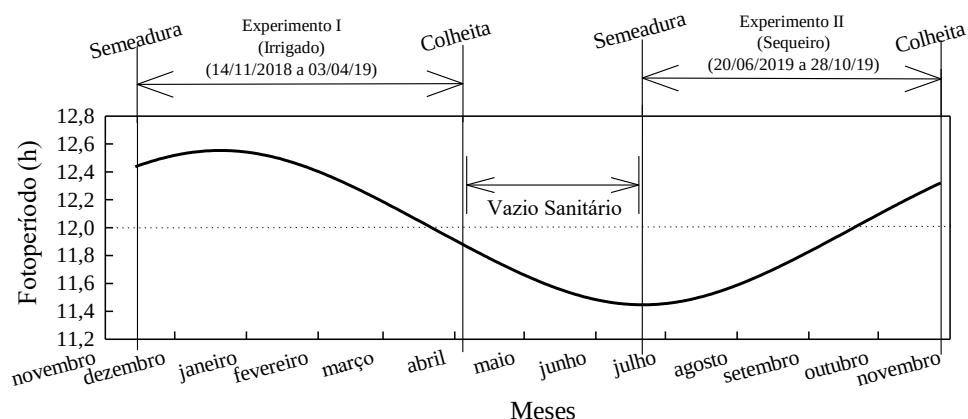
11.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dados meteorológicos

As condições meteorológicas de fotoperíodo, temperatura, evapotranspiração e precipitação em ambos os experimentos estão expostas nas Figuras 1, 2 e 3. No primeiro experimento, as horas de luz variaram de 11,90 a 12,55 h, com média de 12,35 horas ao longo de 140 dias de ciclo (Figura 3.1). Logo, a indução ao florescimento levou mais tempo do que em sequeiro, o que aumentou o período vegetativo das plantas. O

experimento de sequeiro, teve menor fotoperíodo, com variação de 11,40 a 12,30 h, e média de 11,80 h. Houve redução no ciclo das cultivares, principalmente para as cultivares de menor GM e de hábito crescimento indeterminado, o que promoveu a diminuição no porte das plantas.

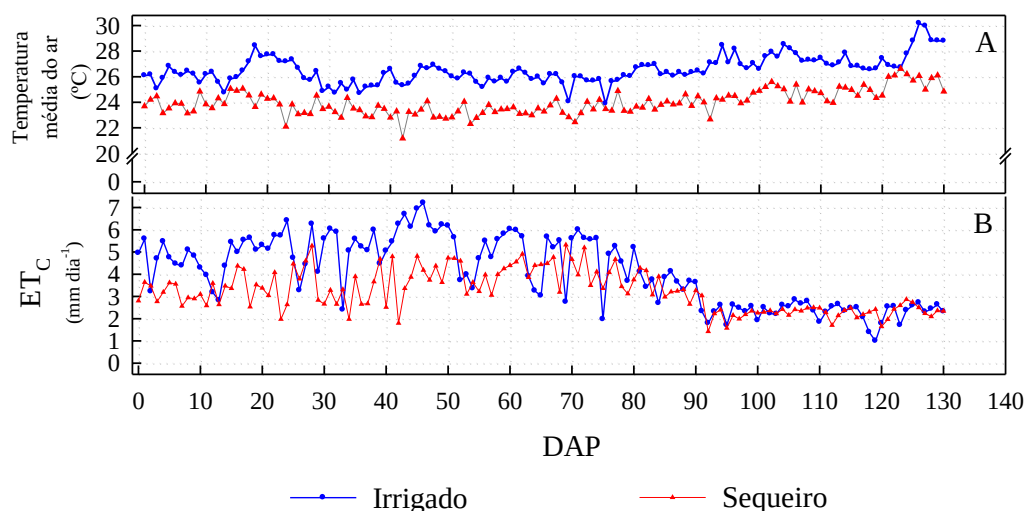
Figura 3.1. Fotoperíodo durante os experimentos, irrigado de 14 de novembro de 2018 a 04 de abril de 2019, e em sequeiro de 20 de junho a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.



Fonte: Autor (2021).

A temperatura do ar média, máxima diária, registrada no primeiro experimento foi de 30,2 °C aos 126 DAP (20/03/2019), com o valor médio de 26,50 °C e o mínimo de 23,9 °C aos 75 DAS (28/01/19). A temperatura do ar, durante o experimento de sequeiro foi inferior ao irrigado (Figura 3.2A). A temperatura do ar média diária máxima registrada foi de 26,6 °C aos 123 DAP (21/10/2019), média de 24 °C e média mínima de 21,2 °C aos 42 DAS (01/08/2019). Logo, não ocorreram limitações térmicas para o crescimento da soja, cuja faixa térmica adequada ao seu crescimento e desenvolvimento está entre 20 e 30 °C (FARIAS, 2009).

Figura 3.2. Variáveis Agrometeorológicas temperatura (A), e evapotranspiração da cultura (B), irrigado no período de 14 de novembro de 2018 a 04 de abril de 2019, e em sequeiro de 20 de junho a 28 de outubro de 2019, em de Rio Largo, Alagoas.



Fonte: Autor (2021).

A evapotranspiração da cultura (ET_c) durante o ciclo irrigado foi maior em relação ao sequeiro, o que pode ser justificado pela maior incidência de radiação solar e da temperatura sobre o dossel vegetativo e o solo, o que aumenta a transpiração e evaporação de água para a atmosfera. A Figura 3.2B mostra a variação da ET_c em ambos os experimentos. No irrigado o valor máximo de ET_c foi de 7,20 mm dia⁻¹, aos 46 DAP, com média de 3,90 mm dia⁻¹ e mínimo de 0,99 mm dia⁻¹, aos 119 DAP, ao fim do experimento foram somados 554 mm, durante 140 dias de cultivo. Em sequeiro as ET_c totalizaram 422 mm, em 130 dias de cultivo, com máxima de 5,31 mm dia⁻¹ aos 69 DAP, média 3,22 mm e mínima de 1,42 mm dia⁻¹ aos 92 DAP.

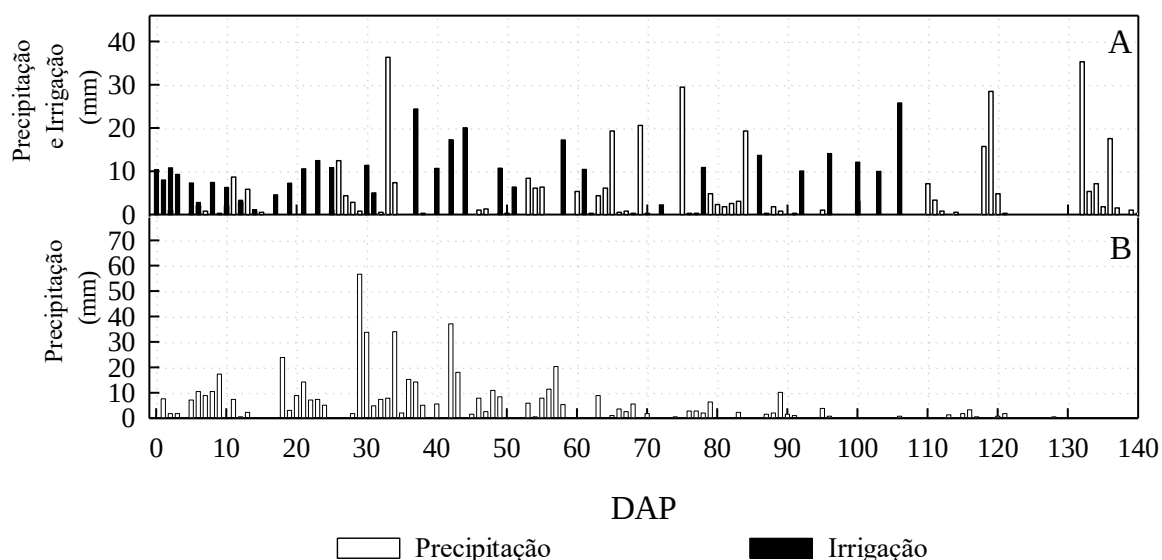
Em relação às precipitações, no primeiro experimento, ocorreram eventos de chuva em 28 dias (20%) dos 140 dias de ciclo das cultivares. A precipitação pluvial totalizou 375 mm, sendo novembro o mês menos chuvoso (25,0 mm) e janeiro o mais chuvoso (109,20 mm). O maior evento de precipitação foi de 36,32 mm/dia aos 33 DAP (17/12/2018) e a média de 2,70 mm dia⁻¹ (Figura 3.3A).

Foram necessários 345,30 mm, para atender a demanda hídrica das plantas, visto que ocorreram 70 dias sem chuva o que corresponde a 50% do ciclo das cultivares, a maior lâmina aplicada foi 25,85 mm, a lâmina média foi de 10,46 mm e valor mínimo de 2,26 mm. Houve incremento na disponibilidade de água a cultura, observada pela lâmina total (precipitação efetiva+irrigação) de 720 mm.

Em relação ao ciclo em sequeiro, houve excesso em 24 dias de ciclo (18,46%) e 44 dias sem chuva (33%). A maior chuva ocorreu aos 29 DAP, equivalente a 56 mm (Figura 3B). As precipitações totalizaram 547,37 mm. No entanto, é válido ressaltar que não houve uma boa distribuição do volume de água nas fases de enchimento de grãos (R5-R6).

Para esse ciclo, ocorreram eventos de chuva em 87 dias (67%) dos 130 dias do cultivo (Figura 3.3B). Em julho ocorreram 26 dias com chuva, com a precipitação total de 269,50 mm, já em setembro e outubro as precipitações foram de 39,1 e 11,20 mm, respectivamente.

Figura 3.3. Precipitação e irrigação (A) no período de 14 de novembro de 2018 a 04 de abril de 2019, e Precipitação (B) de 20 de junho a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.



Fonte: Autor (2021).

Dados biométricos e modelagem

Altura de plantas

Os coeficientes do modelo ajustados para a AP (W_f e r) foram significativos pelo teste t de Student ($p < 0,01$) (Tabela 3.3). Os dados estimados apresentaram R^2_{ajs} entre 0,94 e 0,99, índice de concordância de Willmott (d), superiores a 0,99, índice de correlação de Person de 0,99 e o EPE variou de $\pm 7,38$ (BRS-9383) a $\pm 2,45$ (M 6410) e média de $\pm 4,46$ (Tabela 3.3).

Tabela 3.3. Altura de plantas (AP), estimada pelo modelo logístico, para cultivares de soja, irrigada no período 14 de novembro de 2018 a 04 de março de 2019, e em sequeiro de 20 de junho a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.

Cultivares	Parâmetros				
	Altura do plantas (cm)				
	W _{f0}	W _f	W ₀	r	R ² _{ajs}
Irrigado					
M 6210	90,12	93,65**	2,52 *	0,108**	0,99
M 6410	90,48	92,40**	2,46*	0,106**	0,99
BMX-Potência	96,34	101,16**	2,11 ^{ns}	0,11**	0,98
AS 3730	98,10	101,24**	2,025*	0,105**	0,99
M 8349	96,13	107,42**	2,76 ^{ns}	0,115**	0,96
BRS-9383	98,45	110,35**	2,72 ^{ns}	0,101**	0,95
Sequeiro					
M 6210	42,60	48,32**	1,68 ^{ns}	0,118*	0,93
M 6410	42,97	49,90**	1,87 ^{ns}	0,116*	0,91
BMX-Potência	46,42	52,51**	1,45 ^{ns}	0,130*	0,91
AS 3730	41,45	44,54**	1,72*	0,116*	0,97
M 8349	58,10	67,32**	2,03 ^{ns}	0,118**	0,94
BRS-9383	62,91	72,85**	1,59 ^{ns}	0,130**	0,94
	r		d		EPE
	Irrigado	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro	Irrigado Sequeiro
M 6210	0,997	0,978	0,998	0,988	± 3,00 ± 4,02
M 6410	0,998	0,944	0,999	0,973	± 2,45 ± 5,78
BMX-Potência	0,995	0,974	0,997	0,987	± 4,35 ± 4,85
AS 3730	0,998	0,985	0,999	0,993	± 2,75 ± 2,95
M 8349	0,989	0,980	0,994	0,993	± 6,38 ± 5,21
BRS-9383	0,984	0,978	0,992	0,989	± 7,83 ± 5,99

**significativo à nível de 1%; *significativo à nível de 5%; ns não significativo pelo teste t. Altura final observada (W_{f0}, cm), inicial (W₀, cm) e final (W_f, cm) e taxa de crescimento relativo, r (cm cm dia⁻¹), ajustado pelo modelo Logístico. Coeficiente de regressão ajustado (R²_{ajs}), coeficientes de correlação de Pearson (r), índice de concordância Willmott (d) e Erro Padrão de Estimativa (EPE).

Fonte: Autor (2021).

Os valores deste trabalho são próximos aos encontrados por Bender et al. (2020), que avaliaram o ajuste do modelo logístico, para a AP do algodão adubado com diferentes fontes de nitrogênio no Cerrado baiano, e verificaram uma boa acurácia com R²_{ajs} variando de 0,996 a 0,946, e EPE variando de ± 3,65 a ± 2,97. Moraes et al. (2017) constataram um bom ajuste do modelo logístico para a AP na cultura do milho em épocas de semeio em Alagoas, com R²_{ajs} variando de 0,985 a 0,991. Lyra et al. (2014) também encontraram um bom ajuste do modelo logístico para a AP na cultura do milho sob níveis de nitrogênio, com R²_{ajs} variando de 0,989 a 0,992. Andrade Neto et al. (2010) também ajustaram o modelo logístico para AP, na cultura do sorgo sob adubação verde, e obtiveram R²_{ajs} entre 0,910 e 0,990.

Os maiores crescimentos iniciais (W₀) foram de 2,72 e 2,76 cm, para as cultivares de crescimento determinado (M 8349 e BRS-9383), enquanto para as de crescimento

indeterminado as médias variaram de 2,03 a 2,46 cm (Tabela 3.3). A maior AP final (W_f) foi estimada nas cultivares BRS-9383 e M 8349, com 110,35 e 107,42 cm, respectivamente.

As cultivares de crescimento determinados cessam a atividade vegetativa logo após a indução floral induzida pelo fotoperíodo (Figura 3.1). Por causa disso, geralmente, têm uma copa mais folheada com um comprimento de tronco principal mais longo. Pesquisas realizadas por Heatherly e Smith (2004) e Zanon et al. (2016), verificaram que as cultivares determinadas apresentam maior taxa de crescimento até o florescimento, enquanto as cultivares indeterminadas apresentam crescimento inicial mais lento, porém cessando somente no início do enchimento de grãos.

No entanto, verifica-se que a irrigação favoreceu as cultivares de crescimento indeterminado com médias de W_f estimadas pelo modelo, próximas das de crescimento determinado variando de 93,60 a 101,16 cm. A taxa máxima de crescimento relativo variou de 0,116 a 0,130 $\text{cm cm}^{-1} \text{dia}^{-1}$, entre as cultivares. Comparando o maior W_f sob irrigação de 110,35 cm, com o W_{fo} de 98,45 cm, aos 100 DAP, na cultivar BRS-9383, verifica-se que o modelo logístico superestimou em 10,80% a maior AP.

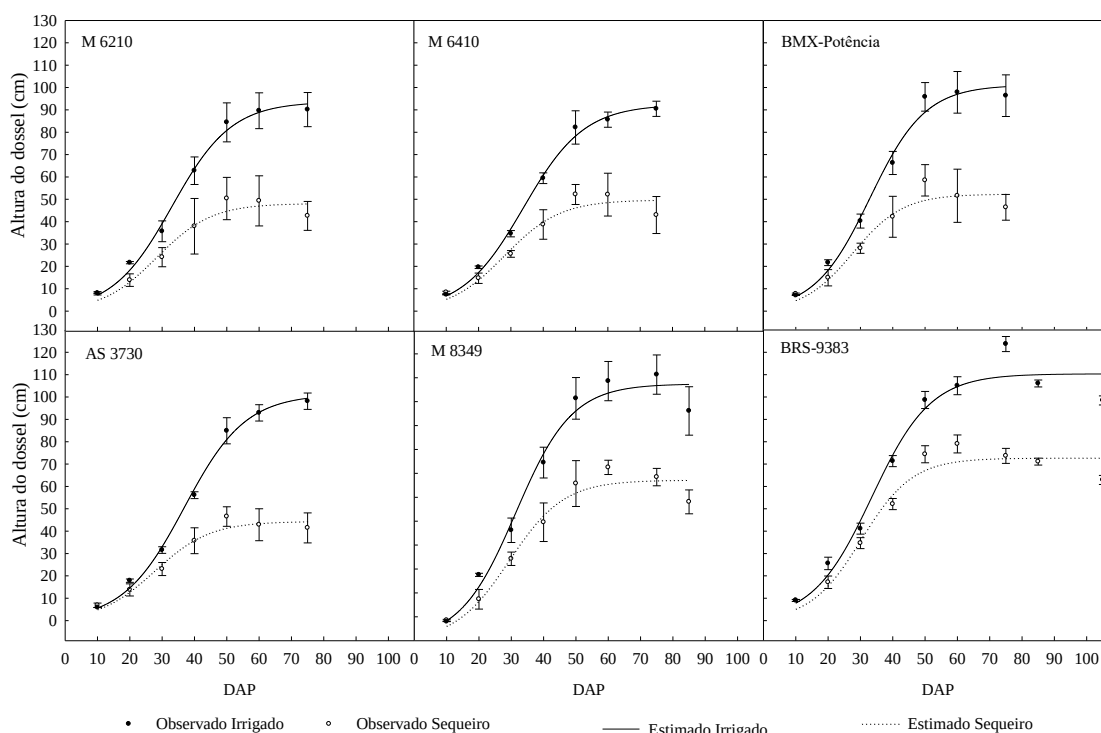
A média geral de AP das cultivares em sequeiro foi reduzida em 36% em relação a irrigada, durante o crescimento vegetativo da soja, a deficiência hídrica pode reduzir o porte das plantas devido à redução de expansão celular.

O modelo logístico de crescimento mostrou bom ajuste, o coeficiente de altura final (W_f) foi estatisticamente significativo pelo teste t ($p < 0,01$) (Tabela 3.4). O R^2_{aj} variando de 0,94 a 0,97, índice de correlação de Person de 0,98, Willmott de 0,98 e o EPE variou de $\pm 2,95$ (AS 3710) a $\pm 6,0$ (BRS-9383), e média de 4,80 para as cultivares.

As cultivares de crescimento determinado BRS-9383 e M 8349 tiveram os maiores W_f , com 72,85 e 67,32 cm, respectivamente. As menores AP em sequeiro foram estimadas em 44,54 e 48,32 cm, nas cultivares AS 3730 e M 6210. O W_0 em sequeiro variou de 1,45 a 2,03 cm, todavia, não foram significativos para a maioria das cultivares, exceto para a AS 3730 significativo à 5% de probabilidade. A taxa máxima de crescimento relativo para a AP em sequeiro variou de 0,116 a 0,130 $\text{cm cm}^{-1} \text{dia}^{-1}$.

Observa-se na Figura 3.4, que a maior AP em sequeiro também foi observada na cultivar BRS-9383, com valor mínimo, médio e máximo de: 9,00, 52,70 e 80,00 cm, aos 10, 40 e 60 DAP, respectivamente. O modelo de logístico descreveu o crescimento inicial médio de 1,59 cm e altura máxima média do dossel como 72,85 cm com R^2_{aj} de 0,95.

Figura 3.4. Altura de plantas de cultivares de soja, irrigadas no período 14 de novembro de 2018 a 04 de março de 2019, e em sequeiro de 20 de junho a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.



Fonte: Autor (2021).

A maioria das cultivares de soja lançadas no mercado brasileiro apresentam tipo de crescimento indeterminado e com menor ramificações. A altura necessária de 60 cm é o mínimo que a soja deve atingir na época de colheita, visto que valores inferiores, dificultam a colheita mecanizada, o que aumenta as perdas de grãos (PROCÓPIO et al., 2013; TORRES et al. 2014; WERNER et al., 2016).

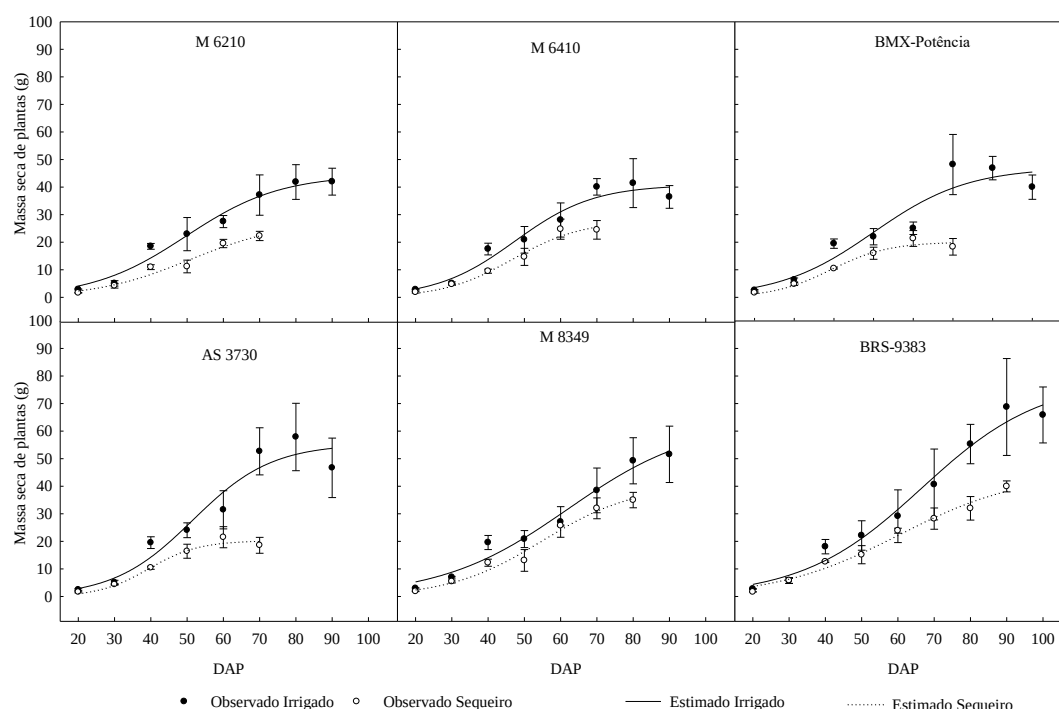
Matéria seca de plantas

As diferentes expressões de acúmulo da MSP nos cultivares de soja, e nas condições estudadas, apresentam a tendência sigmoideal, uma vez que o aumento da matéria seca de plantas é uma variável irreversível.

Na Figura 3.5, verifica-se que o acúmulo de MSP das cultivares nas fases iniciais é baixo, e nota-se que há similaridade entre os experimentos neste período (20 a 30 DAP), corroborando com Oliveira et al. (2013), que usou o modelo Sigmoideal para a MSP de milho, e verificaram que a fase inicial de alocação de MSP é lenta, seguida de uma fase de crescimento rápido, com acúmulo de 80-90% de toda a MSP. Pode-se observar a

superioridade nas médias de MSP pelos cultivares quando irrigados, comparando os valores máximos observados, verifica-se uma redução considerável na ordem de 44,3% do sequeiro em relação ao irrigado, isso é justificado pela falta de água ao longo do crescimento das plantas (Tabela 3.4).

Figura 3.5. Massa seca de plantas das cultivares de soja, irrigadas no período 14 de novembro de 2018 a 04 de março de 2019, e em sequeiro de 20 de junho a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.



Fonte: Autor (2021).

O modelo Sigmoidal mostrou um bom ajuste para a MSP, os parâmetros de matéria seca final (a) e ponto de inflexão (x_0) foram estatisticamente significativos pelo teste t de Student ($p < 0,01$). A taxa de crescimento inicial (b) não teve efeito significativo para a cultivar BMX-Potência, porém, houve significância ($p < 0,05$) para as cultivares AS 3730 e M 6410, e significância ($p < 0,01$) para as demais cultivares, o que indica que o modelo descreve quase a totalidade da variabilidade dos dados de MSP (Tabela 3.4).

Tabela 3.4. Massa seca de plantas (MSP), estimada pelo modelo Sigmoidal de 3 parâmetros, para as cultivares de soja, irrigada no período de 14 de novembro de 2018 a 04 de março de 2019, e em sequeiro de 20 de junho a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.

Cultivares	Parâmetros					
	Massa Seca de Plantas (g)					
	a ₀	a	x ₀	b	R ² _{ajs}	
Irrigado						
M 6210	41,98	44,42**	49,70**	13,03**	0,96	
M 6410	36,44	40,82**	47,40**	10,89*	0,94	
BMX-Potência	40,0	47,06**	49,90**	11,92 ^{ns}	0,86	
AS 3730	46,70	55,30**	51,54**	10,91*	0,90	
M 8349	51,59	63,44**	62,00**	17,54**	0,96	
BRS-9383	65,88	78,70**	66,58**	16,50**	0,97	
Sequeiro						
M 6210	22,28	27,58*	50,57*	13,14 ^{ns}	0,93	
M 6410	24,50	27,91**	46,61**	9,62*	0,96	
BMX-Potência	18,35	20,26**	39,06**	7,35*	0,96	
AS 3730	18,59	20,41**	39,31**	6,90*	0,96	
M 8349	35,0	40,76**	54,86**	12,86*	0,96	
BRS-9383	40,0	44,91**	60,13**	16,95**	0,97	
r			d		EPE	
	Irrigado	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro
M 6210	0,988	0,961	0,992	0,978	± 1,72	± 1,81
M 6410	0,980	0,947	0,990	0,969	± 2,46	± 1,61
BMX-Potência	0,950	0,987	0,974	0,993	± 4,89	± 1,43
AS 3730	0,967	0,989	0,983	0,994	± 4,79	± 1,35
M 8349	0,988	0,963	0,994	0,977	± 2,22	± 2,09
BRS-9383	0,991	0,992	0,995	0,996	± 2,82	± 1,86

**significativo à nível de 1%; *significativo à nível de 5%; ns não significativo pelo teste t. a₀: matéria seca final observada (g); a: matéria seca final estimada (g); x₀: ponto de inflexão (g); e b: massa seca inicial, ajustados pelo modelo Sigmoidal de 3 parâmetros. Coeficiente de regressão ajustado (R²_{ajs}), coeficientes de correlação de Pearson (r), índice de concordância Willmott (d) e Erro Padrão de Estimativa (EPE).

Fonte: Autor (2021).

A MSP final observada, nesse experimento, oscilou entre 36,44 e 65,88 g planta⁻¹

¹ Os dados estimados apresentaram R²_{ajs} variando de 0,86 a 0,97, índices de concordância de Willmott (d), superiores a 0,97, índice de correlação de Pearson de 0,95 a 0,98. O EPE foi de ± 1,35 (AS 3730) a ± 2,09 (M 8349), e média de ± 1,69 (Tabela 3.4).

Os valores máximos de MSP foram estimados em 78,70 e 63,44 g aos 100 e 90 DAP, respectivamente, para as cultivares BRS-9383 e M 8349 (Figura 3.5). No entanto, quando se compara os valores de MSP final observada (a₀) com os de MSP final estimada (a), verifica-se uma superestimação na ordem de 16,30 e 18,70%, respectivamente.

Da mesma forma que a MSP sob irrigação, o modelo Sigmoidal também mostrou um bom ajuste em sequeiro (Tabela 3.4), o R²_{ajs} variou de 0,93 a 0,97. A correlação de Person teve valores superiores a 0,94 e índice de Willmott variando de 0,96 a 0,99 e EPE de ± 1,72 (M 6410) a ± 4,89 (BMX-Potência) e média de ± 3,15 entre as cultivares.

As maiores MSP foram observadas nas cultivares de crescimento determinado, BRS-9383 e M 8349, com valores estimadas de 44,91 e 40,76 g, aos 70 e 80 DAP. Entre as cultivares de crescimento indeterminado os valores observados variaram de 20,26 a 27,91 g, aos 60 DAP (Tabela 3.4).

Os valores máximos observados para a MSP foram de 40,0 e 35,0 g, nas cultivares BRS-9383 e M 8349, aos 100 e 90 DAP, respectivamente. No entanto, ao se comparar os dados observados (ao) com os estimados (a), para as mesmas cultivares, verifica-se uma superestimação na ordem de 10,90 e 14,10%. Os parâmetros de matéria seca final (a) e ponto de inflexão (x_0) foram estatisticamente significativos ($p < 0,01$). A taxa de crescimento inicial (b) não teve efeito significativo para a M 6210, porém, houve significância ($p < 0,01$) para a cultivar BRS-9383, e significância ($p < 0,05$) para as demais cultivares.

IAF

Em relação ao IAF para as cultivares de soja irrigadas, o ajuste do modelo Pic log normal R^2_{ajs} variou entre 0,989 e 0,994. Os dados estimados apresentaram concordância elevada com os observados, pelos índices de correlação de Pearson (r) variando de 0,92 a 0,97, e concordância de Willmott (d), entre 0,94 e 1,0. O EPE apresentou variação entre $\pm 0,51$ (M 6410) e $\pm 1,04$ (BRS-9383) (Tabela 3.5). Os parâmetros de IAF máximo estimado (a), mínimo estimado (b), e o ponto de inflexão (x_0) foram estatisticamente significativos ($p < 0,01$).

Bender et al. (2020), ajustou o modelo pic log para o IAF da cultura do algodão submetida a duas fontes de nitrogênio, e verificaram R^2_{ajs} de 0,889 a 0,921, com EPE variando de $\pm 0,14$ a $\pm 1,23$. Lyra et al. (2014), ajustou o modelo pic log para o milho sob seis doses de nitrogênio, e verificaram um bom ajuste de R^2_{ajs} entre 0,81 a 0,92, e EPE entre $\pm 0,320$ a $\pm 0,542$. Ferreira Júnior et al. (2014) também avaliaram o modelo pic log normal para o IAF da cana-de-açúcar RB98710 irrigada por gotejamento, em dois tipos de espaçamento e verificaram R^2_{ajs} variando de 0,989 a 0,980.

Tabela 3.5. Índice de área foliar (IAF), estimado pelo modelo Pic Log Normal, para as cultivares de soja, irrigada no período de 14 de novembro de 2018 a 04 de março de 2019, e em sequeiro de 20 de junho a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.

Cultivares	Parâmetros					
	Índice de Área Foliar (IAF)					
	a ₀	a	b	x ₀	R _{aj} s ²	
	Irrigado					
M 6210	5,98	5,55**	0,39**	50,24**	0,94	
M 6410	5,31	4,75**	0,40**	49,82**	0,93	
BMX-Potência	6,73	5,76**	0,44**	49,16**	0,86	
AS 3730	5,26	5,13**	0,39**	51,62**	0,96	
M 8349	7,23	6,27**	0,46**	50,33**	0,94	
BRS-9383	7,68	7,60**	0,44**	57,84**	0,89	
	Sequeiro					
M 6210	2,86	2,70**	0,36**	46,93**	0,87	
M 6410	2,76	2,49**	0,28**	54,50**	0,92	
BMX-Potência	3,25	3,17**	0,34**	47,00**	0,81	
AS 3730	1,83	1,83**	0,28**	53,35**	0,92	
M 8349	5,67	4,76**	0,35**	56,00**	0,90	
BRS-9383	6,34	6,26**	0,38**	61,58**	0,87	
	r		d		EPE	
	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro
M 6210	0,972	0,751	0,983	0,967	± 0,53	± 0,14
M 6410	0,966	0,941	0,983	0,968	± 0,51	± 0,14
BMX-Potência	0,928	0,906	0,96	0,950	± 0,92	± 0,34
AS 3730	0,933	0,954	0,948	0,976	± 0,94	± 0,06
M 8349	0,967	0,954	1,00	0,976	± 0,58	± 0,39
BRS-9383	0,942	0,935	0,969	0,965	± 1,04	± 0,89

**significativo à nível de 1%; *significativo à nível de 5%; ns não significativo pelo teste t. IAF máximo observado (a_0), IAF máximo estimado (a), IAF mínimo estimado (b), e o DAP em que ocorre o IAF máximo (x_0), ajustado pelo modelo Pic Log Normal. Coeficiente de regressão ajustado (R_{ajs}^2), coeficientes de correlação de Pearson (r), índice de concordância Willmott (d) e Erro Padrão de Estimativa (EPE).

Fonte: Autor (2021).

O ponto máximo estimado entre as cultivares para o IAF sob irrigação ocorreu em média, aos 52 DAP, com valor médio estimado de 5,8, o que equivale a 5,8 m² de folhas para 1 m² de solo. As cultivares de crescimento determinado BRS-9383 e M 8349, apresentaram os maiores IAFs, de 7,60 e 6,27, respectivamente, aos 58 e 50 DAP. A cultivar M 6410 teve o menor valor de IAF máximo (4,75), estimados aos 50 DAP (Tabela 3.5).

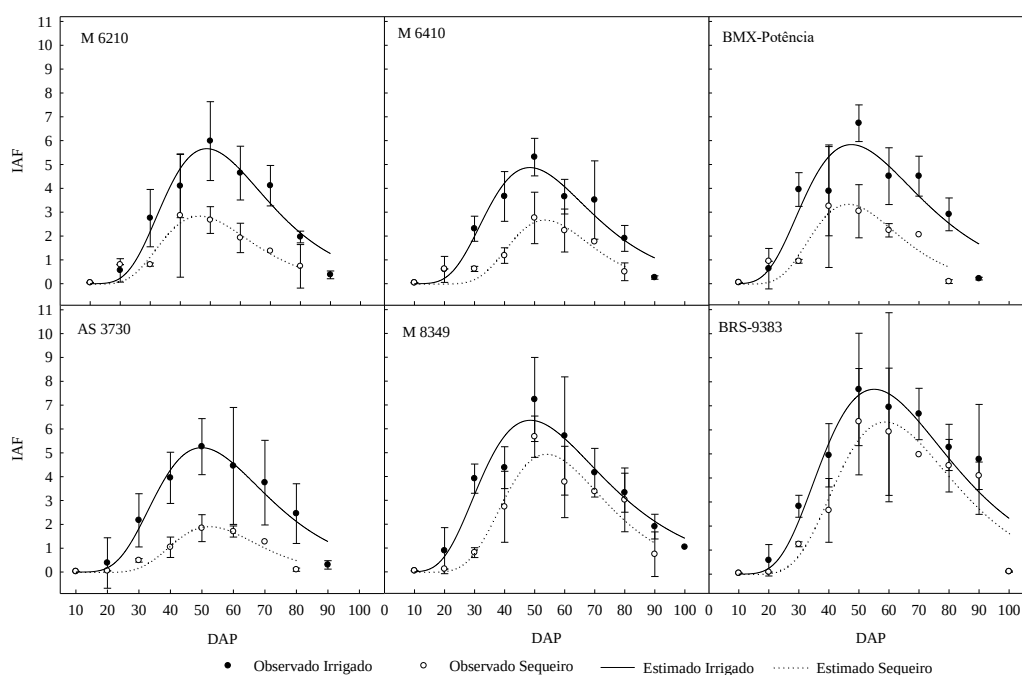
O maior valor de IAF máximo observado, sob irrigação, foi 7,68, observado na cultivar BRS-9383. Na cultivar M 6410, foi identificado o menor IAF máximo observado, que foi 5,3 (Figura 2.4). Trabalhos conduzidos por Balbinot Junior et al. (2018); Tagliapietra et al. (2018), indicam que o IAF ótimo para maximizar a produtividade em cultivares modernas, varia de 6,0 a 6,5.

A área foliar de soja é uma variável crítica para o rendimento e é influenciada por fatores abióticos (radiação solar e da temperatura) e bióticos (pragas e doenças), o máximo rendimento da soja é determinado pela capacidade das plantas interceptarem radiação solar através do índice de área foliar (IAF) e converterem esta radiação em matéria seca pelo processo fotossintético (TAGLIAPIETRA, et al. 2018; ZANON, et al. 2016).

No entanto, o excesso de folhas pode comprometer a eficiência fotossintética uma vez que há o sombreamento das partes abaxiais do dossel, além disso cria-se um microclima ideal para doenças fúngicas (BALBINOT JUNIOR et al., 2018; ZOTTIS, 2015; GASSEN, 2001)

Os dados estimados de IAF das cultivares em sequeiro apresentaram acurácia, com R^2_{aj} entre 0,81 e 0,92 (Tabela 3.5), os índices de correlação de Pearson (r) variaram de 0,75 a 0,95, a concordância de Willmott (d), foi superior a 0,95. O EPE variou de $\pm 0,51$ (AS3730) a $\pm 0,89$ (BRS-9383), com média de 0,33, entre as cultivares. Os parâmetros de IAF máximo estimado (a), mínimo estimado (b), e o ponto de inflexão (x_0) foram estatisticamente significativos ($p < 0,01$).

Figura 3.6. Índice de Área Foliar (IAF) de cultivares de soja, irrigada no período 14 de novembro de 2018 a 04 de março de 2019 (A), e em sequeiro de 20 de junho a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.



Fonte: Autor (2021).

De maneira geral, foi observado, nessa pesquisa, que o IAF das cultivares de soja é reduzido pelo estresse hídrico, comparando as médias dos pontos máximos observados sob irrigação com os de sequeiro, verifica-se uma redução na ordem de 43% (Tabela 3.5).

As cultivares de crescimento determinado BRS-9383 e M 8349, tiveram os maiores IAFs observados de 6,34, e 5,67, respectivamente aos 50 DAP, e estimado de 6,34 e 4,76, aos 62 e 56 DAP. Entre as cultivares de crescimento indeterminado o maior IAF, observado e estimado foi de 3,25 e 3,17, respectivamente, na cultivar BMX-Potência; e o menor ponto observado e estimado, foi de 1,83 (AS 3730) aos 50 e 53 DAP.

Produtividade de grãos

Com relação à produtividade, as cultivares mostraram diferença significativa, a 1% de probabilidade, em ambos os experimentos (Tabela 3.6).

Tabela 3.6. Análise de variância para Produtividade agrícola (PA) (Mg ha^{-1}) de cultivares de soja irrigadas no período 14 de novembro de 2018 a 04 de março de 2019, e em sequeiro de 20 de junho a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.

Fontes de variação	GL ¹	Valores de Quadrado Médio ²	
		Produtividade Agrícola (Mg ha^{-1})	
		Irigado	Sequeiro
Cultivares (C)	5	3,29**	1,130**
Bloco	4	0,18 ^{ns}	0,048 ^{ns}
Resíduo	20	0,43	0,067
Total	29	-	-
CV (%)		12,33	8,75

¹Graus de liberdade; ²**Significativo à nível de 1% pelo teste F.

Fonte: Autor (2021).

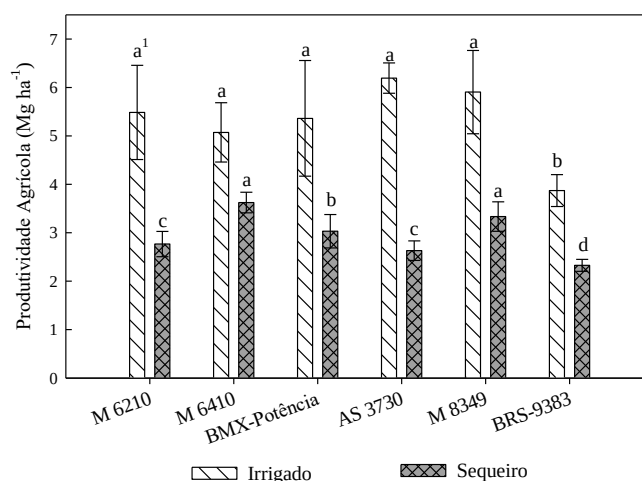
As médias observadas de PA foram agrupadas em dois grupos, pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$), as maiores produtividades foram observadas nas cultivares AS 3730 ($6,19 \text{ Mg ha}^{-1}$) e M 8349 ($5,90 \text{ Mg ha}^{-1}$), as cultivares M 6210, BMX-Potência e M 6410 apresentaram PA de 5,48, 5,36 e $5,07 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente (Figura 3.7). O segundo grupo com a menor média de produtividade ($3,48 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi observada na cultivar BRS-9383. De maneira geral, foi observada a média de $5,32 \text{ Mg ha}^{-1}$, para as cultivares sob irrigação.

Para a PA em sequeiro, o teste de Scott-Knott formou 4 grupos distintos. O primeiro com as cultivares M 6410 e M 8349, $3,62$ e $3,34 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente. O Segundo grupo com a cultivar BMX-Potência, $3,03 \text{ Mg ha}^{-1}$. O terceiro grupo com as cultivares, M 6210 e AS 3730, com valores de $2,76$ e $2,63 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente. O quarto grupo

teve o menor valor de produtividade, observado na cultivar BRS-9383, 2,33 Mg ha⁻¹. Procópio et al., (2018) avaliaram a PA de 8 cultivares de soja em sequeiro, e verificaram médias variando de 1,783 (BRSGO-8660) a 4,332 Mg ha⁻¹ (BRS-9280).

Foram observadas reduções acentuadas, na ordem de 44,3%, na produtividade das cultivares de soja, quando se compara a médias geral das cultivares sob irrigação (5,30 Mg ha⁻¹) com a de sequeiro (2,95 Mg ha⁻¹) (Figura 3.7).

Figura 3.7. Produtividade Agrícola (Mg ha⁻¹) de cultivares de soja, irrigadas no período 14 de novembro de 2018 a 04 de abril de 2019, e em sequeiro de 20 de junho a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.



¹As médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (1974) a $p < 0,05$.

Fonte: Autor (2021).

11.4. CONCLUSÃO

Os modelos Logístico, Sigmoidal e Pic log normal apresentaram ajustes estatisticamente significativos para a altura de plantas, matéria seca de plantas e índice de área foliar, e podem ser usados para avaliar o crescimento de plantas de soja, ao longo dos dias após o plantio.

As cultivares de hábito crescimento determinado, tiveram as maiores taxas de crescimento, em condições de irrigação e de sequeiro.

As cultivares M 6410 e M 8349 foram mais produtivas, e são indicadas para o plantio na região, em condições de irrigação e sequeiro.

11.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE NETO, R.C., MIRANDA, N.O., DUDA, G.P, GÓES, G.B., LIMA, A.S. Crescimento e produtividade do sorgo forrageiro BR 601 sob adubação verde. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 14:124-130. 2010.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Evapotranspiração das culturas: diretrizes para o cálculo da necessidade de água nas culturas Documento de Irrigação e Drenagem 56, **Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação**, Roma, Itália, 1998.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; OLIVEIRA, M. C. N. de; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; ZUCARELI, C.; FERREIRA, A. S.; WERNER, F. Phenotypic plasticity in a soybean cultivar with indeterminate growth type. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, p. 1038-1044, 2018.

BENINCASA, M. M. P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. 2. ed. Jaboticabal: **FUNEP**, 2003. 41 p.

BOFF, H.; LEVIEN, A. M. Ensaio de cultivares em rede. **Revista ECR Soja**, Passo Fundo, v. 1, p. 1-44, ago. 2019. Fundação Pró-Sementes. Disponível em: <https://fundacaoprosementes.com.br/wp-content/themes/alpina-theme/assets/arq/ECR-SOJA-RS-2018-2019.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 398p.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra 2019/2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em 14/11/2020.

CRUZ, J. C. Quatrocentos e setenta e sete cultivares de milho estão disponíveis no mercado de sementes do Brasil para a safra 2015/16 /... [et al.]. -- Sete Lagoas: Embrapa

Milho e Sorgo, 2015. 28 p. (**Documentos / Embrapa Milho e Sorgo**, ISSN 1518- 4277; 184).

FARIAS, J. R. B; NEUMAIER, N; NEPOMUCENO, A. L. Soja. Agrometeorologia dos cultivos. Brasília DF, p. 263-277, **INMET**. 2009.

FERREIRA JÚNIOR, R. A.; SOUZA J. L.; ESCOBEDO J. F.; TEODORO I.; LYRA G. B. et al. Cana de açúcar com irrigação por gotejamento em dois espaçamentos entrelinhas de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 18, p. 798-804, 2014.

GASSEN, D. N. O desfolhamento e a planta de soja. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, p.26, jan/fev, 2001.

HEATHERLY, L. G. e SMITH, J. R. (2004). Effect of soybean stem growth habit on height and node number after beginning bloom in the midsouthern USA. **Crop Science**, 44, 1855-1859.

LIMA, E. P., SILVA, E. L. Temperatura base, coeficientes de cultura e graus-dia para cafeeiro arábica em fase de implantação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 12:266-273. (2008)

LYRA, G. B., ROCHA A. E. Q., LYRA, G. B., SOUZA, J. L., TEODORO, I. Crescimento e produtividade do milho, submetido a doses de nitrogênio nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n.4, p. 578-586, 2014.

MONTOYA, F., GARCÍA, C., PINTOS, F., OTERO, A. Effects of irrigation regime on the growth and yield of irrigated soybean in temperate humid climatic conditions. **Agric. Water Manag.** 193, 30–45, 2017.

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

OLIVEIRA, P., NASCENTE, A.S., KLUTHCOUSKI, J., PORTES, T. A. Crescimento e produtividade de milho em função da cultura antecessora. **Pesquisa Agropecuária Trop.** 43, 239–246, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000300005>

PROCÓPIO, S. O.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; PANISON, F. Plantio cruzado na cultura da soja utilizando uma cultivar de hábito de crescimento indeterminado. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, p. 319-325, 2013.

SANTIAGO, A. D.; PROCÓPIO, S. O.; CARVALHO H. W. L.; BRAZ, G. B. P. Desempenho de cultivares de soja em áreas com histórico de produção de cana-de-açúcar no Sealba. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2019. 30 p. (**Boletim de Pesquisa / Embrapa Tabuleiros Costeiros**, ISSN 1678-1961; 142).

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

SETIYONO, T. D. et al. Nodal leaf area distribution in soybean plants grown in high yield environments. **Agronomy Journal**, v. 103, p. 1198-1205, 2011. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2011.0051>.

TAGLIAPIETRA, E. L.; STRECK, N. A.; ROCHA, T. S. M.; RICHTER, G. L.; SILVA, M. R.; CERA, J. C.; GUEDES, J. V. C.; ZANON, A. J. Optimum leaf area index to reach soybean yield potential in subtropical environment. **Agronomy Journal**, v. 110, p. 932-938, 2018.

TOLEDO, N. T., MULLER, A. G., BERTO, J.L., MALLMANN, C. E. S. Ajuste do modelo fototérmico de estimativa do desenvolvimento e do índice de área foliar de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.3, p.288–295, 2010.

TORRES, F.E.; SILVA, E.C. E TEODORO, P.E. Desempenho de genótipos de soja nas condições edafoclimáticas do ecótono Cerrado-Pantanal. **Interações**, v.15, n.1, p.71-78, 2014.

TIAN, Z., WANG, X., LEE, R., LI, Y., SPECHT, J. E. , NELSON, R. L. , MCCLEAN, P.E. , QIU, L., MA, J. Artificial selection for determinate growth habit in soybean. **Proceedings of the National Academy Sciences**. v. 107, p. 8563-8568, 2010.

TRENTIN, R., HELDWEIN, A. B., STRECK, N. A., TRENTIN, G. 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, jul. 2013.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. A produção mundial de soja na safra 2019/2020. Disponível em: <<http://www.usdabrazil.org.br/home/>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

WERNER, F.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FERREIRA, A. S.; AGUIAR E SILVA, M. A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Soybean growth affected by seeding rate and mineral nitrogen. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 734 - 738, 2016.

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, n.4, p.446-458, 2016.

ZOTTIS, R. Sistema de combinação de cultivares de soja, 2015. Disponível em: <http://www.pioneersementes.com.br/mediacenter/artigos/183/sistema-de-combinacao-de-cultivares-de-soja>. Acesso em set. 20 nov. 2020.

CAPÍTULO IV

DESENVOLVIMENTO E ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE CULTIVARES DE SOJA IRRIGADA E EM SEQUEIRO

Resumo: Objetivou-se com este trabalho monitorar o ciclo de desenvolvimento, e os aspectos fisiológicos de cultivares de soja, irrigada e em sequeiro. Foram conduzidos dois experimentos, o primeiro na estação seca da região, de 14/11/2018 a 03/04/19 (140 dias), e o segundo na estação chuvosa de 20/06/19 a 28/10/2019 (130 dias), na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, com 6 cultivares de soja de diferentes hábitos de crescimento e grupos de maturação (M 6210, M 641, BMX-Potência, AS 3730, M 8349 e BRS-9383). O delineamento experimental foi blocos ao acaso. Foram quantificadas a duração do ciclo das plantas em dias após o semeio e em soma térmica °C dia. As trocas gasosas foram determinadas a partir de aferições da taxa de fotossintética líquida, transpiração, concentração interna de CO₂, condutância estomática, eficiência instantânea de uso da água e eficiência instantânea de carboxilação. As avaliações da fluorescência da clorofila a foram determinadas através do rendimento quântico potencial do fotossistema II e a determinação indireta da clorofila pelo índice SPAD. Em condições de irrigação o ciclo das cultivares teve duração máxima de 140 dias e 2.331 Graus-dia acumulados. Em condições de sequeiro o período de sobreposição entre os estágios vegetativo e reprodutivo foi menor nas cultivares indeterminadas do que nas determinadas, o ciclo máximo foi de 130 dias com 1.832,4 Graus-dia acumulados. As cultivares em condições de irrigação tiveram índices fisiológicos superiores, àquelas cultivadas sob condições de sequeiro. A taxa de fotossintética máxima foi 28,40 µmol de CO₂ m⁻² s⁻¹, a taxa transpiratória e condutância estomática foram de 8,20 e 1,04 µmol de H₂O m⁻² s⁻¹, respectivamente, a concentração interna de CO₂ foi 395 µmol m⁻² s⁻¹ e o índice SPAD máximo foi 41,86. As cultivares de soja não apresentaram diferença significativa para as variáveis, eficiência instantânea de uso da água e rendimento quântico potencial do fotossistema II em condições de irrigação e de sequeiro. De modo geral, as cultivares de soja tiveram ciclos maiores e melhores a aspectos fisiológicos em condições de irrigação, na região de Rio Largo, AL.

Palavras-chave: *Glycine max*, fenologia, fisiologia.

CHAPTER IV

DEVELOPMENT AND PHYSIOLOGICAL ASPECTS OF IRRIGATED AND RAINFED SOYA CULTIVARS

Abstract: The aim of this study was to monitor the development cycle and physiological aspects of irrigated and rainfed soya cultivars. Two experiments were conducted, the first during the dry season, from 14/11/18 to 03/04/19 (140 days), and the second during the rainy season, from 20/06/19 to 28/10/19 (130 days), in the coastal-tableland region of Alagoas, with six soya cultivars of different growth habits and maturity groups (M 6210, M 641, BMX-Potência, AS 3730, M 8349 and BRS-9383). The experimental design was of randomised blocks. The duration of the plant cycle in days after sowing and the thermal sum in °C days were quantified. Gas exchange was determined from measurements of the net photosynthetic rate, transpiration, internal CO₂ concentration, stomatal conductance, instantaneous water use efficiency, and instantaneous carboxylation efficiency. Chlorophyll *a* fluorescence was determined from the potential quantum yield of photosystem II and the indirect determination of chlorophyll by the SPAD index. Under irrigation, the cultivar cycle had a maximum duration of 140 days and 2,331 accumulated degree-days. Under rainfed conditions, the overlap period between the vegetative and reproductive stages was shorter in the indeterminate cultivars than in the determinate cultivars, the maximum cycle being 130 days, with 1,832.4 accumulated degree-days. The irrigated cultivars had higher physiological indices than those cultivated under rainfed conditions. The maximum photosynthetic rate was 28.40 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; the transpiration rate and stomatal conductance were 8.20 and 1.04 $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectively; the internal CO₂ concentration was 395 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; and the maximum SPAD index was 41.86. The soybean cultivars showed no significant difference for instantaneous water use efficiency or the potential quantum yield of photosystem II, whether under irrigation or rainfed conditions. In general, for the region of Rio Largo in Alagoas, soya cultivars had longer cycles and better physiological aspects when irrigated.

Keywords: *Glycine max.*, phenology, physiology.

12.1. INTRODUÇÃO

O Estado de Alagoas está inserido na região do SEALBA, uma nova fronteira agrícola no Nordeste Brasileiro (NEB), formada por um conjunto contínuo e interligado de municípios dos Estados de Sergipe, Alagoas e Nordeste da Bahia. Essa região tem um grande potencial edafoclimático para a produção agropecuária de sequeiro, principalmente o de grãos, sendo promissora para o cultivo da soja (PROCÓPIO, et al. 2018; SANTIAGO, et al., 2019).

Conforme a CONAB, (2021), na safra 2019/2020, Alagoas produziu 4,2 mil t, em 2,5 mil hectares com a produtividade média de 3.430 kg ha⁻¹. No entanto, esses dados ainda são inexpressivos, sobretudo quando comparados com outras regiões produtoras do NEB, tais como Maranhão, Piauí e Bahia que produziram 3.130,3; 2.562,8 e 6.122,0 mil t, respectivamente.

De acordo com Gava et al. (2016), a precipitação pluvial é considerada como principal fator climático na produção de soja, visto que muitas vezes elas são irregulares e insuficientes para atender a demanda hídrica da cultura, logo a adoção da irrigação é de grande importância para a redução dos riscos de déficit hídrico e, conseqüentemente, propiciar a cultura melhores condições de produção.

A disponibilidade de água no solo afeta diretamente a manutenção dos processos fisiológicos nas plantas, principalmente pela alta resistência estomática, na qual, diminuem a perda de vapor d'água e reduzem a absorção de dióxido de carbono, o que pode ocasionar diminuição na fotossíntese líquida (ROCHE et al. 2015).

Portanto, a avaliação de parâmetros fisiológicos na soja constitui-se em importante ferramenta na seleção de cultivares adaptadas, aos fatores abióticos inerentes ao local de cultivo que limitam a atividade fotossintética (SILVA et al. 2020; ALIEV et al. 2012).

Os fatores abióticos tais como temperatura, precipitação, umidade relativa, umidade do solo e o fotoperíodo, influenciam o desenvolvimento das plantas de soja, o que é evidenciado por diversos autores (STOCHERO et al. 2020; ZANON et al. 2015; TRENTIN et al., 2013; WAZILEWSKI et al. 2011; ALLIPRANDINI, et al. 2009).

A soma térmica pela estimativa dos Graus-dia acumulados (GDA) é considerada por vários autores como a melhor medida de tempo biológico em plantas, por considerar o efeito da temperatura sobre o ciclo, a qual associada com o fotoperíodo são os principais fatores meteorológicos que regem o desenvolvimento da soja, pertencente ao grupo de

plantas de dias curtos (LYRA et al., 2003; STRECK et al., 2008; GILMORE e ROGERS, 1958).

Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho monitorar a duração do ciclo, as trocas gasosas e a eficiência fotoquímica de seis cultivares de soja sob irrigação e em sequeiro nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.

12.2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos no *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL). O primeiro sob irrigação, durante a estação seca, de 14/11/2018 a 03/04/19 (140 dias), e o segundo em sequeiro, de 20/06/19 a 28/10/2019 (130 dias). O clima da região é caracterizado, pela classificação de Thornthwaite e Mather (1955), como úmido, megatérmico (quente), com deficiência de água moderada no verão e grande excesso de água no inverno. A precipitação pluvial anual média da região é 1.800 mm, com o período chuvoso iniciando na primeira quinzena de abril e terminando na segunda quinzena de agosto. A temperatura média do ar é 23,14°C, saldo de radiação médio diário igual a 20 MJ m⁻², umidade relativa em torno de 70% (SOUZA et al., 2004).

O solo local foi classificado como Latossolo Amarelo coeso argissólico, de textura média/argilosa, com declividade inferior a 2%. A adubação de fundação foi feita com base na análise química do solo (Tabela 4.1).

Tabela 4.1. Análise química do solo da área experimental, em Rio Largo, Alagoas.

*Prof. m	pH H ₂ O	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H + Al	CTC _t
		-----mg dm ⁻³ -----			-----cmol dm ⁻³ -----				
0 - 0,20	5,5	3	20	10	1,89	1,23	0,09	4,66	3,3
0,20 - 0,40	6,1	4	25	10	2,5	1,89	0	3,12	4,49
Prof. m	CTC _T cmol dm ⁻³	MO g kg ⁻¹	Saturação -----%						
		SB	m	Ca	Mg	K	Na		
0 - 0,20	7,87	26,3	41	3	24	15,6	0,6	0,5	
0,20 - 0,40	7,61	29	59	0	32,9	24,8	0,8	0,5	

*Prof. – profundidade, pH – Potencial de hidrogenação, P – fósforo, Mehlich, K – potássio, Na – sódio, Ca – cálcio, Mg – magnésio, Al – alumínio, H+Al – hidrogênio mais alumínio, CTC_t – Capacidade de troca de cátions efetiva, CTC_T – Capacidade de troca de cátions total, MO – Matéria orgânica, SB – soma de bases, m – saturação por alumínio.

Fonte: Autor (2021).

O preparo do solo foi realizado por meio de duas gradagens, objetivando a desagregação e nivelamento do solo. Posteriormente efetuou-se a abertura dos sulcos para a adubação. A adubação de fundação seguiu as recomendações do Instituto Agrônomo

de Pernambuco (IPA, 2008) para a cultura da soja. Foram aplicados 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O.

Os plantios foram realizados em 14/11/2018 e em 20/06/2020, para os ciclos irrigado e sequeiro, respectivamente. As sementes receberam tratamento industrial (TSI), inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* para a fixação biológica do nitrogênio (FBN). A semeadura foi realizada manualmente, o espaçamento entre linhas foi de 0,50 m e a população de plantas variou entre as cultivares, em razão das recomendações e do teste de germinação (BRASIL, 2009).

Para o controle das plantas infestantes foi aplicado herbicida pré-emergente e pós-emergente. O controle das pragas foi realizado com a aplicação de inseticidas. O controle de doenças, foi realizado nos estádios V3 e R1 com fungicida.

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com cinco repetições e os tratamentos foram constituídos de seis cultivares de soja, as quais foram selecionadas por representar diferentes grupos de maturação (GM), diferentes hábitos de crescimento e alto potencial produtivo (Tabela 4.2).

Tabela 4.2. Nome, tipo de crescimento, ciclo e grupo de maturação das cultivares de soja usadas no experimento, Rio Largo, Alagoas.

<i>Cultivar</i>	<i>Hábito de Crescimento</i>	<i>Grupo de maturação</i>
*M 6210 IPRO	Indeterminado	6,2
M 6410 IPRO	Indeterminado	6,4
BMX-POTÊNCIA RR	Indeterminado	6,7
AS 3730 IPRO	Indeterminado	7,3
M 8349 IPRO	Determinado	8,3
BRS 9383 IPRO	Determinado	9,3

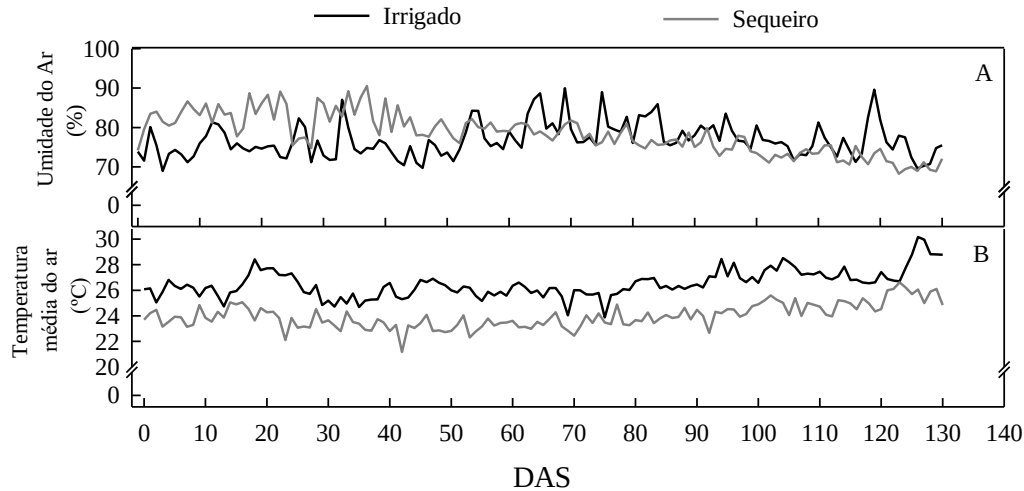
*M-Monsoy; BRS - Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Embrapa Soja); BMX-Brasmax; AS- Agroeste sementes.

Fonte: Autor (2021).

A área experimental possuía as dimensões de 35,0 m de comprimento por 33,0 m de largura, totalizando 1.155 m². Em cada bloco foram fixadas seis parcelas compostas por 10 linhas com 5,0 m de comprimento, espaçadas a 0,50 m, totalizando 25,0 m².

Os dados meteorológicos ao longo dos ensaios foram coletados de uma estação agrometeorológica automática (Micrologger – CR 3000, Campbell Scientific, Logan, Utah), localizada a 300 m da área experimental. Os sensores estavam programados para realizar medidas em intervalos de 10 segundos e armazenar média ou soma (precipitação) a cada 10 minutos, observando os seguintes elementos meteorológicos: Umidade Relativa (UR), Temperatura média do ar (T), estando os dados dispostos na Figura 4.1.

Figura 4.1. Umidade Relativa média (A), Temperatura média do ar (B) em dois ciclos de cultivo de soja, irrigado no período de 14/11/18 a 03/04/19 e em sequeiro no período de 20/06 a 28/10/19, em Rio Largo-AL.



Fonte: Autor (2021).

O fotoperíodo (FP) é definido como o tempo, em horas, entre o nascer e o pôr do sol, seus valores foram determinados para a localidade em estudo conforme a Equação 1 (IQBAL, 1983).

$$FP = 2 [\cos^{-1} (-\operatorname{tg} \phi \operatorname{tg} \delta)]/15 \quad (1)$$

em que: ϕ é a latitude local e δ é declinação solar, ambos em graus ($^{\circ}$)

A Evapotranspiração de referência (ET_0) foi estimada pelo método de Penmann-Monteith, Equação 2.

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273} U (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (2)$$

em que: ET_0 : Evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); R_n : Saldo de radiação diário ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); G : Fluxo total diário de calor do solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); T : Temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$); U_2 : Velocidade do vento média diária à altura de 2 m (m s^{-1}); e_s : Pressão de saturação do vapor médio diário (kPa); e_a : Pressão atual do vapor médio diário (kPa); $(e_s - e_a)$: déficit de saturação de vapor médio diário (kPa); Δ : declividade da curva da pressão do vapor em relação à temperatura ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); γ : coeficiente psicrométrico ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Para o experimento irrigado foi instalado um sistema de irrigação por aspersão, no qual as lâminas de água aplicadas ao longo do ciclo das cultivares, tiveram como base a Evapotranspiração da Cultura (ET_c), Equação 3.

$$ET_c = ET_0 K_c \quad (3)$$

Em que: ET_0 : Evapotranspiração de Referência (mm dia^{-1}); K_c : coeficiente da cultura de cada fase de desenvolvimento foi considerado os valores de: 1,0, 1,2 e 0,50, para as fases inicial, vegetativo e final, respectivamente, conforme o boletim FAO-56 (Allen et al., 1998).

O desenvolvimento das plantas considerou a duração em Dias Após o Semeio (DAS) e Graus-dia acumulados (GDA) ($^{\circ}\text{C dia}$). Foi utilizado o sistema de identificação fenológico proposto por Fehr e Caviness, (1977) (Tabela 4.3), o qual divide os estádios de desenvolvimento da soja em: vegetativo (V) e reprodutivo (R). Os estádios foram considerados quando 50% das plantas marcadas na área útil de cada parcela, apresentavam mudanças morfológicas. Utilizou-se a relação proposta por Zanoni et al. (2015) que dividiu o desenvolvimento da soja nas fases de: Semeadura-Emergência (SEM-EM), Emergência-R1 (EM-R1) e as subfases reprodutivas R1-R3, R3-R5, R5-R7 e R7-R8.

Tabela 4.3. Descrição dos estádios vegetativos e reprodutivos da cultura da soja.

I. Fase vegetativa	
VE	Emergência.
VC	Cotilédones expandidos, com folhas unifolioladas.
V1	Aparecimento das primeiras folhas trifolioladas.
V-(N)	Desenvolvimento dos nós nas gemas axilas das plantas, contabilizado pelo desdobramento das folhas trifolioladas.
II. Fase reprodutiva	
R1	Início da floração, 50% das plantas com uma flor.
R2	Floração plena, maioria dos racemos com flores abertas.
R3	Início da formação da vagem.
R4	Vagem completamente desenvolvida.
R5	Início do enchimento do grão.
R6	Aparecimento completo das sementes nas vagens.
R7	Começo da maturação.
R8	Maturação final da vagem, 95% com coloração madura.

Fonte: FEHR e CAVINESS, 1977.

Para a determinação do GDA necessários à cultura da soja utilizou-se a Equação 4, baseando-se no fato de que a planta necessita de certa quantidade de energia, representada pela soma de graus térmicos acima da temperatura basal, para completar determinada fase fenológica ou o seu ciclo total (STRECK et al. 2008).

$$GDA = \sum_{i=1}^n (T_{m,i} - T_b) \quad (4)$$

em que GDA (°C dia) representa os graus-dia acumulados; $T_{m,i}$ (°C) é a temperatura do ar média diária do dia i , com i variando de 1 (data de plantio), até n dias (dias); e T_b (°C) é a temperatura basal. T_m foi determinada pelos extremos diários de temperatura do ar, pela relação $(T_x + T_n) / 2$, em que T_x e T_n (°C) são, respectivamente, a temperatura do ar máxima e mínima diária. A temperatura base utilizada neste estudo foi a de 10 °C (FARIAS et al., 2009).

As avaliações das trocas gasosas foram realizadas entre a pré-floração e a formação de vagens, entre 8 e 10 h da manhã, em 3 plantas marcadas dentro da área útil de cada parcela, na terceira folha contada a partir do ápice do ramo principal da planta. Foram obtidas as taxas de fotossíntese líquida (A), a concentração interna de CO_2 (C_i), a transpiração (E) e a condutância estomática (g_s). A partir dos dados de A , E e C_i , foram quantificadas também, a eficiência instantânea de uso da água (A/E) e a eficiência instantânea de carboxilação (E_iC) (A/C_i).

Após às avaliações, foi analisada a fluorescência da clorofila a , utilizando-se de um fluorômetro portátil de luz modulada (OptiSciences, modelo OS1-FL, Hudson, USA), em folhas intermediárias dos ramos, pré-adaptadas ao escuro após período de 30 min. Foram analisadas as variáveis de fluorescência máxima (F_m), e a fluorescência variável (F_v), onde se obteve para este trabalho, o valor do rendimento quântica do FSII (F_v/F_m), a diminuição da razão F_v/F_m é uma indicação de estresse e danos às membranas tilacóides (MACHADO JUNIOR et al. 2017). No estágio R5, foram realizadas leituras para determinação indireta do teor de clorofila, com uso de clorofilômetro SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development Section, Minolta Camera CO., Osaka, Japan), sendo expresso por meio do índice SPAD.

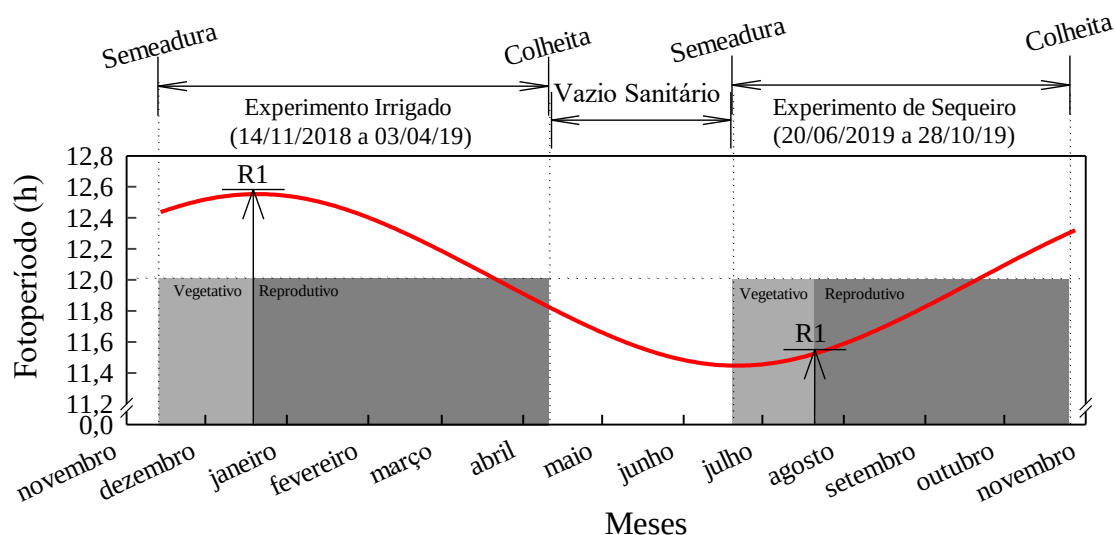
Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância ($p < 0,05$), quando houve efeito significativo, utilizou-se a análise de agrupamento univariada, pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$), para evitar ambiguidades na comparação das médias.

12.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Medidas ambientais

Em relação ao fotoperíodo no experimento irrigado (14/11/18 a 03/04/19), as plantas foram expostas a variação de 11,90 a 12,50 horas de luz, com média de 12,35 horas de luz, no período de 140 DAS. Em condição de sequeiro (20/06/2019 a 28/10/2019), as horas de luz variaram de 11,44 a 12,31 horas, com média de 11,8 horas de luz, no período de 130 DAS, o encurtamento das horas de luz induziu o florescimento nas plantas (Figura 4.2). O fotoperíodo (número de horas de luz por dia) é o fator mais importante para se determinar a proporção relativa entre os períodos vegetativos e reprodutivos da soja (SEYDIAMA et al., 2015).

Figura 4.2. Fotoperíodo durante os experimentos, irrigado no período de 14/11/2018 a 03/04/2019 e em sequeiro de 20/06/2019 a 28/10/2019, em Rio Largo, Alagoas.

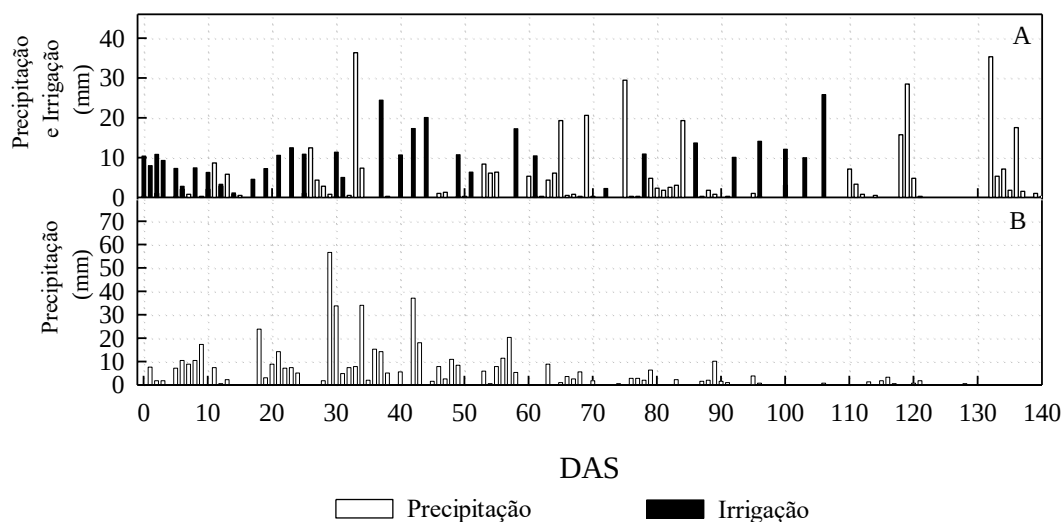


Fonte: Autor (2021).

Em relação às precipitações, no experimento irrigado ocorreram eventos de chuva em 28 dias (20%) do ciclo das cultivares (140 dias). A precipitação pluvial totalizou 375 mm, sendo novembro o mês menos chuvoso (25,0 mm) e janeiro o mais chuvoso (109,20 mm). O maior evento de precipitação foi de 36,32 mm dia⁻¹ aos 33 DAS (17/12/2018) e a média de 2,70 mm dia⁻¹ (Figura 4.3A). Foram necessários 345,30 mm, para atender a demanda hídrica das plantas, visto que ocorreram 70 dias sem chuva o que corresponde a 50% do ciclo das cultivares, a maior lâmina aplicada foi 25,85 mm, a lâmina média foi

de 10,46 mm e valor mínimo de 2,26 mm. Houve incremento na disponibilidade de água a cultura, observada pela lâmina total (precipitação efetiva+irrigação) de 720 mm.

Figura 4.3. Precipitação e irrigação (A) de 14/11/18 a 03/04/19 e Precipitação (B) de 20/06 a 28/10/19, em Rio Largo, Alagoas.

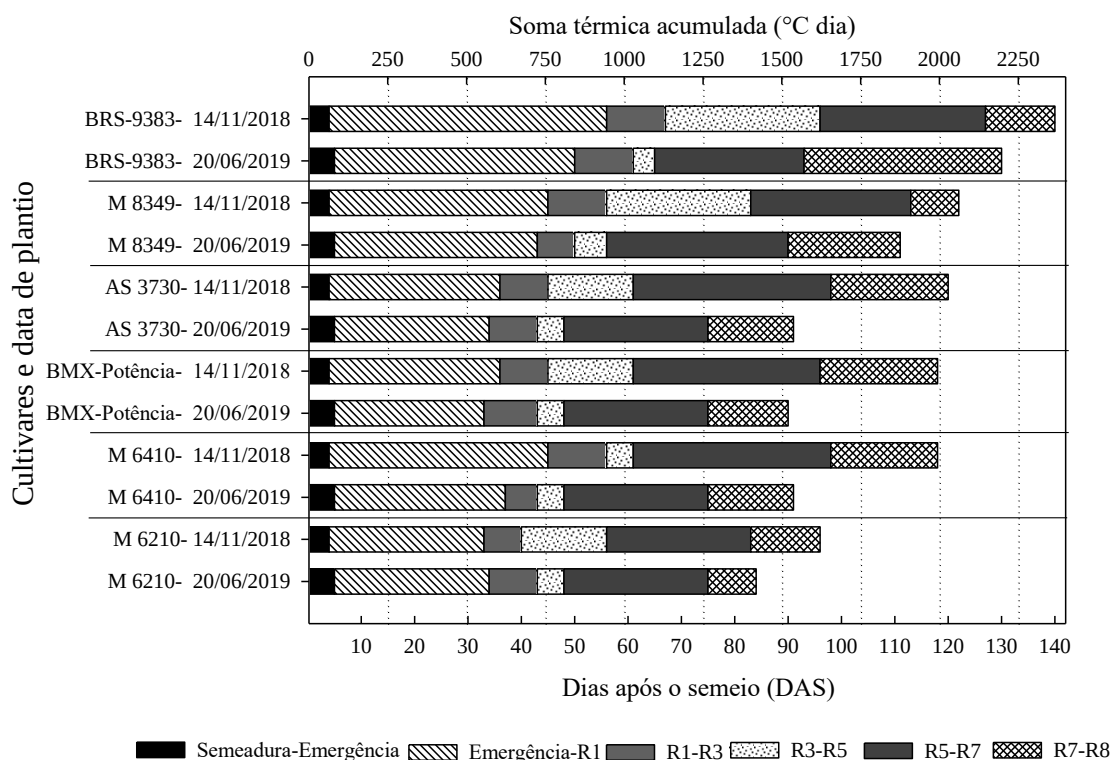


Para o experimento de sequeiro, ocorreram eventos de chuva em 87 dias (67%) dos 130 dias do ciclo de cultivo (Figura 4.3B), as precipitações pluviárias totalizaram 547,37 mm, no entanto, a distribuição das chuvas apresentou elevada variabilidade mensal. Em julho ocorreram 26 dias com chuva, com a precipitação total de 269,50 mm, já em setembro e outubro as precipitações foram de 39,1 e 11,20 mm, respectivamente. A disponibilidade de água às plantas se deu até os 73º DAS, porém, foi insuficiente para atender todo o ciclo produtivo das cultivares.

Desenvolvimento das cultivares de soja

Em relação ao desenvolvimento das cultivares, verifica-se na Figura 4.4, que o período entre a semeadura e a maturação fisiológica, foi maior sob irrigação do que em condições de sequeiro, o que pode ser justificado pelo fotoperíodo, durante os experimentos (Figura 4.2), uma vez que a planta de soja é sensível à extensão do período de ausência de luz para a indução ao florescimento, como também pelo déficit hídrico em condições de sequeiro, que afeta a duração do ciclo da cultura acelerando a senescência das plantas (SEDIYAMA, 2015; ZANON, 2018).

Figura 4.4. Duração em dias após o semeio e Graus-dia acumulados ($^{\circ}\text{C dia}^{-1}$), das fases fenológicas de seis cultivares de soja, irrigada (14/11/2018 a 03/04/2019), e em sequeiro (20/06/2019 a 28/09/2019), em Rio Largo, Alagoas.



Genótipos de crescimento determinado e GM maior que oito, são os indicados para o cultivo em Alagoas, por apresentar período juvenil mais longo, porém, considerando o semeio em sequeiro, podem coincidir períodos de sensibilidade ao déficit hídrico com os de baixa disponibilidade de água. No entanto, cultivares mais precoces, de GM inferior a oito, podem apresentar florescimento precoce, o que reduz o tamanho das plantas, o acúmulo de massa seca e a produtividade de grãos (PROCÓPIO et al. 2018; ZANON et al. 2015).

Os cultivares de hábito de crescimento indeterminado e com GM variando de 6,2 a 7,7, apresentaram ciclos menores, com valor médio de 118 DAS e 1.944,2 GDA (Figura 4.4). As cultivares de crescimento determinado, e GM de 8,3 e 9,3 (M 8349 e BRS-9383), tiveram ciclos maiores na ordem 122 e 140 DAS; 2.011,8 e 2.331 GDA.

De uma forma geral as fases de desenvolvimento tiveram períodos do semeio a emergência (SEM-EM) semelhantes, apesar de pertencerem a diferentes GM, emergindo aos 5 DAS e com a soma térmica acumulada na ordem de 96,3 $^{\circ}\text{C}$ (Tabela 4.3). Todavia, houve variações para as demais subfases verificadas pelo encurtamento entre os cultivares

em função do GM, corroborando com estudos realizados por Trentin et al. (2013), Zanon et al. (2016) e Stochero et al. (2020) os quais verificaram que cultivares de GM menores são mais precoces em uma mesma região de plantio.

O período juvenil entre a emergência e o florescimento (EM-R1) durou o equivalente a 37,5 DAS, somando-se 621,85 GDA, enquanto as cultivares determinadas tiveram em média 50,5 DAS e 828,65 GDA. Rodrigues et al. (2001) citam que previsão da data de floração da soja é importante para o manejo da cultura e para o uso em modelos de crescimento e de produção. Em relação as subfases reprodutivas de florescimento ao início da formação da vagem (R1-R3) nas cultivares indeterminadas ocorreu aos 50,75 DAS com a soma térmica de 834,25 GDA, para as de crescimento determinado ocorreu em média aos 61,5 DAS e aos 1.005,35 GDA.

Para o período das subfases de formação da vagem ao enchimento de grãos (R3-R5) as cultivares indeterminadas ocorreu em média aos 66,50 DAS, com 1.084,72 GDA, no entanto, as de crescimento determinado necessitaram em média 89,5 DAS e 1.455,65 GDA. As subfases relacionadas entre o enchimento de grãos ao início de maturação fisiológica (R5-R7) para as cultivares indeterminadas, ocorreu em média aos 97 DAS e 1.581,35 GDA, as cultivares determinadas iniciaram a maturação em média aos 120 DAS exigindo 1.982,35 GDA. O período final de desenvolvimento (R7-R8) para as cultivares indeterminadas ocorreu em média aos 118 DAS com 1.944,23 GDA, e para as determinadas aos 131 DAS com 2.171 GDA (Figura 4.4).

Tabela 4.4. Fases vegetativas e reprodutivas de cultivares de soja, irrigadas no período 14 de novembro de 2018 a 03 de abril 2019, em Rio Largo, Alagoas.

		Fases de desenvolvimento ⁽¹⁾					
Cultivares		SE-EM	EM-R1	R1-R3	R3-R5	R5-R7	R7-R8
<i>M 6210</i>	DAS⁽²⁾	5	36	49	61	96	116
	GDA⁽³⁾	96,3	597,4	806,5	997,4	1.564,6	1.910,6
<i>M 6410</i>	DAS	5	45	56	83	98	118
	GDA	96,3	739,9	917,4	1.346,7	1.598,1	1.944,1
<i>BMX-Potência</i>	DAS	5	36	49	61	98	118
	GDA	96,3	597,4	806,5	997,4	1.598,1	1.944,1
<i>AS 3730</i>	DAS	5	33	49	61	96	120
	GDA	96,3	551,8	806,5	997,4	1.564,6	1.978,1
<i>M 8349</i>	DAS	5	45	56	83	113	122
	GDA	96,3	739,9	917,4	1.346,7	1.859,5	2.011,8
<i>BRS-9383</i>	DAS	5	56	67	96	127	140
	GDA	96,3	917,4	1.093,3	1.564,6	2.105,2	2.331

⁽¹⁾ FEHR e CAVINESS, 1977; ⁽²⁾ Dias após o semeio; ⁽³⁾ Graus-dia acumulados (°C); *SE-EM: Semeadura-Emergência; EM-R1: Emergência-Florescimento; R1-R3: Florescimento-Formação da vagem; R3-R5: Formação da vagem-Enchimento de grãos; R5-R7: Enchimento de grãos- Início da maturação; R7-R8: Início da maturação-Maturação.

Fonte: Autor (2021).

Em sequeiro, da mesma forma que no experimento irrigado a fase de SEM-EM não variou entre as cultivares, as plantas emergiram aos 4 DAS, com 96,3 GDA. O período vegetativo EM-R1 das cultivares indeterminadas ocorreu em média aos 34,5 DAS e aos 491,30 GDA; já para as de crescimento determinado aconteceu aos 46,5 DAS e aos 647,7 GDA.

Como mostra a Tabela 4.5, as subfases R1-R3, nas cultivares indeterminadas ocorreu aos 43 DAS com a soma térmica de 601,2 GDA, para as de crescimento determinado ocorreu em média aos 55,5 DAS e aos 766,7 GDA. Para o período R3-R5 nas cultivares indeterminadas ocorreu em média aos 48 DAS, acumulando 668 GDA, no entanto, as de crescimento determinado necessitaram de 833 GDA. O período referente as fases R5-R7, totalizou 75 DAS e 1.027,4 GDA, para os cultivares mais indeterminadas, no entanto, para as mais tardias foram necessários em média 91 DAS e 1.256,30 GDA para as cultivares mais tardias.

Tabela 4.5. Fases vegetativas e reprodutivas de cultivares de soja, em sequeiro no período 20 de junho a 28 de outubro de 2019, em Rio Largo, Alagoas.

		Fases de desenvolvimento ⁽¹⁾					
Cultivares		*SE-EM	EM-R1	R1-R3	R3-R5	R5-R7	R7-R8
M 6210	DAS ⁽²⁾	4	34	43	48	75	84
	GDA ⁽³⁾	69	484,8	601,7	668	1.027,4	1.151,4
M 6410	DAS	4	37	43	48	75	91
	GDA	69	524	601,7	668	1.027,4	1.250
BMX-Potência	DAS	4	33	43	48	75	90
	GDA	69	471,3	601,7	668	1.027,1	1.237
AS 3730	DAS	4	34	43	48	75	91
	GDA	69	484,8	601,7	668	1.027,4	1.250
M 8349	DAS	4	43	50	56	90	111
	GDA	69	602	693,4	773	1.236	1.541
BRS-9383	DAS	4	50	61	65	93	130
	GDA	69	693,4	840	893	1.276,6	1.832,4

⁽¹⁾ FEHR e CAVINESS, 1977; ⁽²⁾ Dias após o semeio; ⁽³⁾ Graus-dia acumulados (°C); *SE-EM: Semeadura-Emergência; EM-R1: Emergência-Florescimento; R1-R3: Florescimento-Formação da vagem; R3-R5: Formação da vagem-Enchimento de grãos; R5-R7: Enchimento de grãos- Início da maturação; R7-R8: Início da maturação-Maturação.

Fonte: Autor (2021).

O ciclo final das cultivares R7-R8, foi menor na cultivar M 6210, o qual apresenta ciclo de maturação precoce, foram necessários 84 DAS e 1.151,4 GDA (Figura 4.4). Dentro dessa subfase o maior período e soma térmica foi observada na cultivar BRS-9383, na ordem de 130 DAS e 1.832,4 GDA. Cruz et al., (2010), verificaram que as diferenças mais acentuadas na duração do ciclo de maturação ocorreram efetivamente nas fases fenológicas mais tardias da cultura, após o enchimento dos grãos (R6) à maturidade de campo (R8).

Avaliações fisiológicas

Em relação as avaliações de trocas gasosas, as cultivares submetidas à irrigação, mostraram diferença significativa, nas variáveis: taxa de fotossíntese líquida (A) ($p < 0,05$), transpiração (E) ($p < 0,01$), condutância estomática (gs) ($p < 0,01$), eficiência instantânea de carboxilação (EiC) ($p < 0,05$) e índice SPAD ($p < 0,05$). As outras variáveis: concentração interna de CO_2 (Ci), eficiência instantânea de uso da água (A/E) e rendimento quântico potencial do fotossistema II (F_v/F_m) não foram significativas (Tabela 4.6).

No experimento de sequeiro, as cultivares mostraram diferença significativa ($p < 0,01$), para as variáveis: A, E, gs e Ci. Para as variáveis EiC e SPAD houve diferença significativa ($p < 0,05$), no entanto, não houve efeitos significativos para as variáveis A/E e F_v/F_m (Tabela 4.6).

Tabela 4.6. Resumo da análise de variância para os aspectos fisiológicos de seis cultivares de soja, irrigada no período de 14/11/2018 a 03/04/2019, e em sequeiro de 20/06/2019 a 28/09/2019, em Rio Largo, Alagoas.

F.V	G.L. ¹	Valores de Quadrados Médios ²							
		<i>Irrigado</i>							
		A	E	gs	Ci	A/E	EiC	F_v/F_m	SPAD
Cultivares	5	16,18*	0,79**	0,05**	279,37 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,00016*	0,001 ^{ns}	28,98*
Bloco	4	1,70 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,01 ^{ns}	224,95 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,00003 ^{ns}	0,003 ^{ns}	5,45 ^{ns}
Resíduo	20	6,18	0,13	0,007	261,3	0,22	0,00005	0,001	8,81
C.V. (%)		9,58	4,66	9,37	4,17	4,28	10,67	4,45	7,82
		<i>Sequeiro</i>							
Cultivares	5	20,59**	0,95**	0,009**	270,0**	0,38 ^{ns}	0,00006*	0,001 ^{ns}	29,95*
Bloco	4	0,93 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,006 ^{ns}	111,0 ^{ns}	4,73 ^{ns}	0,00003 ^{ns}	0,003 ^{ns}	5,20 ^{ns}
Resíduo	20	0,65	0,02	0,001	104,64	0,26	0,00002	0,009	8,14
C.V. (%)		6,50	4,08	8,40	5,88	12,95	5,56	4,38	7,86

¹Graus de liberdade; ²**Significativo à nível de 1%; *significativo à nível de 5%; ns não significativo pelo teste F. A - Taxa de fotossíntese líquida; gs - Condutância estomática; E - Transpiração; Ci - Concentração interna de CO_2 ; A/E - Eficiência instantânea de uso da água; EiC - eficiência instantânea da carboxilação; F_v/F_m - Rendimento quântico potencial do fotossistema II; SPAD - Soil Plant Analysis Development Section.

Fonte: Autor (2021).

Em relação à taxa de assimilação de CO_2 (A), vê-se que em ambos os experimentos, a máxima taxa fotossintética (28,40 e 15,43 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foram observadas na cultivar M 6410 (Figura 4.5A). Comparado a média geral das cultivares irrigadas (26,0 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em relação as médias observadas no experimento de sequeiro (12,50 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), há uma diminuição da A na ordem de 48%,

evidenciando que a taxa de assimilação líquida das cultivares foi reduzida pela deficiência hídrica por falta de água.

Resultados semelhantes foram verificados por Aliyev, (2012) estudando as principais características da troca de CO₂ em genótipos de soja em relação ao rendimento de grãos, o autor encontrou taxas de assimilação de CO₂ variando de 25 e 35 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em cultivares de soja sob condições adequadas de suprimento hídrico e de 12,5 a 17,2 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em condições de sequeiro. Silva et al. (2020) avaliando as trocas gasosas e o crescimento de cultivares de soja submetidas a tensões de água, verificaram reduções na ordem de 37% na taxa de fotossíntese líquida.

A maior taxa de fotossíntese líquida em condições de irrigação está ligada com uma quantidade considerável de concentração interna de CO₂, quando as plantas estavam com maior condutância estomática. Logo, em condições de déficit hídrico a absorção de CO₂ é limitada, o que leva a uma menor taxa fotossintética diminuindo a produção de ATP, NADPH e substratos para a atividade da enzima ribulose biscofosfato carboxilase/oxigenase-Rubisco (SILVA et al. 2015).

Para a transpiração (E), verifica-se na Figura 4.5B que os valores observados nas cultivares sob irrigação foram superiores, encontrando-se valor máximo de 8,45 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para a cultivares M 6210. Salienta-se que em condições de ótima disponibilidade hídrica, as plantas geralmente apresentam altas taxas transpiratórias, caso a água do solo diminua, a planta começa a reduzir a transpiração para reduzir a perda de água e economizar a disponível no solo (MAGALHÃES et al. 2017).

Comparado a média geral para a taxa de transpiração das cultivares sob irrigação (7,91 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) com a observada no experimento de sequeiro (4,08 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), há uma redução na ordem de 60,70%, esses resultados evidenciam a diminuição de água nos tecidos foliares, o que gera a menor abertura estomática. Sob severo estresse hídrico do solo, o fechamento dos estômatos para reduzir a transpiração pode ser uma característica ideal das plantas de soja sem irrigação, especialmente em áreas áridas, para economizar água nos estágios iniciais da cultura (MACHADO JUNIOR et al. 2017; SINCLAIR et al. 2005)

Silva et al. (2020) e Chavarria et al. (2015), estudaram a redução da transpiração em soja submetido à deficiência hídrica provocado por diferentes tensões de água, e verificaram quedas de E na ordem de 90%. Lima (2008), também encontrou reduções de até 90% na taxa de transpiração de plantas de feijoeiro não irrigadas comparadas às plantas irrigadas.

O valor máximo observado de condutância estomática (g_s) no experimento irrigado foi de $1,03 \mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$, obtido na cultivar AS 3730, incremento de 24,27% em relação ao menor valor observado $0,78 \mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$, na cultivar BRS-9383. No trabalho em questão a condutância dos estômatos foi afetada pelas condições de sequeiro, o maior valor de g_s foi de $0,48 \mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$, obtido na cultivar M 6410, representando um incremento (24,60%) em relação ao menor valor observado na cultivar AS3730, pode-se verificar que a g_s desta cultivar foi reduzida (65,63%), em razão do déficit hídrico (Figura 4.5C). Ferraz et al. (2012) afirmam que sob condições de escassez hídrica aumenta-se a resistência à difusão do vapor de água através dos estômatos, o que confirma a diminuição da g_s na ordem de 45%, comparando a média geral das cultivares irrigadas ($0,93 \mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) com a de sequeiro ($0,42 \mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

Os valores de g_s encontrados neste trabalho são maiores do que os relatados por outros pesquisadores. Silva et al. (2020), avaliando três cultivares de soja sob cinco tensões de água no solo, verificaram na tensão de 10kPa médias de g_s de 0,82 e $0,72 \mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente, nas cultivares BRSMG 820 e BRSMG 850. Machado Junior et al. (2017) obtiveram valores de g_s superiores a $0,35 \mu\text{mol de } \mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em cultivares de soja submetidas a diferentes níveis de umidade do solo.

Observa-se na Figura 4.5D, que as médias de Concentração interna de CO_2 (C_i) no experimento irrigado não diferiram entre as cultivares, no entanto, verifica-se a média geral de CO_2 de $385,0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Em relação a C_i em sequeiro o valor máximo foi de $200,61 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para a cultivares M 6410. Estes valores evidenciam uma redução de C_i na ordem de 54,8%, comparando a média das cultivares irrigadas com as de sequeiro.

Conforme Magalhães et al. (2017) a redução da C_i é um indicativo de que as plantas estão em déficit hídrico, uma vez que ocorrem restrições na aquisição de CO_2 por parte da cultura, devido ao acúmulo da C_i no mesófilo foliar que está associado diretamente com o fechamento dos estômatos e a redução na assimilação de CO_2 . Nesse sentido, a condutância estomática é o principal fator para a diminuição do C_i , uma vez que quanto maior a abertura estomática maior a difusão de CO_2 para a câmara subestomática (SILVA et al. 2015; MAGALHÃES, et al. 2017). Logo, as cultivares em condições de sequeiro diminuiram os valores de concentração interna de CO_2 e, consequentemente as taxas fotossintéticas (Figura 4.5A).

Quanto a eficiência instantânea no uso da água (A/E), não houve efeito significativo das cultivares de soja nas condições de irrigação e sequeiro, pois as

condições ambientais as quais as plantas de soja foram submetidas, não causou limitação da eficiência desta variável fisiológica. Ainda assim, foram observados valores máximos de A/E de 3,60 e 4,41 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na cultivar M 6410, respectivamente, em condições de irrigação e sequeiro. Silva et al. (2015), ratificam que quanto menor a disponibilidade de água menor também será o grau de abertura estomática para reduzir a perda de água, conseqüentemente, a eficiência no uso da água é maior mantendo o mínimo de equilíbrio hídrico. Plantas C_3 , como a soja são limitadas a assimilar CO_2 em situações hídricas adversas. Neste sentido, a média geral das cultivares em sequeiro (4,41 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foram superiores ao irrigado (3,50 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) na ordem de 22%.

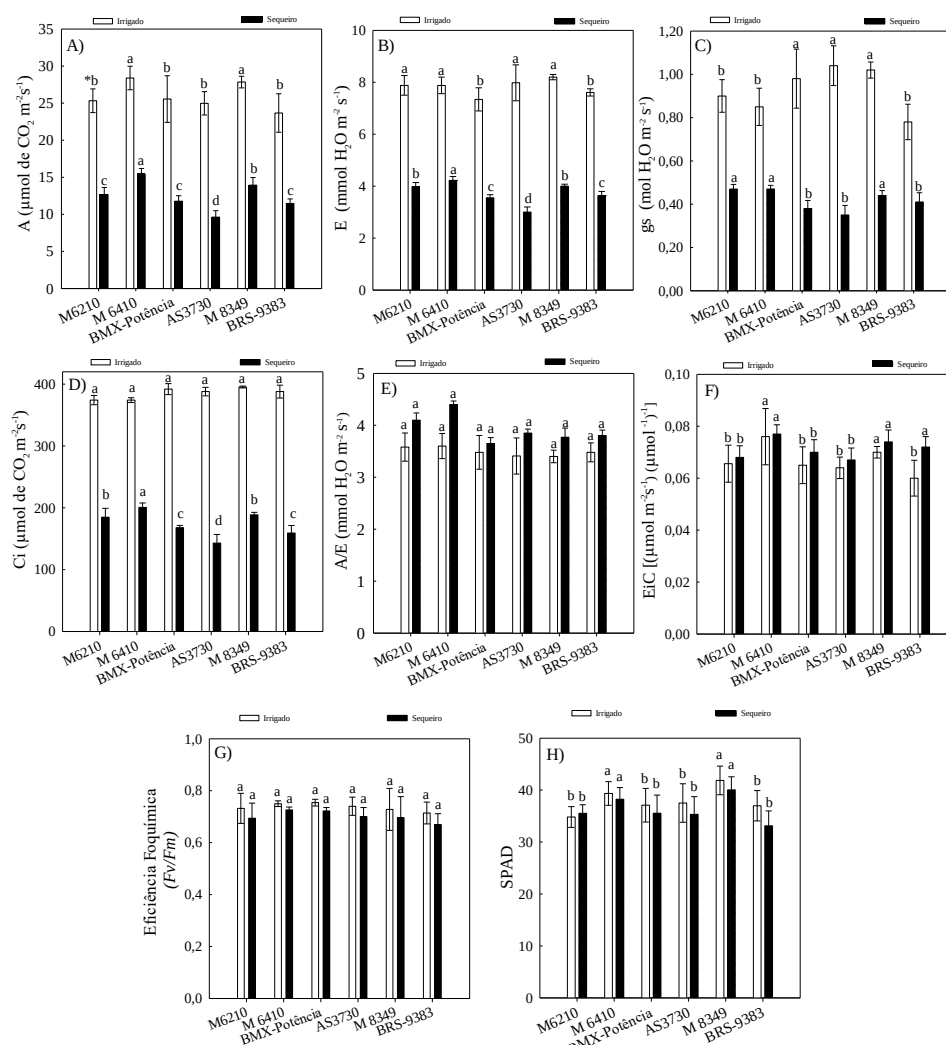
O maior valor de eficiência instantânea da carboxilação (EiC) foram observados na cultivares M 6410, com o valor de 0,076 ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) (μmol^{-1})⁻¹ sob condições de irrigação e de 0,077 ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) (μmol^{-1})⁻¹ em sequeiro. De maneira geral, as médias das cultivares sob irrigação (0,067 ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) (μmol^{-1})⁻¹) foram menores do que em sequeiro (0,071 ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) (μmol^{-1})⁻¹). Taiz e Zeiger (2017), citam que a redução da transpiração nas plantas melhora o aproveitamento do CO_2 disponível no mesófilo foliar, se os níveis de CO_2 intercelulares forem baixos, o influxo deste componente nas células do mesófilo é restringido, no entanto, para a soja está via metabólica é dispendiosa, uma vez que a enzima ribulose biscofosfato carboxilase/oxigenase-Rubisco, consome o carbono proveniente da respiração para manter um nível mínimo de taxa fotossintética.

Quanto à eficiência quântica do PSII (F_v/F_m) (Figura 4.5H), no presente estudo as médias não diferiram entre as cultivares em condições de irrigação, no entanto, foi observado o acréscimo de 3,0%, comparando a média geral das cultivares sob irrigação (0,754) com a de sequeiro (0,70). Diversos autores ratificam que os valores ótimos de F_v/F_m estão entre 0,75 e 0,85 indicando que não há dano fotoinibitório ao fotossistema (MAGALHÃES et al. 2017; SILVA et al., 2015; SANTOS et al., 2010). As cultivares em condições de sequeiro, apresentaram valores de F_v/F_m entre 0,69 e 0,73 não havendo diferença significativa, esses resultados denotando que as plantas analisadas apresentaram dano fotoinibitório no fotossistema devido à baixa reposição hídrica a que foram submetidas.

Em relação ao índice SPAD, os valores máximos em condições de irrigação e sequeiro (42 e 40) foram observados na cultivar M 8349. De maneira geral, as medias para as cultivares irrigadas (38) foram superiores as de sequeiro (36). Estes resultados evidenciam que valores elevados de índice SPAD indicam maior síntese de clorofila, e

consequentemente, maior atividade fotossintética da planta. Todavia, o aparecimento de folhas cloróticas, em condições de estresse hídrico podem gerar maiores perdas na fotossíntese líquida em comparação com plantas irrigadas (YOKOYAMA et al., 2018; COSTA et al., 2019). Outro ponto importante a ser considerado nas leituras do SPAD, é a variação genética existente na intensidade de verde entre as cultivares de soja.

Figura 4.5. A) Taxa de assimilação de CO_2 (A), B) transpiração (E), C) condutância estomática (gs), D) concentração interna de CO_2 (Ci), E) eficiência no uso da água (A/E), F) eficiência instantânea de carboxilação (EiC), G) rendimento quântico potencial do fotossistema II (F_v/F_m) e H) índice SPAD, de seis cultivares de soja, irrigada de 14/11/2018 a 03/04/2019, e em sequeiro de 20/06/2019 a 28/09/2019, em Rio Largo, Alagoas.



*As médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (1974) $p < 0,05$.

Fonte: Autor (2021).

A compreensão do ciclo do desenvolvimento e a variabilidade das condições meteorológicas associadas a fisiologia das plantas são fatores importantes para selecionar genótipos adaptados a uma data de semeadura específica estabelecida com base no manejo hídrico, irrigado ou sequeiro.

12.4. CONCLUSÃO

O ciclo total de desenvolvimento das cultivares em sequeiro foi menor quando comparado com o irrigado, pois ocorreu uma redução nos estágios vegetativo e reprodutivo, principalmente nas cultivares de menor grupo de maturação.

As trocas gasosas das cultivares de soja foram mais elevadas em condições de irrigação. A taxa de fotossintética líquida máxima ($28,40 \text{ de } \text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi observada na cultivar M 6410. A Taxa transpiratória máxima ($8,45 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi observada na cultivar M 6210. A Condutância estomática de ($1,03 \text{ } \mu\text{mol de } \mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) foi obtida na cultivar AS 3730. A média máxima de Concentração interna de CO_2 observada entre as cultivares foi de $385,0 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. E, o índice SPAD máximo (42) foi obtido na cultivar M 8349.

12.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Evapotranspiração das culturas: diretrizes para o cálculo da necessidade de água nas culturas Documento de Irrigação e Drenagem 56, **Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação**, Roma, Itália, 1998.

ALLIPRANDINI, L. F. et al. Understanding soybean maturity groups in Brazil: environment, cultivar classification, and stability. **Crop Science**, v. 49, p. 801-808, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2008.07.0390>>.

ALIYEV, J.A. Peculiarities of CO_2 exchange in soybean genotypes contrasting in grain yield. **Adv. Biol. Chem.** 8. 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: **MAPA/ACS**, 2009. 398p

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra 2019/2020**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em 06/06/2021.

COSTA, L. C.; TAVANTI, R. F. R.; TAVANTI, T. R.; PEREIRA, C. S. Desenvolvimento de cultivares de soja após inoculação de estirpes de *Bacillus subtilis*. **Nativa**, v. 7, p. 126, 2019. DOI: 10.31413/nativa.v7i2.6261

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

CRUZ, T. V.; PEIXOTO, C.P.; MARTINS, M. C. Crescimento e produtividade de soja em diferentes épocas de semeadura no oeste da Bahia. **Sci. Agrar**. 11, 033, 2010. <https://doi.org/10.5380/rso.v11i1.15941>

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia da soja. **Circular técnica**. Londrina, PR, setembro 2009.

FERRAZ, R. L. DE S.; MELO, A. S. DE; SUASSUNA, J.F.; BRITO, M.E.B. DE; FERNANDES, P. D.; NUNES JÚNIOR, E. DA S. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. **Pesqui. Agropecuária Trop**. 42, 181–188, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000200010>

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. Stages of soybean development. **Ames: Iowa State University of Science and Technology**, 1977. 12 p. (Special Report, 80).

GAVA, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; JOSE, J. V.; FRAGA JUNIOR, E. F.; PERBONI. Estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. **Rev. Bras. Agric. Irr.** v. 9, nº.6, Fortaleza, p.349 - 359, Nov - Dez, 2015.

GILMORE, E.C.; ROGERS, J. S. Heat Units as a Method of Measuring Maturity in Corn. **Agronomy Journal**, 611–615. 1958.
<https://doi.org/10.2134/agronj1958.00021962005000100014x>

IQBAL, M. An introduction to solar radiation. Toronto: **Academic Press**, 1983. 389p.

LIMA, E. P.; SILVA, E. L. Temperatura-base, coeficientes de cultura e graus-dia para cafeeiro arábica em fase de implantação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.3, p.266-273, 2008.

LYRA, G., ZOLNIER, S.; COSTA, L.; SEDIYAMA, G.; SEDIYAMA, M. Modelos de crescimento para alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em sistema hidropônico sob condições de casa de vegetação. **Rev. Bras. Agrometeorol.** 11, 69–77. 2003.

MACHADO JÚNIOR, S. C.; da SILVA, R.C.; SANCHES, M. S.; HAMAWAKI, O. T.; de SOUSA, L. B. Physiologic parameters of soybean of determinate and indeterminate growth habit subjected to levels of soil moisture. **Pesq. agropec. bras., Brasília**, v.52, n.6, p.419-425, jun. 2017

MAGALHAES, I. D.; LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; CAVALCANTE, C. A.; FERREIRA JUNIOR, R. A.; SOUZA, R. C. Physiology and Grain Yield of Common Beans under Evapotranspired Water Reposition Levels. **Irrigat Drainage Sys Eng**, v. 6, n. 1, p. 2-8, 2017.

PROCÓPIO, S. O.; SANTIAGO, A. D.; CARVALHO H. W. L. Estudos de população de plantas de soja na região do SEALBA. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2018 24 p. (**Boletim de Pesquisa / Embrapa Tabuleiros Costeiros**, ISSN 1678-1961; 134).

ROCHE, D. Stomatal conductance is Essential for higher yield potential of C₃ crops. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 34, n. 4, p. 429–453, 2015.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A.D.; LHAMBY, J. C.B.; BERTAGNOLLI, P. F.; LUZ, J. S. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. 2001.

Pesqui. Agropecuária Bras. 36, 431–437. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000300006>.

SANTIAGO, A. D.; PROCÓPIO, S. O.; CARVALHO H. W. L.; BRAZ, G. B. P. Desempenho de cultivares de soja em áreas com histórico de produção de cana-de-açúcar no Sealba. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2019. 30 p. (**Boletim de Pesquisa / Embrapa Tabuleiros Costeiros**, ISSN 1678-1961; 142).

SANTOS, C. M.; GONÇALVES, E. R.; ENDRES, L.; GOMES, T. C. A.; JADOSKI, C. J.; NASCIMENTO, L. A.; SANTOS, E. D. Atividade fotossintética em alface (*Lactuca sativa* L.) submetidas a diferentes compostagens de resíduos agroindustriais. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.3, p.95-102, 2010.

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

SILVA, F. G.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L.M.; B., MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambiental**, 946–952. 2015. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p946-952>.

SILVA, J. A.; SANTOS, P. A. B.; CARVALHO, L.G.; MOURA, E. G.; ANDRADE, F.R. Gas exchanges and growth of soybean cultivars submitted to water deficiency. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**. 50, e58854. 2020. <https://doi.org/10.1590/1983-40632020v5058854>

SINCLAIR, T.R.; HAMMER, G.L.; VAN OOSTEROM, E.J. Potential yield and water-use efficiency benefits in sorghum from limited maximum transpiration rate. **Funct. Plant Biol.** 32, 945. 2005. <https://doi.org/10.1071/FP05047>.

SOUZA, J.L.; MOURA FILHO, G.; LYRA, R.F.F. TEODORO, I.; SANTOS, E.A.; SILVA, J.L.; SILVA, P.R.T.; CARDIM, A.H.; AMORIN, E.C. Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar na região do tabuleiro costeiro de Maceió, AL, período de

1972-2001. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v.12, n.1, p.131-141, 2004.

STOCHERO, E.C.; MALDANER, I.C.; MENEGHETTI, C.B.; HALBERSTADT, C.M.; BOLZAN, F.T.; STRECK, E.A. Fenologia de cultivares de soja em diferentes datas de semeadura em terras baixas. 2020. **ScientiaTec** 7. <https://doi.org/10.35819/scientiatec.v7i2.3787>

STRECK, N.A.; PAULA, G.M.; CAMERA, C.; MENEZES, N.L. DE; LAGO, I. Estimativa do plastocrono em cultivares de soja. **Bragantia** 67, 67–73. 2008. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000100008>

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal. 6 ed. Porto Alegre: **Artmed**, 2017. 858 p.

TRENTIN, R.; HELDWEIN, A. B.; STRECK, N. A.; TRENTIN, G.; SILVA, J. C. D. Subperíodos fenológicos e ciclo da soja conforme grupos de maturidade e datas de semeadura. **Pesq. Agropecuária. bras.**, Brasília, v.48, n.7, p.703-713, jul. 2013. DOI: [https:// 10.1590/S0100-204X2013000700002](https://10.1590/S0100-204X2013000700002)

YOKOYAMA, A. H.; BALBINOT, A. A.; ZUCARELI, C.; RIBEIRO, R. H. Índice de área foliar e SPAD durante o ciclo da soja em função da densidade de plantas e sua relação com a produtividade de grãos. **Revista de Ciências Agroveterinárias** v.17, n.7, p.531-538, jun. 2018. DOI: [https://DOI: 10.5965/223811711732018531](https://DOI:10.5965/223811711732018531)

WAZILEWSKI, W. T.; SANTOS, R. F.; BASSEGIO, D. Exigência térmica da cultura da soja para a região de Cascavel - Paraná. **Revista cultivando o saber**. Cascavel-PR, v.4, n.3, p.130-139, 2011.

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

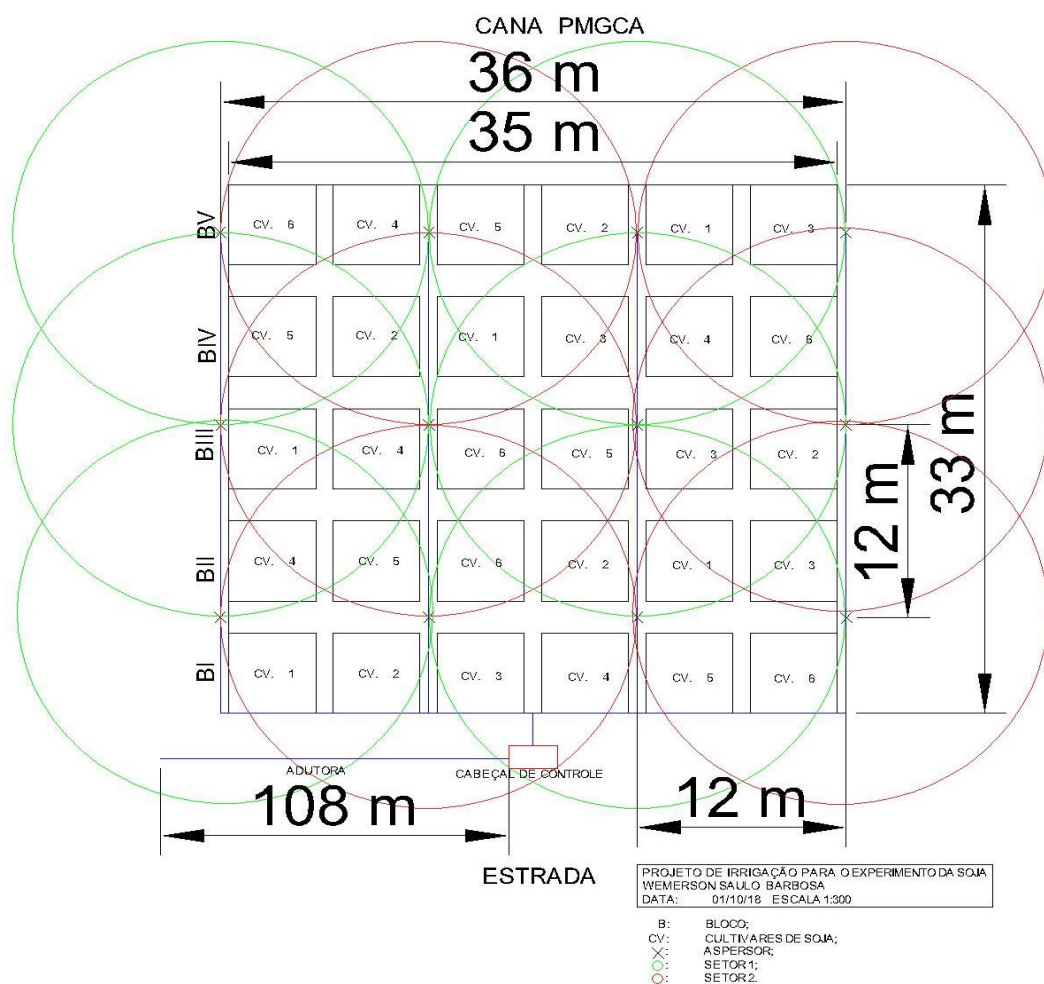
florescimento no Rio Grande do Sul. **Bragantia**, v.75, n.4, p.446-458, 2015. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.535>

ZANON, A. J.; WINCK, J. E. M.; STRECK, N. A.; ROCHA, T. S. M.; CERA, J. C.; RICHTER, G. L.; LAGO, I.; SANTOS, P. M.; MACIEL, L. 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. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 4, p.400-411, 2015. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0043>

ZANON, A. J. et al. Ecofisiologia da soja: visando altas produtividades. 1.ed. Santa Maria: Ed. **GR**, 2018. 136 p.

5. APÊNDICES

Apêndice 1. Croqui do experimento.



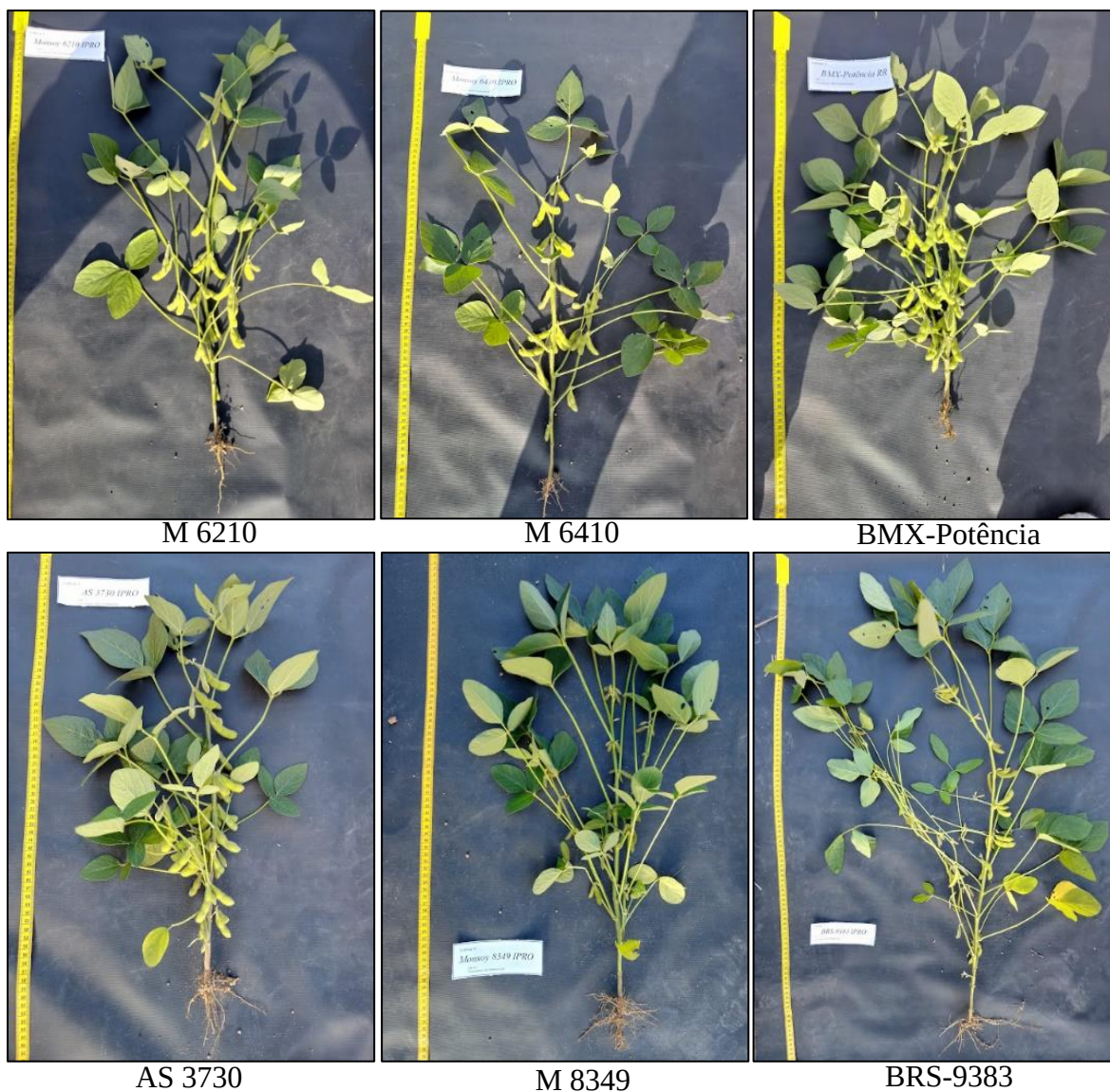
Apêndice 2. Preparo do solo e locação da área.



Apêndice 3. Abertura das linhas para o plantio, aplicação de calcário, adubação e montagem do sistema de irrigação.



Apêndice 4. Cultivares de soja.



Apêndice 5. Vista aérea do experimento.



Apêndice 6. Avaliações.

