

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CAMPUS PROFESSORA CINOBELINA ELVAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
MESTRADO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE SOJA SOB
DÉFICIT HÍDRICO NO SOLO

MARCELO SIMEÃO

BOM JESUS – PI

2015

MARCELO SIMEÃO

CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE GRAOS DE SOJA SOB DÉFICIT
HÍDRICO NO SOLO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal do Piauí – UFPI, Campus Professora Cinobelina Elvas – CPCE, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Solos e Nutrição de Plantas, área de concentração: Uso e Manejo do Solo e da Água.

Orientador: Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior

Co-orientador: Dr. Everaldo Moreira da Silva

BOM JESUS – PI

2015

FICHA CATALOGRÁFICA

Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial Campus Professora Cinobelina Elvas

Simeão, Marcelo

Crescimento e produtividade de grãos de soja sob déficit hídrico no solo. / Marcelo Simeão – Bom Jesus: UFPI, 2015.
76 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Campus Cinobelina Elvas, Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, 2015.

Orientador: Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior.

Co-orientador: Prof. Dr. Everaldo Moreira da Silva

1. Balanço de água no solo. 2. Fase fenológicas. 3. Manejo da irrigação. I. Título.

MARCELO SIMEÃO

CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE SOJA SOB DÉFICIT
HÍDRICO NO SOLO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal do Piauí – UFPI, Campus Professora Cinobelina Elvas – CPCE, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Solos e Nutrição de Plantas, área de concentração: Uso e Manejo do Solo e da Água.

APROVADA em: ____/____/____

Prof. Dr. Gabriel Barbosa da Silva Júnior-CCA/UFPI

Dr. Edson Alves Bastos - Embrapa Meio-Norte

Prof. Dr. Everaldo Moreira da Silva – CPCE/UFPI
(Co-orientador)

Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior - Embrapa Meio-Norte
(Orientador)

BOM JESUS – PI
2015

“Bom mesmo é ir a luta com determinação, abraçar a vida com paixão, perder com classe e vencer com ousadia, porque o mundo pertence a quem se atreve. ”

Chaplin

OFEREÇO

Aos meus queridos pais, Antônio Francisco e Lúcia Maria e a minha Tia Raimunda que me ensinaram através de suas vivências os melhores exemplos para vencer as incertezas da vida e confiar no futuro.

DEDICO

A minha esposa Ananda Rosa, por estar sempre ao meu lado, pelo carinho e paciência a mim dedicados ao longo desta caminhada. A você meu amor meu profundo e sincero agradecimento.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar todos os dias da minha vida, pela saúde, encorajamento, sabedoria para a superar momentos difíceis.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas.

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo, sem a qual seria impossível essa realização;

À Embrapa Meio-Norte, pelo apoio dado com a realização de análises, o fornecimento de sementes e a oportunidade de estágio;

Ao meu orientador e amigo Dr. Aderson Soares Andrade Júnior, que gentilmente aceitou me orientar e pacientemente me atendia em todos os momentos, além do aprendizado, sugestões e incentivos em minhas investigações e inquietações científicas e principalmente pela grande contribuição na minha formação científica, meu respeito e admiração. Obrigado!

Ao professor e co-orientador Dr. Everaldo Moreira da Silva, que além de orientar um amigo, somados aos seus conhecimentos e conselhos, os quais jamais serão esquecidos, pois, certamente contribuirão para a minha formação pessoal e profissional;

Ao pesquisador Dr. Edson Alves Bastos, por compartilhar seus conhecimentos, pela amizade e além de tudo pelos bons conselhos;

Ao professor Dr. Gabriel Barbosa da Silva Júnior pela sua disponibilidade em participar desta banca.

Aos professores Dr. Rafael Felipe; Dr. Fernandes Antônio de Almeida e ao pesquisador Paulo Fernando de Melo Jorge Vieira pelas orientações e ajudas durante o experimento;

Aos meus irmãos Ricardo Simeão e Ronaldo Simeão, a minha cunhada Valdirene Lima e minha sobrinha Lara Vitória pelo amor, carinho e compreensão, durante esta caminhada;

Aos meus avós Juvenal de Araújo, Maria das Dores (*in memoriam*), Antônio Paiva (*in memoriam*) e Francisca pelos conselhos que me guiaram e continuarão a me guiar por toda a minha vida;

A toda minha família e bem como a família da minha esposa pela força e incentivo;

Ao amigo Aureliano de Albuquerque Ribeiro pela sua alegria, amizade e as imensas ajudas nos momentos difíceis sem medir esforços;

Aos amigos e companheiros de república em Bom Jesus; Edney Sousa, Ranyellson Barbosa e Wolner Bida, pelo apoio e companheirismo nos momentos difíceis ou de muita alegria;

A secretária da Coordenação do Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas UFPI-Campus Professora Elvas, Jucele Alencar, pela alegria, amizade, competência e a grande ajuda;

Aos estagiários do setor de irrigação da Embrapa Meio-Norte, pela troca de conhecimentos e amizade;

A todos os meus colegas do curso de mestrado, pelo apoio e companheirismo nos momentos mais difíceis durante o curso;

Aos amigos (as) de Bom Jesus pela ajuda durante a experimento: Alef Texeira, Alcilane Arnaldo, Antônio, Arismar Prudêncio, Eudinete, Djavan Santos, Farley Santana, Felipe Lucena, Gustavo, Joelma, Jordânia Medeiros, João Paulo, João Carlos, Leandro, Priscila Barros, Regiane Moura, Rezânio Mendes, Zé Gil;

Ao Sr. Dalton Nepomuceno da Fonseca e família, por ter disponibilizado seu sítio e sua estrutura para realização do trabalho;

Ao secretário de Agricultura de Bom Jesus, Dr. Rafael Maschio, por ter fornecido maquinário para preparo da área;

Ao Sr. Gleiber R. Farias, proprietário da empresa AgroBahia, pela concessão dos inoculantes e fungicida para tratamento das sementes de soja utilizados no experimento e incentivo no desenvolvimento do projeto.

Enfim a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
LISTA DE TABELAS.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	V
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo geral.....	3
2.1.1 Objetivos específicos	3
3. REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1 A soja	4
3.1.1 Histórico e importância socioeconômico	4
3.1.2 Classificação botânica	6
3.1.3 Características morfológicas da planta.....	6
3.1.4 Estádios fenológicos.....	7
3.1.5 Ecofisiologia.....	10
3.2. A cultura da soja no Nordeste	12
3.3 Necessidade hídrica da soja	14
3.4 O déficit hídrico na cultura da soja	15
3.5 Características do crescimento da soja.....	19
3.6 Componentes de produção da soja.....	21
3.7 Monitoramento do conteúdo de água no solo	23
4. MATERIAL E MÉTODOS	25

4.1	Localização e caracterização da área experimental	25
4.2	Preparo do solo e adubação.....	27
4.3	Tratos culturais.....	29
4.4	Cultivar avaliada	29
4.5	Sistema de irrigação	29
4.6	Manejo de irrigação e imposição da deficiência hídrica	30
4.7	Monitoramento do conteúdo de água no solo	31
4.8	Tratamentos e delineamento experimental.....	31
4.9	Variáveis de crescimento	34
4.10	Componentes de produção	34
4.11	Análise estatística.....	35
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.1.	Dados climáticos	36
5.2.	Conteúdo de água no solo	37
5.3.	Componentes de crescimento.....	40
5.4	Alturas das plantas	41
5.5	Número de folhas	43
5.6	Índice de área foliar.....	45
5.7	Massa seca da parte aérea	47
5.8	Componentes de produção	49
5.9	Altura de inserção da primeira vagem (APV).....	50
5.10	Número de vagens por planta (NVP).....	51
5.11	Massa de cem grãos (MCG).....	53

5.12 Comprimento de vagem (CV).....	54
5.13 Número de grãos por vagens (NGV)	55
5.14 Produtividade de grãos (PG)	56
6. CORRELAÇÃO ENTRE OS COMPONENTES DE PRODUÇÃO	58
7. CONCLUSÕES	60
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

RESUMO

SIMEÃO, MARCELO. **Crescimento e produtividade de grãos de soja sob déficit hídrico no solo**. 2015. 78p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, PI¹

O déficit hídrico constitui-se como um dos principais responsáveis pela queda na produtividade de grãos da soja, cuja intensidade varia com a fase fenológica, sendo mais prejudicial ao coincidir com a fase crítica da cultura. Objetivou-se avaliar o efeito do déficit hídrico, ao longo das fases fenológicas, sobre o crescimento e a produtividade de grãos da soja, cultivar BRS Sambaíba RR, nas condições edafoclimáticas de Bom Jesus, PI. O experimento foi conduzido durante o período de agosto a dezembro de 2014. Os tratamentos consistiram na imposição de déficit hídrico no solo nas diferentes fases de desenvolvimento da soja. Os tratamentos avaliados foram: T1: déficit hídrico na fase de crescimento vegetativo (II); T2: déficit hídrico na fase de florescimento e enchimento de grãos (III); T3: déficit hídrico na fase de maturação das vagens (IV) e T4: testemunha: irrigação plena em todas as fases. A aplicação do déficit em cada fase foi baseada na reposição de 50% da evapotranspiração da cultura (ETc), de modo que a umidade do solo ficasse sempre abaixo do armazenamento crítico para a soja. Ao final de cada fase fenológica, a irrigação voltava a ser plena. Na irrigação plena ocorria a reposição de 100% da ETc durante o ciclo da cultura. A irrigação foi aplicada em dias alternados. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com seis repetições, totalizando 24 parcelas. O ensaio foi conduzido sob sistema de irrigação por gotejamento superficial, utilizando fita gotejadora, com espaçamento entre emissores de 0,30 m, com vazão nominal de 1,6 L h⁻¹. O monitoramento do conteúdo de água no solo foi efetuado pelo método gravimétrico, onde foram coletadas amostras de solo, nas profundidades de 0 a 0,2 m e de 0,2 a 0,4 m. Durante o crescimento da cultura avaliou-se: altura de plantas, número de folhas, índice de área foliar e massa seca total. Na colheita avaliou-se: altura média de inserção da primeira vagem, número de vagens por planta, comprimento de vagens, peso médio de 100 grãos e produtividade de grãos. O déficit hídrico aplicado nas fases fenológicas II, III e IV afetou o crescimento e a produtividade de grãos da soja. Contudo, o impacto foi maior quando a falta de água coincidiu com a fase crítica (florescimento e enchimento dos grãos). A produtividade de grãos sofreu redução de 62% com a imposição do déficit hídrico na fase III em relação à irrigação plena.

Palavras-chave: balanço de água no solo, *Glycine max*, manejo da irrigação.

¹ Orientador: Aderson Soares de Andrade Júnior- Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, Brasil.

ABSTRACT

SIMEÃO, MARCELO. **Growth and grain yield of soybean under water deficit in the soil.** 2015. 78p. Dissertation (Masters in Agronomy: Soil and Plant Nutrition) – Federal University of Piauí, PI²

The water deficit constitutes one of the main responsible for the grain yield reduction in soybean, whose intensity varies with the phenological stage, being more damaging to match the critical phase of the crop. It is aimed was to evaluate the effect of water deficit along the phenological stages on the growth and the soybean grain yield, BRS Sambaíba RR, at soil and climate conditions of Bom Jesus, Piauí State, Brazil. The experiment was conducted during the period from August to December 2014. The treatments consisted of water deficit in different stages of soybean development. The treatments were T1: water deficit in vegetative growth phase (II); T2: water deficit in flowering and grain filling stage (III); T3: water deficit at the pod maturation phase (IV) and T4: control - full irrigation in all phases. The application of the deficit in each phase was based on the replacement of 50% of crop evapotranspiration (ET_c), so that the soil moisture always stay below the critical storage for soybean. At the end of each phenological stage, irrigation was once again full. In full irrigation occurred replacement of 100% of ET_c during the crop season. Irrigation was applied every other day. The experimental design was a randomized block with six replications, totaling 24 installments. The water deficit application was conducted under drip irrigation system, using emitter spacing of 0.30 m, with nominal flow rate of 1.6 L h⁻¹. The monitoring of water content in the soil was made by gravimetric method, where soil samples were collected at depths of 0 to 0.2 m and 0.2 to 0.4 m. During crop growth were evaluated plant height, leaf number per plant, leaf area index and total dry mass. At harvest, it was evaluated: average height of first pod insertion, number of pods per plant, pod length, average weight of 100 grains and grain yield. The water deficit applied during phenological II, III and IV affected the growth and the soybean grain yield. However, the impact was greater when water deficit occurred during the critical stage (flowering and grain filling stage). The grain yield was reduced by 62% with the imposition of water deficit in phase III in relation to full irrigation.

Keywords: soil water balance, *Glycine max*, irrigation management.

² Adviser: Aderson Soares de Andrade Júnior- Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, Brasil

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estádios de desenvolvimento da soja.....	8
Tabela 2. Características químicas do solo da área experimental, Bom Jesus-PI, 2014.	26
Tabela 3. Características físico-hídricas do solo da área experimental, Bom Jesus-PI, 2014.	27
Tabela 4. Valores de Kc recomendados pelo FAO para as diferentes fases fenológicas da cultura da soja.	30
Tabela 5. Médias decendiais de temperatura do ar (T, °C), umidade relativa do ar (UR, %), radiação solar global (Rg, MJ m ⁻²), velocidade do vento (WS, m s ⁻¹) e evapotranspiração de referência (ET _o , mm) registrados durante o período experimental. Bom Jesus, PI, agosto-novembro 2014.....	36
Tabela 6. Resumo do quadro da análise de variância para: altura das plantas (AP), número de folhas (NF), área foliar (AF) e massa seca total (MST) de planta soja submetida a déficit hídrico no solo, ao longo de suas fases fenológicas. Bom Jesus, PI. 2014.	41
Tabela 7. Equações de regressão, respectivo R ² , ponto máximo e dias após semeadura- DAS para altura de planta –AP da cultivar BRS Sambaíba RR, Bom Jesus, PI, 2014.	43
Tabela 8. Equações de regressão, respectivo R ² , ponto máximo e dias após semeadura- DAS para número de folhas- NF da cultivar BRS Sambaíba RR, Bom Jesus, PI, 2014..	44
Tabela 9. Equações de regressão, respectivo R ² , ponto máximo e dias após semeadura- DAS para massa seca da parte área-MSPA da cultivar BRS Sambaíba RR, Bom Jesus, PI, 2014.....	48
Tabela 10. Resumo da análise de variância para altura de inserção da primeira vagem (APV, cm), número de vagens por plantas (NVP), comprimento de vagens (CV, cm), número de grão por vagem (NGV), massa de 100 grãos (MCG, g) e produtividade de	

grãos da soja (PG, kg/ha) em resposta aos tratamentos avaliados, Bom Jesus-PI, 2014.....	50
Tabela 11. Correlação de Pearson entre produtividade de grãos (PG, kg ha ⁻¹) altura de inserção da primeira vagem (APV), número de vagens por planta (NVP), massa de cem grãos (MCG), comprimento de vagem (CV), número de grãos por vagens (NGV), para cultivar BRS Sambaíba RR, Bom Jesus, PI, 2014.....	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa da região do MATOPIBA (MAPA, 2015).....	5
Figura 2. Fases do ciclo vegetativo da soja	7
Figura 3. Localização do município de Bom Jesus no mapa do Piauí (A) e imagem de satélite do Sítio São Luiz (B) (Google Maps).....	25
Figura 4. Estação agrometeorologia automática do INMET instalada no Campus Professora Cinobelina Elvas – UFPI, Bom Jesus, PI. (Fonte: Simeão).....	26
Figura 5. Curva de retenção da água no solo, para as duas camadas de profundidade, da área do experimento.....	27
Figura 6. Aração (A), aplicação de calcário (B), incorporação do calcário (C) e irrigação para reação do calcário (D) na área experimental. Sítio São Luiz, Bom Jesus, PI. 2014.	28
Figura 7. Detalhes do sistema de irrigação e parcelas no campo.....	33
Figura 8. Precipitação diária registrada durante o período experimental. Bom Jesus, PI, ago-nov de 2014.....	37
Figura 9. Umidade do solo, nas camadas de 0 a 0,2 m e de 0,2 a 0,4 m antes da irrigação (A) e depois da irrigação (B) na testemunha e antes (C) e depois (D) da aplicação do déficit hídrico na fase DII.	38
Figura 10. Umidade do solo, nas camadas de 0 a 0,2 m e de 0,2 a 0,4 m antes da irrigação (A) e depois da irrigação (B) no déficit na fase DIII e antes (C) e depois (D) da aplicação do déficit na fase DIV.....	39
Figura 11. Variação da altura das plantas de soja em resposta aos tratamentos aplicados ao longo de suas fases fenológicas. Bom Jesus, PI. 2014.....	42
Figura 12. Número de folhas das plantas de soja em resposta aos tratamentos aplicados ao longo de suas fases fenológicas. Bom Jesus, PI. 2014.....	44

Figura 13. Índice de área foliar das plantas de soja em resposta aos tratamentos aplicados ao longo de suas fases fenológicas. Bom Jesus, PI. 2014.....	46
Figura 14. Massa seca da parte área das plantas de soja em resposta aos tratamentos aplicados ao longo de suas fases fenológicas. Bom Jesus, PI. 2014.....	47
Figura 15. Altura de inserção da primeira vagem das plantas de soja em resposta aos tratamentos aplicados ao longo de suas fases fenológicas. Bom Jesus, PI. 2014.....	51
Figura 16. Número de vagens por planta de soja em resposta aos tratamentos aplicados. Bom Jesus, PI. 2014.....	52
Figura 17. Massa de cem grãos de soja em resposta aos tratamentos aplicados, Bom Jesus, PI. 2014.	54
Figura 18. Comprimentos de vagem em planta de soja em resposta aos tratamentos aplicados ao longo de suas fases fenológicas. Bom Jesus, PI. 2014.....	55
Figura 19. Número de grãos por vagens em planta de soja em resposta aos tratamentos aplicados ao longo de suas fases fenológicas. Bom Jesus, PI. 2014.....	56
Figura 20. Produtividade de grão e soja em resposta aos tratamentos aplicados. Bom Jesus, PI. 2014.	57

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill), é pertencente à família Leguminosae e subfamília Fabaceae, sendo considerada uma das mais importantes leguminosas, em função da sua composição, constituída por 20% de óleo, 38% de proteína, 34% de carboidratos, além de fibras e constituintes inorgânicos (SEDIYAMA et al., 2005 e EMBRAPA, 2011).

A soja é a cultura agrícola brasileira que mais cresceu em área cultivada nas últimas três décadas e corresponde a 49% da área plantada de grãos do país. O aumento da produtividade está associado aos avanços tecnológicos, ao manejo e à eficiência dos produtores. O grão é componente essencial na fabricação de rações animais e com uso crescente na alimentação humana. Cultivada especialmente nas regiões Centro Oeste e Sul do país, a soja se firmou como um dos produtos mais destacados da agricultura nacional e na balança comercial. No cerrado, seu cultivo tornou-se possível graças aos resultados obtidos pelas pesquisas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em parceria com produtores, indústrias e centros privados de pesquisa. Os avanços nessa área possibilitaram também o incremento da produtividade média por hectare, atingindo os maiores índices mundiais (MAPA, 2015).

Atualmente, o Piauí aparece como um grande potencial de produtor de grãos, principalmente a soja. Na safra 2013/2014, a área cultivada com soja no Piauí alcançou o patamar de 627.300 ha, atingindo uma produtividade média de 2374 kg ha⁻¹ (CONAB, 2015). Segundo levantamento da safra brasileira de grãos da Conab (2015), dentre os grãos, a soja recebe destaque ao se comparar com os dados da safra de 2003/2004, havendo no Estado do Piauí, um crescimento de aproximadamente 294% na área plantada, alcançando uma produção de 1.489,2 mil toneladas, 691% a mais em relação há 10 anos. Os municípios de Baixa Grande do Ribeiro, Uruçuí, Ribeiro Gonçalves, Santa Filomena, Bom Jesus, Currais, Gilbués, Monte Alegre do Piauí, Sebastião Leal, Palmeira do Piauí e Corrente, situados no cerrado piauiense, sobressaíram-se dentre os demais municípios produtores de soja no Sudoeste do Piauí (IBGE, 2015).

A soja requer cerca de 450 a 800 mm de água durante seu ciclo para obter rendimento máximo de produção (EMBRAPA, 2011). A necessidade de água aumenta durante o desenvolvimento da cultura, atingindo o pico máximo no período de floração/enchimento de grãos, onde necessita de 7 a 8 mm dia⁻¹, decrescendo logo após

essa etapa (FARIAS et al., 2007). É, portanto, uma cultura muito exigente em água para adequado desenvolvimento e produtividade de grãos.

A distribuição irregular das precipitações, característica marcante do nordeste brasileiro, afeta diretamente o rendimento das culturas, principalmente quando coincide com a sua fase crítica. A existência de estresse causado por deficiência de água determina a ocorrência de plantas de soja pouco desenvolvidas, com pequena estatura, área foliar reduzida e entrenós curtos e queda no rendimento dos grãos, podendo em muitos casos causar a morte da planta (FARIAS et al., 2007). No Estado do Piauí, estudos sobre a temática tratada são escassos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito do déficit hídrico, em diferentes fases fenológicas, sobre o crescimento e a produtividade de grãos da soja, nas condições edafoclimáticas de Bom Jesus, PI.

2.1.1 Objetivos específicos

- a) Avaliar qual parâmetro de crescimento é mais afetado com o déficit hídrico;
- b) Verificar, dentre os componentes de produção, quais expressaram maior influência na produtividade de grãos em função do déficit hídrico.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A soja

3.1.1 Histórico e importância socioeconômico

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] tem como centro de origem a China. Inicialmente rasteira e cultivada nas margens de rios, foi domesticada e introduzida provavelmente no período de 1500 a 1027 a.C. Três mil anos após, a soja se espalhou pela Ásia, onde começou a ser utilizada como alimento. No início do século XX passou a ser cultivada comercialmente nos Estados Unidos. Depois houve um rápido crescimento na produção, com o desenvolvimento das primeiras variedades cultivadas comerciais (MELO, 2005), sendo atualmente a mais importante oleaginosa cultivada no mundo (SANTOS NETO et al., 2013).

O primeiro registro de cultivo de soja no Brasil ocorreu em 1914 no município de Santa Rosa, RS. Mas foi a partir da década de 60, nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo, impulsionada pela política de subsídios ao trigo, visando autossuficiência, que a soja se estabeleceu como cultura economicamente importante para o país, passando a ser cultivada em grandes extensões, levando o país ao segundo lugar no contexto mundial em produção (HIROMOTO e VELLO, 1986).

A partir da década 70, a soja se concretizou como a principal cultura do agronegócio brasileiro, expandindo sua produção para a Região Centro-Oeste, sendo atualmente liderado pelo Estado do Mato Grosso. Com o passar dos anos e a falta de terras agricultáveis no Sul e no Sudeste do Brasil, a soja passou a ocupar terras do cerrado, chegando à Região sudoeste do Piauí, Sul do Maranhão, Oeste da Bahia e norte do Tocantins, denominada de região do MATOPIBA (Figura 1), ocupando 41.438.100 hectares em toda essa área (MAPA, 2015).



Figura 1. Mapa da região do MATOPIBA (MAPA, 2015).

Nos últimos 40 anos, a produção mundial de soja aumentou mais de 500%. Os benefícios nutricionais desta leguminosa contribuíram para o maior interesse em seu destino para alimentação. Um nicho de mercado para a soja de boa qualidade alimentar tem se desenvolvido e ganhado grande importância com a criação de cultivares com alto grau de componentes nutricionais (JAUREGUY et al., 2011).

A soja atualmente é utilizada em três categorias básicas sendo: alimentação humana, alimentação animal e combustíveis. Na alimentação humana, a soja é utilizada como óleo de soja refinado, farinha desengordurada de soja, carne de soja, leite de soja, tofu (queijo de soja), a lecitina da soja (utilizada na fabricação de chocolates e biscoitos) e o “shoyu”, molho utilizado sobre refeições (SANTOS et al, 2011).

Já na alimentação animal, os derivados de soja são utilizados principalmente como fonte de fibras e de proteínas, sendo aplicado na produção de rações para aves, bovinos, caprinos, ovinos, suínos e pescados: soja in natura, casca de soja, óleo de soja, lecitina e farelo de soja (SANTOS et al, 2011).

Em relação ao combustível, a utilização da soja visa o fornecimento de energia para a indústria, destacando-se os seguintes subprodutos: casca, óleo, álcool e melão da soja (IMCOPA, 2011).

Na safra 2013/2014, a Região Centro-Oeste liderou o ranking da produção nacional com 41.800,5 mil toneladas, correspondente a 48,5% do total produzido no

país, com o Estado do Mato Grosso sendo o maior produtor nacional com 28.216,4 mil toneladas (67,5% da Região Centro-Oeste) e o Estado do Paraná o segundo maior produtor do País com 15.912,4 mil toneladas. As regiões Sul e Centro-Oeste produziram 71.099,3 mil toneladas, correspondendo a mais de 80% da produção nacional (CONAB, 2015).

Ainda segundo dados da Conab, a Região Sudeste ocupou o terceiro lugar com uma produção de 5015,3 mil toneladas, representando 5,82% da produção nacional, bem próximo à produção da Região Nordeste, que produziu o equivalente a 7,68% da produção brasileira, participando com 6.620,9 mil toneladas produzidas. A Região Norte responde por apenas 3,93% correspondendo a 3.391,3 mil toneladas de soja produzida, estando o Estado do Tocantins responsável por 60% da produção da referida Região.

3.1.2 Classificação botânica

A soja cultivada comercialmente é uma planta pertencente ao reino Plantae, divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, ordem Fabales, família Fabaceae (Leguminosae), subfamília Faboideae (Papilionoideae), gênero *Glycine*, espécie *Glycine max* e forma cultivada *Glycine max* (L.) Merrill (SEDIYAMA, 2009). No Brasil, cultivares de soja possuem ciclo que variam entre 75 e 210 dias podendo ser classificados em grupos de maturação precoce, semi-precoce, médio, semi-tardio e tardio, dependendo da região em qual se encontra. A altura da planta depende da interação das condições da região e do cultivar (BORÉM, 2005).

3.1.3 Características morfológicas da planta

O sistema radicular é classificado como axial ou pivotante com um eixo principal e uma grande quantidade de raízes secundárias encontradas, em sua maioria, a uma profundidade de 15 cm, podendo atingir, entretanto, um comprimento de até 180 cm (BORÉM, 2005).

O caule da soja é do tipo ramoso, com altura variando entre 80 e 160 cm, terminação em racemo, de hábito de crescimento determinado ou sem racemo, se é indeterminado. As folhas variam seu formato durante o desenvolvimento podendo ser:

cotiledonárias, primárias ou simples, trifolioladas ou compostas e prófilos simples (BORÉM, 2005).

A fecundação se dá na maior parte de maneira autógama, ou seja, sem troca de material genético. As flores são perfeitas e os órgãos masculinos e femininos protegidos dentro da corola, apresenta coloração branca, púrpura e tons variando entre ambas as cores, de acordo com a cultivar. Floresce quando a planta apresenta de 10 a 12 folhas trifolioladas (BORÉM, 2005).

Sua vagem é arqueada e pilosa, medindo de 2 a 7 cm de comprimento, podendo alojar de 1 a 5 sementes. A coloração da vagem varia de verde a cinza, em função do estágio de desenvolvimento da planta. As sementes são lisas, ovais, globosas ou elípticas nas cores amarela ou verde. O hilo pode ser marrom, verde ou cinza (GOMES, 1990).

3.1.4 Estádios fenológicos

A caracterização dos estádios de desenvolvimento da planta de soja é fundamental para a descrição dos diversos períodos ou fases de crescimento durante o ciclo da cultura. A descrição dos estágios facilita a melhor comunicação entres diversos públicos interessados e/ou que estudam a cultura, já que ocorre padronização de seu desenvolvimento (Figura 2). A metodologia de descrição dos estádios de desenvolvimento proposta por Fehr e Caviness (1977) é a mais utilizada no mundo inteiro (Tabela 1).

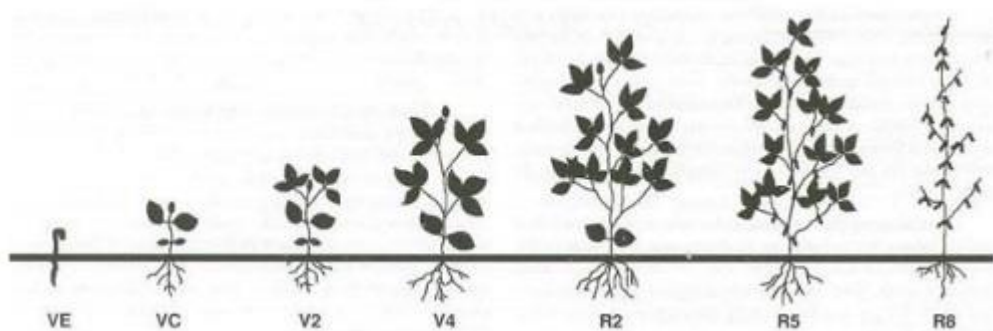


Figura 2. Fases do ciclo vegetativo da soja. Câmara (1998)

Tabela 1. Estádios de desenvolvimento da soja.

Estádio	Fase vegetativa
VE-Emergência	Os cotilédones apresentam-se acima do solo, ocorrendo desdobramento e expansão das folhas primárias; a coloração do hipocótilo é verde, branca ou verde-arroxeadado dependendo da cultivar. Duração de 3 a 7 dias.
VC-Cotilédones desenvolvidos	Os cotilédones apresentam-se bem desenvolvidos, espessos e com coloração verde escura, com desdobramento e expansão das folhas primárias. Duração de 3 a 10 dias.
V1-Primeiro nó maduro	As folhas unifolioladas estão estendidas e a primeira folha trifoliolada está suficientemente aberta, de tal modo que os bordos de cada unifólio não estão se tocando. Consumo médio de água 1,0 mm dia ⁻¹ . Duração de 3 a 10 dias.
V2-Segundo nó maduro	A primeira folha trifoliolada está estendida, isto é, com os três folíolos expandidos e a segunda folha trifoliolada está suficientemente aberta, de tal modo que os bordos de cada unifólio não estão se tocando. A planta passa a depender da fotossíntese das folhas já estabelecidas e em desenvolvimento. Ocorre o início da formação dos nódulos radiculares. Índice de área foliar (IAF) - 0,04 - 0,09. Consumo médio de água de 1,0 mm dia ⁻¹ . Duração de 3 a 8 dias.
V3-Terceiro nó maduro	A segunda folha trifoliolada está estendida, isto é, com os três folíolos expandidos e a terceira folha trifoliolada está suficientemente aberta, de tal modo que os bordos de cada unifólio não estão se tocando. Ocorre o amarelecimento e abscisão (queda) dos cotilédones, início da fixação de N. Índice de área foliar (IAF) 0,06 - 0,25. Consumo médio de água de 1,5 mm dia ⁻¹ . Duração de 3 a 8 dias
Vn -Enésimo nó maduro	A enésima folha trifoliolada está estendida, isto é, com os três folíolos expandidos e a folha trifoliolada n+1 está suficientemente aberta, de tal modo que os bordos de cada unifólio não estão se tocando. Finaliza o estágio vegetativo quando ocorre o aparecimento de flores, iniciando o estágio reprodutivo.
Fase Reprodutiva	
R1-Início do florescimento	Ocorre uma flor aberta em qualquer nó da haste principal. Índice de área foliar (IAF) de 3,1 - 4,1. Consumo médio de água de 6,2 mm dia ⁻¹ . Duração de 1 a 7 dias. É caracterizada como o início do período reprodutivo, ou seja, aparecimento dos primeiros botões florais. Essa fase está compreendida no período de maior demanda por nutrientes que vai de R1 a R5.
R2 - Florescimento pleno	As flores apresentam-se abertas em um dos dois nós superiores da haste principal. A planta atinge em torno de 90% de sua altura final. Consumo médio de água de 6,9 mm.dia ⁻¹ . Temperaturas inferiores a 15°C podem afetar o processo de fecundação das flores e temperaturas superiores a 30°C podem provocar o abortamento de flores. Duração de 5 a 15 dias.

Tabela 2. Estádios de desenvolvimento da soja. (Continuação).

R3 -Início da frutificação	Ocorre a presença de vagens com 0,5 cm de tamanho "canivetinhos" em um dos quatro nós superiores da haste principal. Consumo médio de água de 7,2 mm dia ⁻¹ . Temperaturas superiores a 30°C podem provocar abortamento. Duração de 5 a 15 dias. Fase caracterizada como o final da floração e início da formação de vagens.
R4 -Vagem formada	Ocorre a presença de vagens com 2 cm de comprimento em um dos quatro nós superiores da haste principal. Crescimento da vagem e início do desenvolvimento de grãos. Vagens atingem tamanho máximo antes dos grãos começarem o enchimento. Consumo médio de água de 7,3 mm dia ⁻¹ . Temperaturas superiores a 30°C podem provocar abortamento de vagens. Duração de 4 a 26 dias.
R5 - Início da formação de grãos	Ocorre o início da formação dos grãos que apresentam 0,3 cm de tamanho em um dos quatro nós superiores. A planta atinge máxima altura. Consumo médio de água de 7,5 mm dia ⁻¹ . Fase crítica com relação à falta de água. Duração de 11 a 20 dias.
R6 -Grão formado	Ocorre o enchimento completo de grãos. Vagem contendo grãos verdes que preenchem totalmente a cavidade da mesma. Consumo médio de água - 7,4 mm dia ⁻¹ . Fase crítica com relação ao déficit hídrico. Duração - 9 a 30 dias.
R7-Início da maturidade fisiológica	Ocorre a maturidade fisiológica, ponto em que os grãos se desligam da planta mãe, a planta cessa a translocação de fotoassimilados para estes, e tem início o processo de perda de água. Os grãos de soja encontram-se com teores de umidade entre 45 a 60%, com alteração na coloração e no tamanho.
R8-Maturação em campo	Ocorre o início do desfolhamento das plantas de soja, decréscimo do teor de umidade dos grãos, alteração na coloração e tamanho. Consumo médio de água de 3,2 mm dia ⁻¹ . Duração de 5 a 7 dias.
R9 -Ponto de colheita	As plantas apresentam-se com 95% das vagens maduras, decréscimo máximo do teor de umidade dos grãos. Alteração na coloração e tamanho de vagens e planta. São necessários 5 a 10 dias de tempo seco, após o R8, para que os grãos da soja apresentem menos de 15% de umidade, ponto ideal para colheita mecanizada.

Fonte: Fehr e Caviness (1977).

A grande importância do conhecimento dos estádios de crescimento da cultura advém da possibilidade de ajustar as datas da semeadura, de forma que as fases de crescimento mais críticas coincidam com os períodos aos quais é mais provável o suprimento das necessidades da cultura (FARIAS et al., 2001). Mundstock e Thomas (2005) afirmam que este ajuste é necessário quando ocorre florescimento precoce, ou seja, poucas semanas após a semeadura, não há número suficiente de ramos e folhas e,

em decorrência, o número de nós de onde são geradas as flores é extremamente reduzido. Situação oposta ocorre com cultivares que retardam excessivamente o florescimento e há crescimento vegetativo exagerado. Com estas informações, a semeadura em épocas inadequadas pode afetar a estatura, o ciclo e o rendimento das plantas na cultura da soja, além de aumentar as perdas durante a realização da colheita (EMBRAPA, 2011).

3.1.5 Ecofisiologia

A temperatura é um dos elementos básicos do ambiente que influencia no desenvolvimento da soja e normalmente interage com fotoperíodo, podendo apressar o ciclo nas suas diversas fases. Segundo Farias et al. (2007), a soja se adapta melhor a temperaturas do ar entre 20°C e 30°C.

Segundo Câmara (1998), a semeadura da soja não deve ser realizada quando a temperatura do solo estiver abaixo de 20°C, porque prejudica a germinação e a emergência. A faixa de temperatura do solo adequada para semeadura varia de 20°C a 30°C, sendo 25°C a temperatura ideal para uma emergência rápida e uniforme. A temperatura exerce influência nos processos de germinação, crescimento, floração, frutificação, nas reações químicas da respiração e da fotossíntese e, ainda, na absorção de água e nutrientes (SEDIYAMA, 2009).

A soja é considerada uma planta de dias curtos, onde a temperatura influencia na diferenciação floral. O florescimento é afetado pelas temperaturas inferiores a 20°C aumentando com temperaturas próximas a 30°C. A temperatura ideal para cultura da soja é em torno de 30°C e o crescimento é paralisado em temperaturas menores que 10°C, podendo acontecer distúrbios com temperaturas maiores que 40°C. Conforme a diminuição da temperatura, o número de dias para o florescimento aumenta.

O crescimento vegetativo da soja é pequeno ou nulo em temperaturas menores ou iguais a 10°C. Temperaturas acima de 40°C têm efeito adverso na taxa de crescimento, provocando distúrbios na floração e diminuição da capacidade de retenção de vagens. Esses problemas se acentuam com a ocorrência de déficits hídricos (FONTANA, 2001).

A floração da soja somente é induzida quando ocorrem temperaturas acima de 13°C, antecipando, com isso, o florescimento quando acontecem altas temperaturas, o que pode acarretar diminuição na altura da planta. Este problema pode ser agravado se, ao mesmo tempo, ocorrer insuficiência hídrica e/ou fotoperiódica durante a fase de crescimento. As existências das diferenças de data da floração entre cultivares, numa mesma época de semeadura, num mesmo local, são devidas, principalmente, à resposta diferencial das cultivares ao fotoperíodo (ALMEIDA, 2005).

A maturação pode ser acelerada pela ocorrência de altas temperaturas e, quando acompanhadas por períodos de alta umidade relativa do ar, há diminuição da qualidade das sementes que, quando associadas a condições de baixa umidade relativa do ar, são predispostas a danos mecânicos durante a colheita. Temperaturas baixas na fase da colheita, associadas a período chuvoso ou de alta umidade relativa do ar, podem provocar um atraso na data de colheita, bem como haste verde e retenção foliar (EMBRAPA, 2009).

A soja é uma planta sensível à duração das horas de luz, florescendo quando o comprimento dos dias (horas de luz) é inferior a determinado valor, denominado fotoperíodo crítico Câmara (2000). A sensibilidade da soja ao fotoperíodo ainda é uma importante restrição para uma adaptação mais ampla da cultura. Em relação a essa característica, a faixa de adaptabilidade de cada cultivar varia à medida que se desloca em direção ao norte ou ao sul (FARIAS et al., 2007).

Para que a soja floresça é necessário um período de luz inferior a 13 horas por dia (RANGEL, 2006). De acordo com Marion (2004), para períodos de luminosidade acima de 16 horas, o florescimento e a frutificação da soja são inibidos. Rodrigues et al. (2001) relatam que a sensibilidade ao fotoperíodo é condicionada pelas características genéticas da cultivar, e que o seu grau de resposta ao estímulo fotoperiódico é o principal determinante da área de adaptação das diferentes cultivares, entretanto, existem cultivares que não seguem a regra em que, somente há florescimento em períodos luminosos inferiores a 13 horas.

A radiação solar está intensamente ligada à produtividade da soja devido ao fato de interferir na fotossíntese, alongação de haste principal e ramificações, expansão foliar, pegamento de vagens e sementes e fixação biológica de nitrogênio (CÂMARA, 2000).

3.2. A cultura da soja no Nordeste

Atualmente, a Região do Nordeste brasileiro se tornou uma importante fronteira agrícola para a expansão da produção da cultura da soja, com destaque para a extensão dos cerrados da região, que é um dos biomas que se estende por vários Estados do território brasileiro. Na Região Nordeste ocorre nos Estados da Bahia, Maranhão e Piauí, onde apenas uma pequena parcela do território é destinada a unidades de conservação, ainda que seja o bioma de maior biodiversidade do mundo (BNB, 1998).

Na década de 80, a produção da soja foi ampliada para o Estado de Goiás, o oeste de Minas Gerais e Bahia, sul do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, (IGREJA et al., 1988). Atualmente, áreas da Amazônia na Região Norte, o Estado do Mato Grosso e oeste do Estado do Maranhão e também áreas do Nordeste, principalmente o Maranhão, Piauí e Bahia também foram alvos do avanço da plantação de soja (MUELLER e BUSTAMANTE, 2002).

O Piauí e o Maranhão concebem juntos 10,7% do espaço físico de Cerrado do país (CASTRO, 1996), estimando-se que haja cerca de 6 milhões de hectares virtualmente agricultáveis, formando uma importante fronteira agrícola para a produção de grãos. Segundo Souza (2012), o cultivo da soja no Nordeste do Brasil tem se concentrado nos cerrados do Sul do Maranhão e do Sudoeste do Piauí. Com a fundação do Programa Corredor de Exportação Norte, que tem como área de alcance os cerrados do Sudoeste do Piauí, Sul do Maranhão e Norte e Sudeste do Tocantins, foram expandidas às chances comerciais da produção de soja na Região pelas vantagens comparativas criadas pela infraestrutura de transporte.

A soja começou a ser cultivada no Nordeste brasileiro aproximadamente nos anos 80 no Estado da Bahia, com uma pequena área de apenas 1,9 mil hectares e hoje destacando os municípios de São Desidério, Formosa do Rio Preto, Luís Eduardo Magalhães e Barreiras. Chegou ao Maranhão no ano de 1984 e posteriormente, no ano de 1987 ao Estado do Piauí, que juntamente com o Tocantins, formam a última fronteira agrícola, a área conhecida por MAPITOBA (Figura 1) (CONAB, 2015).

Segundo dados da Conab (2015), em 1984, o Estado do Maranhão contava apenas com 10 mil hectares de soja, o que correspondia o total da área cultivada com a cultura em toda a Região Meio Norte, crescendo a partir daí, até atingir dimensões e ritmos importantes, chegando a 129.010 ha em 1997 e no ano de 2014 atingiu uma a

marca de 662,200 ha. No Piauí, o primeiro registro oficial do cultivo da soja, como atividade econômica, ocorreu em 1987, com apenas 0,200 ha de área cultivada. A partir dessa data, iniciou-se um crescimento muito lento e de pequenas dimensões, atingindo 18.075 ha em 1997 e chegando a 627,300 ha em 2014. Nos últimos anos os Estados do Maranhão e do Piauí atraíram muitos investidores devido ao fato de que, os produtores do Centro Sul do País, atraídos pelo baixo preço de suas terras potencialmente agricultáveis. (SANO et al., 2008; MATTOS, 2010).

Para que ocorresse a expansão da soja para as regiões ainda inexploradas da Região Nordeste foi necessário que alguns fatores possibilitassem esse crescimento, dentre os quais se destacam os incentivos fiscais; mercado externo que se manteve em alta; substituição dos óleos animais por óleos vegetais, que exigissem a produção de grãos com alto teor de óleo; melhorias na infraestrutura viária e portuária; consolidação de uma rede de pesquisa acerca da soja; concretização de parques industriais de processamento e beneficiamento de soja, fornecimento de insumos e máquinas agrícolas (EMBRAPA, 2011).

A soja cultivada no cerrado, mais precisamente na microrregião do Alto Médio Gurguéia, situado ao Sul do Estado do Piauí, teve na década de 80, seu fortalecimento nos incentivos econômicos e na perspectiva de construção de corredores viários de exportação dedicados ao escoamento da produção para os grandes portos do Nordeste, especialmente complexo portuário de Itaqui/Ponta da Madeira, em São Luís, Maranhão (ARAÚJO, 2006).

Atualmente, o Piauí aparece como um grande potencial de produtor de grãos, principalmente soja. Na safra 2013/2014, a área cultivada com soja no Piauí alcançou o patamar de 627,3 mil ha, atingindo uma produtividade média de 2.374 kg ha⁻¹ (CONAB, 2015). Segundo levantamento de acompanhamento da safra brasileira de grãos da Conab (2015), dentre os grãos destacam-se o da soja, pois, ao se projetar para a safra de 2003/2004, houve no Estado do Piauí, um crescimento de aproximadamente 293,79% na área plantada e com isso, a produção atingiu 1.489,2 mil toneladas, 691% a mais em relação há 10 anos. Com este grande aumento superou em crescimento os Estados do Maranhão e da Bahia, que registraram um aumento de 564% e 684%, respectivamente. O Estado alcançou também a maior produtividade de soja quando comparado aos demais Estados nordestinos produtores. Os municípios de Uruçuí, Baixa

Grande do Ribeiro, Ribeiro Gonçalves e Bom Jesus, situados no cerrado piauiense destacam-se dentre os municípios produtores de soja no sul do Piauí (IBGE, 2015).

3.3 Necessidade hídrica da soja

A necessidade de adequado suprimento hídrico para o pleno desenvolvimento dos vegetais decorre das múltiplas funções que a água desempenha na fisiologia das plantas, pois praticamente todos os processos metabólicos são influenciados pela sua presença (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000).

Dentre todos os elementos do clima a precipitação é a variável que mais representa as causas na queda de produtividade. Apesar do vasto conhecimento acumulado em relação ao cultivo da soja que resultou no elevado grau de tecnificação da maior parte das lavouras brasileiras, a disponibilidade hídrica durante a estação de crescimento constitui ainda a principal limitação à plena expressão do potencial de rendimento das culturas e a maior causa de variabilidade de rendimento de grãos de um ano para o outro (FARIAS, 2006).

A soja atinge a máxima exigência hídrica na floração e enchimento dos grãos (7 a 8 mm.dia⁻¹). O estresse hídrico neste período pode ocasionar problemas fisiológicos graves que acarretam queda prematura de folhas e conseqüente redução de produtividade. A necessidade de água durante todo o ciclo para um rendimento máximo varia de 450 a 800 mm dependendo, principalmente do clima, manejo da cultura e da variedade empregada.

A semente de soja necessita absorver, no mínimo, 50% de seu peso em água para assegurar boa germinação. Nessa fase, o conteúdo de água no solo não deve exceder a 85% do total máximo de água disponível e nem ser inferior a 50%, apesar das raízes atingirem mais de 1,5 m de profundidade, as atuais cultivares brasileiras de soja têm apresentado raízes pouco profundas, ficando a zona efetiva do sistema radicular ao redor de 40 a 50 cm. Solos pesados e compactados dificultam a penetração das raízes, reduzindo ainda mais a profundidade efetiva do sistema radicular das plantas da soja (EMBRAPA, 2009).

Em trabalhos realizados em Londrina, PR, ao longo de 15 safras, avaliando-se diversas cultivares sob diferentes condições de disponibilidade hídrica, verificou-se que os maiores rendimentos de grãos de soja foram obtidos com 650 a 700 mm de água,

bem distribuídos em todo o ciclo. Na bacia do rio Uruguai, Cardoso (1995) observou um consumo hídrico de 731,6 mm e 689,5 mm no ciclo da cultura, para épocas de semeadura em outubro e novembro, respectivamente. Num estudo conduzido por Collares (1994), a evapotranspiração real na cultura da soja foi de 744,11, 684,37, 735,65, 558,10 e 494,62 mm para o nível de manejo da umidade na tensão de 10, 30, 50, 150, 300 kPa, respectivamente.

Mota e Agendes (1989) encontraram a necessidade de irrigação variando entre 142,2 a 300,2 mm, em 80% do tempo, em razão dos limites inferiores de disponibilidade hídrica adotados na irrigação, por aspersão. Berlato e Bergamashi (1979), determinando o consumo estacional de água pela cultura da soja no Rio Grande do Sul, obtiveram um consumo médio diário de 5, 8 mm. Este consumo, expresso pela evapotranspiração diária, variou desde 2,2 mm no subperíodo plantio-emergência até o valor máximo de 7,4 mm, atingindo no subperíodo entre o início do florescimento e o máximo surgimento de vagens.

Matzenauer (1999) apresentou médias da evapotranspiração da cultura da soja no Rio Grande do Sul de 2,7 mm diários para o período de estabelecimento da cultura, 7,5 mm/dia, em média, do início da floração ao início do enchimento dos grãos e 5,7 mm/dia no final do ciclo. Considerando todo o ciclo, o autor descreve o valor de ETm de 827, 2 mm, com média diária de 6,1 mm/dia. Mendes (2006), no Distrito Federal, verificou que a demanda hídrica da soja foi estimada em 850 mm ao longo de todo o ciclo. O autor ainda constatou que a demanda hídrica da cultura é crescente ao longo de todo o ciclo da cultura, alcançando o valor máximo nos estágios reprodutivos.

3.4 O déficit hídrico na cultura da soja

A existência da baixa disponibilidade hídrica é atualmente o principal fator ambiental que limita o crescimento e a produtividade de plantas em todo mundo, e as mudanças climáticas globais provavelmente contribuirão para que a falta de água se torne um fator de restrição ainda maior da produção em diversas áreas (SOUZA, 2012).

O déficit hídrico é caracterizado pela perda de água que excede a taxa de absorção e, deste modo, atua diretamente na relação água e planta, em que os danos à planta dependem da amplitude e do período de exposição, após, promovendo mudanças

na célula e as vias moleculares, assim como é relatada acumulação de solutos orgânicos, como os carboidratos e prolina (COSTA et al., 2008).

A soja pode ser considerada uma cultura tolerante à deficiência hídrica por possuir período de florescimento longo, permitindo que escape de secas de curta duração, compensando a perda de flores ou legumes com o aparecimento de flores tardias por ocasião de condições mais adequadas de umidade de solo (MOTA, 1983). No entanto, a planta de soja, ao ser submetida à deficiência hídrica, se manifesta na forma de baixa estatura, folhas pequenas e murchas, entrenós curtos, redução na taxa de crescimento da cultura, menor índice de área foliar, menor taxa de expansão foliar, atividade fotossintética menos intensa, prejuízos a fixação de nitrogênio e, por influir no metabolismo geral da planta, acaba afetando negativamente o rendimento de grãos (NEUMAIER et al., 2000).

Secas durante o período reprodutivo (pós-florescimento) causam reduções drásticas no rendimento de grãos, devido ao maior abortamento, menor número de grãos por legume, menor período de enchimento de grãos, diminuição da qualidade de grãos e aceleração da senescência foliar. Estas perdas, em algumas ocasiões, acabam não sendo compensadas pelo número de grãos por legume e pelo peso do grão, pois esses componentes do rendimento possuem limites máximos determinados geneticamente (NEUMAIER et al., 2000).

Fietz e Urchei (2002) ao estudar a deficiência hídrica da cultura da soja na região de Dourado, MS, constataram que de maneira geral, a soja semeada em novembro apresentou maior deficiência hídrica que a semeada em dezembro. Na semeadura em novembro, os maiores déficits hídricos ocorreram no estágio do segundo nó ao início do florescimento, enquanto que a semeadura de dezembro as maiores deficiências hídricas ocorreram no início do florescimento ao início do enchimento de grãos.

Borrmann (2009) afirma que o déficit hídrico na soja, na fase de enchimento dos grãos, pode causar redução no tamanho e peso dos grãos, além da retenção da cor verde, visto que a falta de água prejudica a atividade das enzimas responsáveis pela degradação da clorofila, o que resulta em alto teor de grãos verdes. Segundo Neumaier et al. (2000), a existência de déficit hídrico em todo o subperíodo de início de enchimento de grãos e início do estágio de grãos verdes, pode reduzir drasticamente o

rendimento da soja, pois quase metade dos nutrientes necessários ao enchimento de grãos provém do solo e da fixação biológica de nitrogênio.

Respostas ao déficit hídrico na cultura da soja foram observadas por Thomas e Costa (1994) no período reprodutivo, principalmente na formação de legumes e enchimento de grãos, havendo aumento no peso de grãos nos tratamentos irrigados. Rambo et al. (2003) observaram que houve menor taxa de enchimento de grãos, resultando em menor peso do grão e refletindo em menores rendimentos de grãos de soja nos tratamentos não irrigados do que nos irrigados. Salinas et al. (1996) observaram que o tamanho e o peso dos grãos foram os mais sensíveis ao déficit hídrico.

Kuss et al. (2008), objetivando verificar o efeito do manejo da irrigação e da população de plantas sobre o rendimento de grãos em soja semeada após a época recomenda, não encontraram diferenças significativas de rendimento entre os tratamentos não irrigado (2627 kg ha^{-1}), irrigado somente em fases críticas (2814 kg ha^{-1}) e irrigação plena (3307 kg ha^{-1}).

Peske (1983) observou que, para plantas de soja, os teores de água adequado para germinação em solo argiloso estariam na faixa de $-0,07$ a $-0,19$ MPa, e em solos arenosos, de $-0,03$ a $-0,14$ MPa. A perda de água da planta por evaporação, principalmente das folhas, via estômatos abertos, para a atmosfera é a transpiração, que é a força motriz que gera as tensões para a translocação da água na planta, e o movimento passivo da água do solo para a planta (absorção). Quando ocorre a diminuição da disponibilidade de água do solo, diminui-se a passagem de água para a atmosfera por meio da planta provocando um novo ajuste metabólico. Os impedimentos que a planta desenvolve que opõem resistências ao fluxo da água, e conseqüentemente a sua perda, são adaptações para superar o déficit hídrico.

Thomas e Costa (1994), no Sul do país, verificaram que o peso das sementes de soja provenientes de plantas irrigadas foi maior do que o peso das sementes oriundas de plantas não irrigadas. O déficit hídrico provocou a diminuição do tamanho e do peso das sementes, e as plântulas originadas por essas sementes, aos sete dias de desenvolvimento, apresentaram menor vigor. Tavares et al. (2013), também no Sul do país, constataram que o déficit hídrico no período vegetativo, em soja, não afeta a altura de inserção do primeiro legume, número de nós da haste principal, número de legumes

com uma e duas sementes e o rendimento de sementes por planta, mas reduziu a altura de planta, diâmetro do caule e o número de legumes com três sementes, tanto em plantas oriundas de sementes de alto como de baixo vigor. O déficit hídrico a partir de 20 DAE provocou redução da qualidade fisiológica das sementes de soja, sendo mais severo em plantas provenientes de sementes de baixo vigor.

Rambo et al. (2002), em trabalho com rendimento de grãos em dois regimes hídricos, com a cultivar de soja BRS 137, em Eldorado do Sul, RS, obtiveram uma produtividade de 5530 kg ha⁻¹ e 4898 kg ha⁻¹ para tratamento irrigado e não irrigado, respectivamente. Herzog et al. (2004), em experimento com a cultivar FEPAGRO RS-10, no ano agrícola 2001/02, também em Eldorado do Sul obtiveram, sob condição de irrigação em sistema plantio direto, rendimentos médios de 3.334 kg ha⁻¹ e sem irrigação de 2.996 kg ha⁻¹, rendimentos atribuídos à oferta pluvial no período em que a cultura se encontrava em enchimento de grãos (fevereiro e março). Sem limitação hídrica, Moreira et al. (2002), obtiveram rendimentos de 3.207 kg ha⁻¹ em plantio direto.

Avaliando diferentes lâminas de irrigação com base na evapotranspiração da cultura da soja, sendo três níveis de irrigação baseados na evapotranspiração máxima (ET_m) da cultura com acumulados de 20, 40 e 60 mm e outro tratamento, testemunha, sem irrigação, Ruviaro et al. (2011) verificaram que o tratamento com ET_o de 20 mm apresentou rendimento superior aos demais no número de legumes e nós férteis por planta, além de plantas de maior altura. O resultado do quadrado médio da análise de variância para o peso de mil sementes apresentou um comportamento quadrático com a ampliação das lâminas de água de irrigação de 20 para 60 mm, com a máxima eficiência técnica de 169,13 g para a lâmina de água de irrigação com aplicação de 30 mm, o que capacitou a cultura a atingir sua maior produtividade. A produtividade da soja apresentou comportamento quadrático, encontrando-se para a lâmina aplicada de 30 mm uma produtividade máxima de 4045 kg ha⁻¹, com um lucro líquido no valor de US\$ 318,00 por hectare; entretanto, foi encontrada uma produtividade de 3602 kg ha⁻¹, para a estratégia não irrigada.

3.5 Características do crescimento da soja

O crescimento das plantas depende da conversão da energia luminosa em energia química, cuja intensidade é proporcional à interceptação capturada da luz pelo dossel da cultura (SILVA et al., 2005). Pereira e Machado (1987) consideram que a análise de crescimento é tida como método-padrão para se medir a produtividade biológica de uma cultura, aplicado ao estudo de diferentes cultivares de uma determinada cultura em seu ambiente de produção.

O crescimento é analisado por meio da variação do tamanho, de determinado aspecto da planta, geralmente morfológico. Para que a análise de crescimento seja aplicada como elemento quantificador do crescimento, assume-se a premissa que 90%, em média, da matéria seca acumulada pelas plantas ao longo do seu crescimento, é resultado da atividade fotossintética, sendo que esta passa a ser um elemento fisiológico de maior importância neste tipo de estudo (BENINCASA, 1988).

A altura de plantas é um parâmetro de crescimento das culturas, sendo obtida pela distância compreendida entre a superfície do solo e a extremidade apical da haste principal (HEIFFIG, 2002). A altura da planta é característica importante para indicação de cultivar a ser introduzida em uma região, uma vez que está relacionada com o rendimento de grãos, controle de plantas daninhas e com as perdas durante a colheita mecanizada (ROCHA et al. 2012). Resultados encontrados por Petry (2000) e Thomas e Costa (1994) mostram a redução da estatura das plantas com o aumento do déficit hídrico, e isso é devido à diminuição do número de nós e comprimento de entrenós.

Kuss et al. (2008), em pesquisa com a cultivar de soja convencional Coodetec 205, de ciclo tardio, obteve altura de planta de 103,66, 109,03 e 112,60 cm para plantas sob condição não irrigada, irrigada durante todo o ciclo e plantas com irrigação apenas nos períodos mais críticos, respectivamente. De acordo com Petry (2000) e Thomas e Costa (1994) a redução da estatura das plantas com o aumento do déficit hídrico, e isso é devido à diminuição do número de nós e comprimento de entrenós.

Em um estudo com diferentes cultivares de soja, Ibarra (1990) constatou que acúmulo máximo de massa total ocorreu no estágio R7, envolvendo a parte vegetativa e reprodutiva, mesmo com acentuada perda de biomassa seca da parte vegetativa, devido à queda de folhas senescentes e à translocação dos nutrientes destas para as vagens e sementes. Peixoto et al (2000) obteve o máximo acúmulo da massa da matéria seca em

três cultivares de soja, estudando três densidades e três épocas de semeadura, no estágio de maturação fisiológica que ocorreu entre 84 e 112 dias após a emergência para a maioria dos cultivares, nas condições de Piracicaba, SP.

Outra maneira de avaliar o desenvolvimento da soja é através do índice de área foliar (IAF). Segundo Koller et al. (1970) e Lucchesi (1987), a capacidade fotossintética de uma planta depende da interceptação da radiação solar que por sua vez se relaciona com o IAF. O aumento do IAF eleva o nível de interceptação da luz incidente, proporcionando um aumento de produção de biomassa. Esta produção de biomassa aumenta até um valor de IAF crítico, onde o autosombreamento das folhas faz com que a taxa fotossintética média por unidade de área decresça, podendo causar redução na produtividade devido ao desvio de fotoassimilados de outras folhas para a respiração de massa foliar excedente.

O valor correspondente a 95% de absorção da radiação incidente é chamado IAF “crítico”, índice esse dependente da intensidade luminosa e também do número de plantas por área, ou seja, da densidade das plantas na fileira e da distância entre as fileiras (BARNI e BERGAMASCHI, 1981).

Confalone e Navarro Dujmovich (1999), estudando a influência do déficit hídrico sobre a eficiência da radiação solar em soja, encontraram valores superiores do IAF para irrigação plena e déficit na fase florescimento e enchimento de grãos (6,0 e 4,1), valores superiores em relação a este experimento foi possível devido à cultivar de soja Asgrow 4656 que tem seu crescimento indeterminado e densidade de planta que foi de 29 plantas por metro linear. Enquanto Brandelero et al. (2002) encontraram valores para IAF de 2,04 a 2,70 para nove cultivares de soja nas condições do Recôncavo da Bahia.

Muller (1981) estudando sobre o valor de IAF crítico para a soja, encontrou uma grande variação nos valores citados nos trabalhos consultados (entre 2,5 e 9,0). O IAF crítico sofre influências da densidade de fluxo e assim, a combinação de um elevado valor de IAF e a alta luminosidade é benéfica, mas se nestas condições a luminosidade for baixa, o efeito pode ser negativo. Este autor ressaltou ainda que para elevadas produtividades, é importante que as plantas alcancem o mais rápido possível o valor de IAF crítico durante a fase vegetativa inicial, no entanto, sem ultrapassar logo este valor.

3.6 Componentes de produção da soja

A arquitetura da planta e o sistema de produção determinam o arranjo de plantas mais adequado, para que os fatores de produção sejam eficientemente aproveitados e o potencial produtivo do cultivar seja o máximo possível (BEZERRA, 2005). Nos sistemas tradicionais, e principalmente nos tecnificados, são fundamentais os conhecimentos sobre as mudanças morfofisiológicas e as modificações nos componentes de produção e no rendimento de grãos das cultivares modernas (BEZERRA et. al., 2009).

Destacam-se entre os componentes de produção número de vagens por planta, o número de sementes por vagem e a massa ou peso de 100 ou 1.000 sementes. Muitos autores verificaram que o número de vagens por planta é o caráter que mais contribui para o rendimento de grãos em leguminosas, uma vez que apresenta as maiores correlações com a produção (CARPENTIERI-PÍPOLO et al., 2005).

A característica agrônômica produção total de grãos em uma planta depende de um conjunto de características, com destaque para o tamanho e o peso de sementes, os quais, por sua vez, dependem do máximo vigor da planta e de um período de frutificação mais longo (ROCHA, 2009).

O peso médio de 100 grãos é uma característica geneticamente determinada, porém, é influenciada pelo ambiente (NAVARRO JÚNIOR, 2002). Segundo Borrmann (2009), em estudos sobre as respostas fisiológicas da cultura da soja sob déficit hídrico, afirma que na fase de enchimento dos grãos na soja o déficit hídrico pode causar redução no tamanho e peso dos grãos além da retenção da cor verde, já que a falta de água prejudica a atividade das enzimas responsáveis pela degradação da clorofila, o que resulta em alto teor de grãos verdes.

Enquanto o número de sementes por planta, da mesma forma que o número de vagens, também é um bom testemunho do potencial da planta. Esse fato é observado quando ocorre déficit ambiental importante, conforme resultados apresentados por Carneiro (2007). A estabilidade da variável vai depender da época de ocorrência do déficit. As existências de veranicos curtos são mais prejudiciais à produtividade, durante o período de enchimento de vagens que o período de florescimento (PENDLETON e HARTWIG, 1973). De acordo com estes autores, o período longo de florescimento capacita a planta a superar veranicos, sem prejuízo na produtividade.

A produtividade da cultura é definida pela interação entre a planta, o ambiente e o manejo. Altos rendimentos somente são obtidos quando as condições ambientais são favoráveis em todos os estágios de crescimento da soja (GILIOLI et al., 1995).

Rambo et al. (2002) em trabalho com rendimento de grãos em dois regimes hídricos, para a cultivar de soja BRS 137, em Eldorado do Sul, RS, obtiveram uma produtividade de 5530 kg ha⁻¹ e 4898 kg ha⁻¹, para tratamento irrigado e não irrigado, respectivamente. Testando diferentes populações de plantas encontraram maior peso de grãos para espaçamentos de 20 cm na população de 20 plantas m⁻², com massa de 100 grãos de 18,4 g, número de grãos por legume de 2,20 e 1329 legumes férteis.m⁻², valores estes para a planta inteira. Para estes autores, as reduções no espaçamento entre linhas e na população de plantas aumentam a contribuição dos estratos médio e inferior do dossel para o rendimento de grãos.

Pandey et al. (1984), em um experimento com soja submetida a vários regimes de irrigação, verificaram um decréscimo de 52% no número de vagem de soja entre os tratamentos que receberam a menor e a maior quantidade de água. O número de vagens/m² aumentou linearmente com a quantidade de água aplicada.

Confalone e Dujmovich (1999), testando a influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja obtiveram em experimento conduzido na Argentina, com a cultivar de soja Asgrow 4656, rendimento de grãos de 5123 Kg.ha⁻¹, peso de 1000 grãos de 185 g e número de grãos por legume de 2,36, para o tratamento II (irrigado por todo o período). No tratamento NI (seca entre os estádios reprodutivos R1 e R4) a maior produção de legumes em relação ao IN (seca entre os estádios reprodutivos R4 e R6) foi devido à nova emissão de flores nas plantas do mesmo NI e à queda de legumes em IN, no subperíodo R4.

Maehler et al. (2003), avaliando o potencial de rendimento da soja, encontraram massa de grãos de 17,1 g e 13,8 g para plantas com e sem irrigação, respectivamente. As plantas que receberam irrigação produziram grãos mais pesados. Tal diferença foi observada em grãos provenientes de legumes contendo um, dois e três grãos.

Navarro Júnior e Costa (2002), analisando a contribuição relativa dos componentes de rendimento para produção de grãos em cultivares de soja, Eldorado do Sul, RS, obtiveram para a cultivar FT-2003 produção de grãos da planta inteira de 18,02 g. planta⁻¹, número de ramos igual a 5,1, comprimento dos ramos de 20,9 cm, 120 flores

produzidas (R2), 86 legumes produzidos (R5), 54 legumes fixados (R8), o número de nós férteis na planta inteira foi de 24, o número de legumes por planta com três grãos foi de 21, e peso de 100 grãos 15,42 g; para a cultivar OCEPAR 14 produção de grãos da planta inteira 11,00 g.planta⁻¹, número de ramos igual a 4,0, comprimento dos ramos de 32,5 cm, 144 flores produzidas (R2), 58 legumes produzidos (R5), 40 legumes fixados (R8), o número de nós férteis na planta inteira foi de 22, o número de legumes por planta com três grãos foi de 9 e peso de 100 grãos 14,68 g; para a cultivar RS 7-Jacuí produção de grãos da planta inteira de 14,82 g.planta⁻¹, número de ramos igual a 2,7, comprimento dos ramos de 32,9 cm, produção e fixação de flores e legumes na planta de 156, 75, 46 para 156 flores produzidas (R2), 75 legumes produzidos (R5), 46 legumes fixados (R8), o número de nós férteis na planta inteira foi de 18, o número de legumes por planta com três grãos foi de 14 e peso de 100 grãos 16,78 g.

3.7 Monitoramento do conteúdo de água no solo

O consumo de água pelas comunidades vegetais é uma propriedade importante a ser considerada nos estudos de regionalização agrícola ou na avaliação da produtividade das culturas. Uma forma pela qual esse consumo (evapotranspiração real) pode ser determinado é pelo método do balanço de água no solo. A água é fator determinante da produção agrícola e, no seu planejamento, o conhecimento sobre o conteúdo de água no solo nas diversas condições hídricas é importante para a tomada de decisões que viabilizarão o sucesso agrícola e o retorno econômico esperado.

A previsão da umidade no solo associado às necessidades hídricas das culturas torna-se, portanto, fator básico num processo de decisão que envolva a escolha de culturas e áreas para explorar, além de fornecer subsídios valiosos para o manejo adequado de áreas cultivadas (VALNIR JÚNIOR et al., 2001)

A medição do teor de água no solo em condições de campo é difícil de ser realizada, por uma série de fatores, tais como: o crescimento desigual das plantas e a desuniformidade da distribuição do sistema radicular; diferenças em características de infiltração; a variabilidade do solo com relação à estrutura, à estratificação e à textura; mudanças na densidade do solo, variação do volume de poros e da distribuição de tamanho de poros; desigualdades no relevo; desuniformidade inerente à irrigação (ALBUQUERQUE e DURÃES 2008). Enquanto, o teor de água no solo está sujeito a

variabilidade temporal, uma vez que o sistema solo-água é dinâmico, tanto no perfil do solo quanto na área.

Existem vários métodos e técnicas que são utilizadas para a determinação do teor de água no solo, algumas demoradas, outras caras e, ainda, algumas bastante imprecisas em função da condição do solo (KLEIN, 2008). Mantovani et al. (2009) destaca ainda que as principais diferenças entre os métodos se resumem a forma de medição, local de medição, instalação, preço, tempo de resposta e, operacionalidade no campo.

Para a determinação da umidade do solo, diversos são os métodos empregados, podendo ser divididos em diretos e indiretos. Os métodos diretos ou gravimétricos são trabalhosos, demandam certo tempo entre a coleta da amostra e a obtenção dos resultados, além de serem não automatizáveis, sendo, porém, considerado o método direto padrão. Os métodos indiretos são aqueles que, utilizando princípios e/ou relações indiretas, possibilitam determinar a quantidade de água presente no solo, tais como a moderação de nêutrons, resistência elétrica e reflectometria no domínio do tempo (TDR) (CICHOTA, 2003).

Segundo Kaiser (2010), o solo é o armazenador de água para as plantas e ajuda a regular o ciclo hidrológico no ambiente. É na água do solo que estão dissolvidos a grande maioria dos nutrientes essenciais as plantas. A capacidade em o solo reter e armazenar água estão diretamente relacionados as suas características pedogenéticas (textura e mineralogia) e estruturais (distribuição de poros).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no Sítio São Luiz, localizado à 3 km do município de Bom Jesus - PI, no cerrado da mesorregião do Sudoeste Piauiense, a 640 km da capital, Teresina-PI (Figura 3), durante o período de agosto a dezembro de 2014. O local apresenta as seguintes coordenadas geográficas, obtidas com uso de GPS: (9°05'20,4'' S), (44°20'55,1'' W) e altitude 283 m.

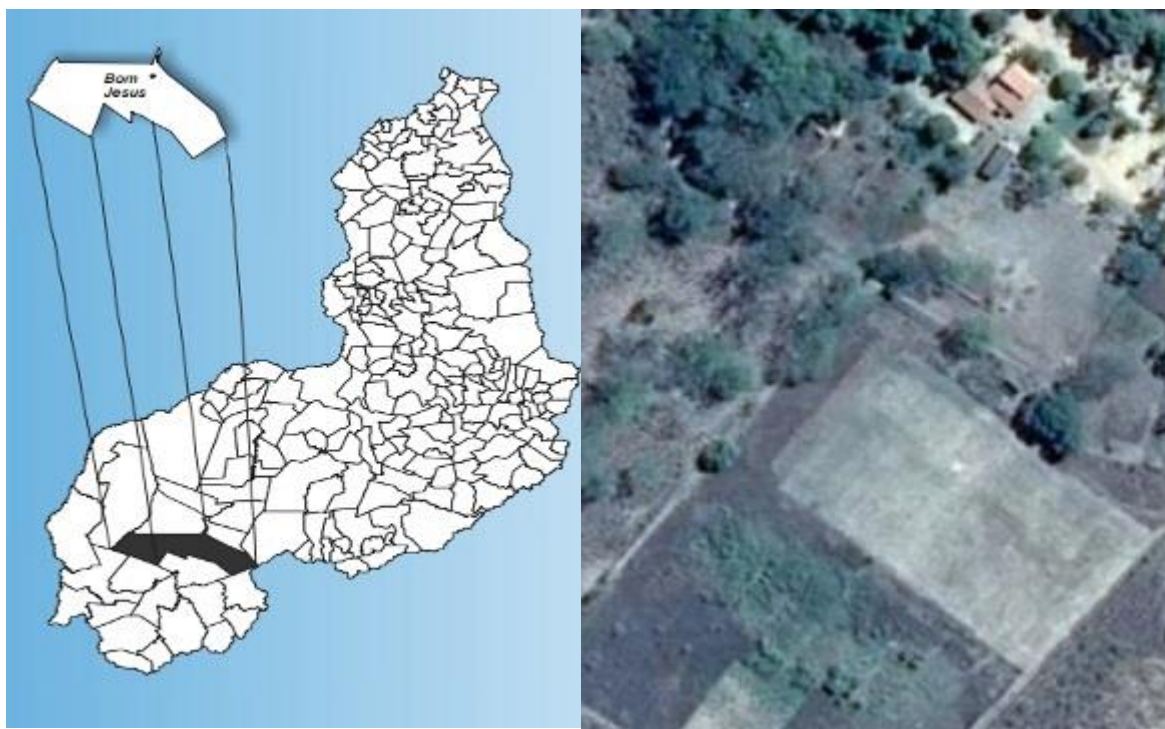


Figura 3. Localização do município de Bom Jesus no mapa do Piauí (A) e imagem de satélite do Sítio São Luiz (B) (Google Maps).

A precipitação pluviométrica média anual da região é definida pelo regime equatorial continental, com isoietas anuais em torno de 700 a 1.200 mm e o período chuvoso estende-se de novembro – dezembro a abril – maio, e os meses de janeiro, fevereiro e março formam o trimestre mais úmido (ANDRADE JÚNIOR et al.,2004).

O clima da região segundo Thornthwaite e Mather (1955) foi definido como sub-úmido seco (ANDRADE JÚNIOR et al., 2005). Os dados climáticos diários foram coletados em uma estação agrometeorológica automática, constituída por sensores de temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento,

instalada no Campus Professora Cinobelina Elvas – CPCE, localizada a uma distância de 1000 metros da área onde foi instalado o experimento (Figura 4).



Figura 4. Estação agrometeorologia automática do INMET instalada no Campus Professora Cinobelina Elvas – UFPI, Bom Jesus, PI. (Fonte: SIMEÃO).

O solo da área é classificado como Neossolo Flúvico (EMBRAPA, 2006). As amostras para a caracterização físico-hídrica e química do solo da área do experimento foram coletadas nas camadas de 0-0,2 m e de 0,2-0,4 cm, em zig-zag, sendo um total de 10 amostras simples e posteriormente, as mesmas foram misturadas para a formação de uma amostra composta. As características químicas e físico-hídricas apresentadas nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 3. Características químicas do solo da área experimental, Bom Jesus-PI, 2014.

Prof (m)	MO	pH	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	S	CTC	V	m
	g/kg	H ₂ O	(mg dm ⁻³)	----- (mmolc dm ⁻³) -----									%
0,0-0,2	4,1	5,4	7,4	55,0	0,5	0,5	8,0	0,2	9,90	3,4	3,27	10,3	14,9
0,2-0,4	4,1	5,1	4,2	45,0	0,2	0,2	5,0	0,2	1,65	6,4	1,80	23,3	27,3

Fonte: Laboratório de Solos - Embrapa Meio-Norte. Teresina- PI, 2014

Tabela 4. Características físico-hídricas do solo da área experimental, Bom Jesus-PI, 2014.

Profundidade (m)	Granulometria (g kg ⁻¹)			Classificação Textural	CC (%)	PMP (%)
	Areia	Silte	Argila			
0,0-0,2	900,0	40,0	60,0	Areia Franca	20,9	4,3
0,2-0,4	880,0	50,0	70,0	Areia	18,8	4,3

CC: capacidade de campo definida a - 6 kPa. PMP: ponto de murcha permanente definida a -1500 kPa. Fonte: Laboratório de Solos - Embrapa Meio-Norte. Teresina- PI, 2014.

Para a obtenção da curva de retenção da água no solo (Figura 5), foi realizada uma coleta de solo com amostra indeformada, utilizando anéis volumétricos, nas profundidades de 0-0,2 e 0,20-0,4 m. A curva característica de retenção da água no solo foi determinada conforme o método descrito por Camargo et al. (1986) e ajustada pelo modelo proposto por van Genuchten (1980), com o auxílio do programa Soil Water Retention Curve – SWRC versão 3.0 (DOURADO NETO et al., 1995).

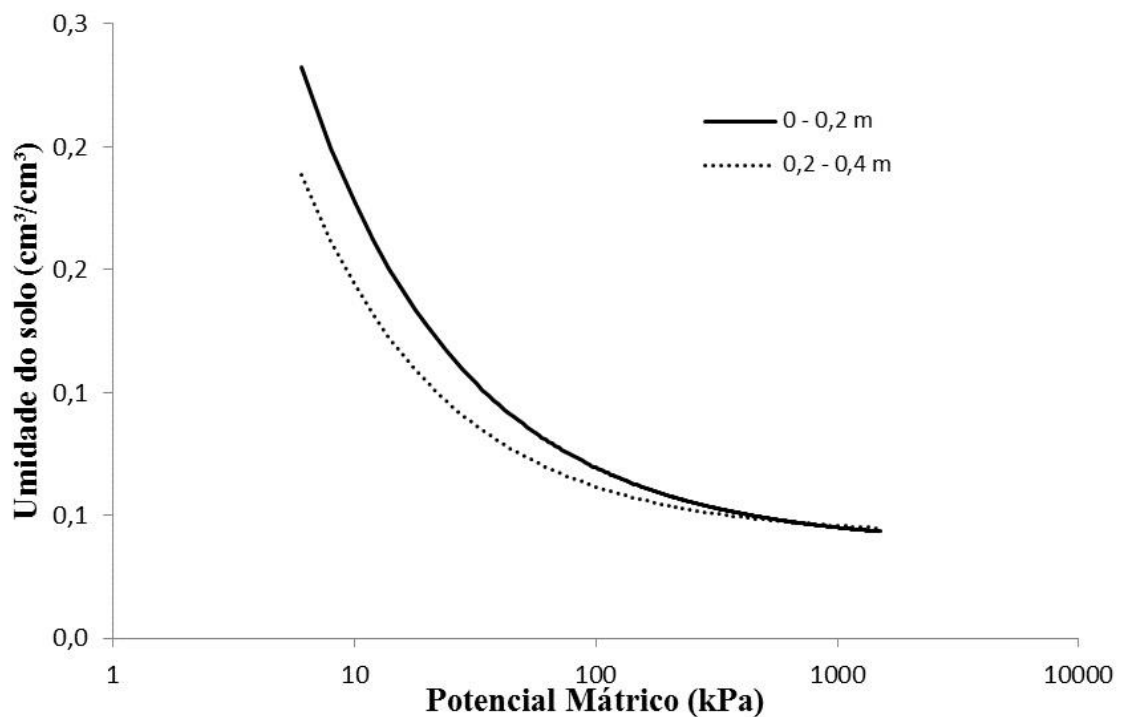


Figura 5. Curva de retenção da água no solo, para as duas camadas de profundidade, da área do experimento.

4.2 Preparo do solo e adubação

O preparo da área experimental constou de roço, aração e gradagem. Realizou-se, 30 dias antes do plantio, calagem do solo, aplicando-se 1 t ha^{-1} de calcário tipo Filler seguido de incorporação ao solo com uma grade aradora. Foram efetuadas irrigações semanais para auxiliar a reação do calcário no solo (Figura 6).



Figura 6. Aração (A), aplicação de calcário (B), incorporação do calcário (C) e irrigação para reação do calcário (D) na área experimental. Sítio São Luiz, Bom Jesus, PI. 2014. Fonte: Simeão (2014).

A adubação de fundação e de cobertura foram efetuadas com base na análise de fertilidade da área experimental (Tabela 2) e seguindo as exigências nutricionais da soja (EMBRAPA, 2011). A adubação de fundação consistiu na aplicação de 20 kg ha^{-1} de N,

100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de 60 kg ha⁻¹ de K₂O parcelado, sendo metade na fundação e a outra metade aos 30 dias após a germinação.

4.3 Tratos culturais

O experimento foi mantido livre de ervas daninhas por meio de três capinas manuais e uma aplicação de glifosato. O tratamento fitossanitário foi realizado por meio de duas aplicações de inseticida Engeo Pleno (Tiametoxam + Lambda-cialotrina + Ingredientes Inertes) aos 20 e 75 DAS.

4.4. Cultivar avaliada

Avaliou-se a cultivar BRS Sambaíba RR que possui excelente adaptação a vários ambientes, característica que favorece a menor variação da altura de planta nas diferentes latitudes e épocas de semeadura, o que contribui para uma maior estabilidade de produção. Apresenta como características principais: porte determinado; ciclo de 100-120 dias; altura média de planta (74 cm); altura da primeira vagem (15 cm); peso de 100 sementes (13,8 g); flor branca, cor do hilo é marrom; grãos lisos, verdes-oliva, arredondados e de tamanho médio; teor de proteína de 40,5%; teor de óleo de 23,8% e produtividade média de grãos de 3,700 kg ha⁻¹ em cultivo de sequeiro (EMBRAPA, 2009).

A semeadura foi realizada no dia 15 de agosto de 2014, de forma manual, em um espaçamento de 0,5 m entre fileiras, 13 plantas por metro linear após desbaste. Aos cinco dias após semeadura foi realizado o replantio de algumas fileiras de plantas que apresentaram problemas de germinação/emergência.

4.5 Sistema de irrigação

O ensaio foi conduzido com um sistema de irrigação por gotejamento superficial, utilizando fita gotejadora, com espaçamento entre emissores de 0,30 m, com vazão nominal de 1,6 L h⁻¹, cujo controle da abertura e fechamento da água administrada às parcelas foi efetuado por um registro de ½” e um controlador de pressão instalado no início de cada parcela. Após a instalação do sistema de irrigação e antes do plantio da cultura, procedeu-se os testes de uniformidade de distribuição de água dos emissores. Usou-se o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC, %), o sistema teve uma

uniformidade de 96,81% conforme metodologia apresentada por Mantovani et al, (2009). Segundo os mesmos autores este valor se enquadra na categoria de excelente, demonstrando uma maior uniformidade de aplicação de água na área.

4.6 Manejo de irrigação e imposição da deficiência hídrica

A aplicação de água nos tratamentos foi feita com frequência variável dependendo da necessidade de imposição dos níveis de déficit hídrico no solo. O manejo da irrigação foi efetuado usando a evapotranspiração de referência ETo e Kc da cultura para a aplicação das lâminas de irrigação. O coeficiente de cultivo (Kc) é baseado no manual da FAO 56 (Tabela 4).

Tabela 5. Valores de Kc recomendados pelo FAO para as diferentes fases fenológicas da cultura da soja.

Fases	Período (DAS*)	Kc
I	0-22	0,40
II	23-48	0,80
III	49-89	1,15
IV	90-120	0,50

*DAS- Dias após semeadura

O tempo das irrigações foi calculado com o auxílio de uma planilha eletrônica onde eram registrados os valores diários de evapotranspiração de referência (ETo), estimada pelo método de Penman-Monteith utilizando dados climáticos obtidos na estação agrometeorológica automática instalada na UFPI – Campus Professora Cinobelina Elvas, Bom Jesus, PI (Figura 4).

O controle da lâmina aplicada foi efetuado por meio de hidrômetros instalados no início de cada bloco experimental. Os tratamentos consistiram na imposição de déficit hídrico no solo nas diferentes fases de desenvolvimento da soja. A irrigação acontecia em dias alternados. A aplicação do déficit em cada fase foi baseada na reposição de apenas 50% da evapotranspiração da cultura (ETc), fazendo com que a umidade do solo ficasse sempre abaixo do armazenamento crítico para a soja. Ao final de cada fase fenológica, a irrigação voltava a ser plena. Na irrigação plena, fez-se a reposição de 100% da ETc durante o ciclo da cultura.

4.7 Monitoramento do conteúdo de água no solo

O monitoramento do conteúdo de água no solo foi efetuado pelo método gravimétrico, onde foram coletadas amostras de solo, nas profundidades de 0 a 0,2 m e de 0,2 a 0,4 m, as quais, logo após, foram levadas para o Laboratório de Física do Solo, da Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, para pesagem e secagem em estufa por um período de 48 horas. As coletas sempre ocorreram antes e 30 minutos após as irrigações, como forma de se aferir os valores de conteúdo de água no solo impostos com a aplicação da irrigação plena e deficitária. Entre os dias 15 de agosto à 14 de setembro, as coletas foram efetuadas apenas na camada de 0,2 m, já que as raízes da soja exploram apenas as camadas mais superficiais do solo nessa fase. Somente a partir do 32 DAS, as coletas foram executadas nas duas camadas do solo.

Com o monitoramento foi possível conhecer as condições de disponibilidade de água no solo, tanto em termos de umidade volumétrica, como em termos de potencial de água no solo, com as quais foi mantida a cultura da soja, com a aplicação dos tratamentos de déficit hídrico no solo.

4.8 Tratamentos e delineamento experimental

O ciclo da cultura da soja foi dividido em quatro fases (I, II, III, IV), assim distribuídas: fase I, da emergência aos 22 dias após a emergência (DAE) (VE a V2); fase II, dos 23 aos 48 DAE (V3 a V6); fase III, dos 49 aos 89 DAE (R1 a R6) e fase IV, dos 90 aos 120 DAE (R7 a R9). Na primeira fase não foi possível avaliar-se o comportamento da soja em resposta ao déficit hídrico, devido a dificuldades no início do ensaio, tais como a desuniformidade na emergência das plântulas, que requereu o replantio de algumas linhas, como forma de garantir a uniformidade do estande.

O ensaio foi constituído por quatro tratamentos: **Tratamento 1:** Déficit hídrico na fase de crescimento vegetativo (II); **Tratamento 2:** Déficit hídrico na fase de florescimento e enchimento de grãos (III); **Tratamento 3:** Déficit hídrico na fase de maturação das vagens (IV) e **Testemunha:** irrigação plena em todas as fases, os quais foram dispostos em um delineamento de blocos ao acaso, com seis repetições, totalizando 24 parcelas. Cada parcela apresentava área total de 33 m², sendo constituída por 11 fileiras de seis metros de comprimento, espaçadas por 0,5 m entre linhas e com 78 plantas por fileira. Cada parcela foi dividida em duas subáreas, sendo uma para a

coleta de plantas para análise de crescimento e a outra para quantificação dos componentes de produção e produtividade de grãos, por ocasião da colheita. Os dados de crescimento foram organizados em parcelas subdivididas no tempo, com as onze coletas de plantas nas parcelas e os tratamentos de déficit hídrico nas subparcelas, enquanto os componentes de produção e produtividade de grãos foram organizados em DBC.

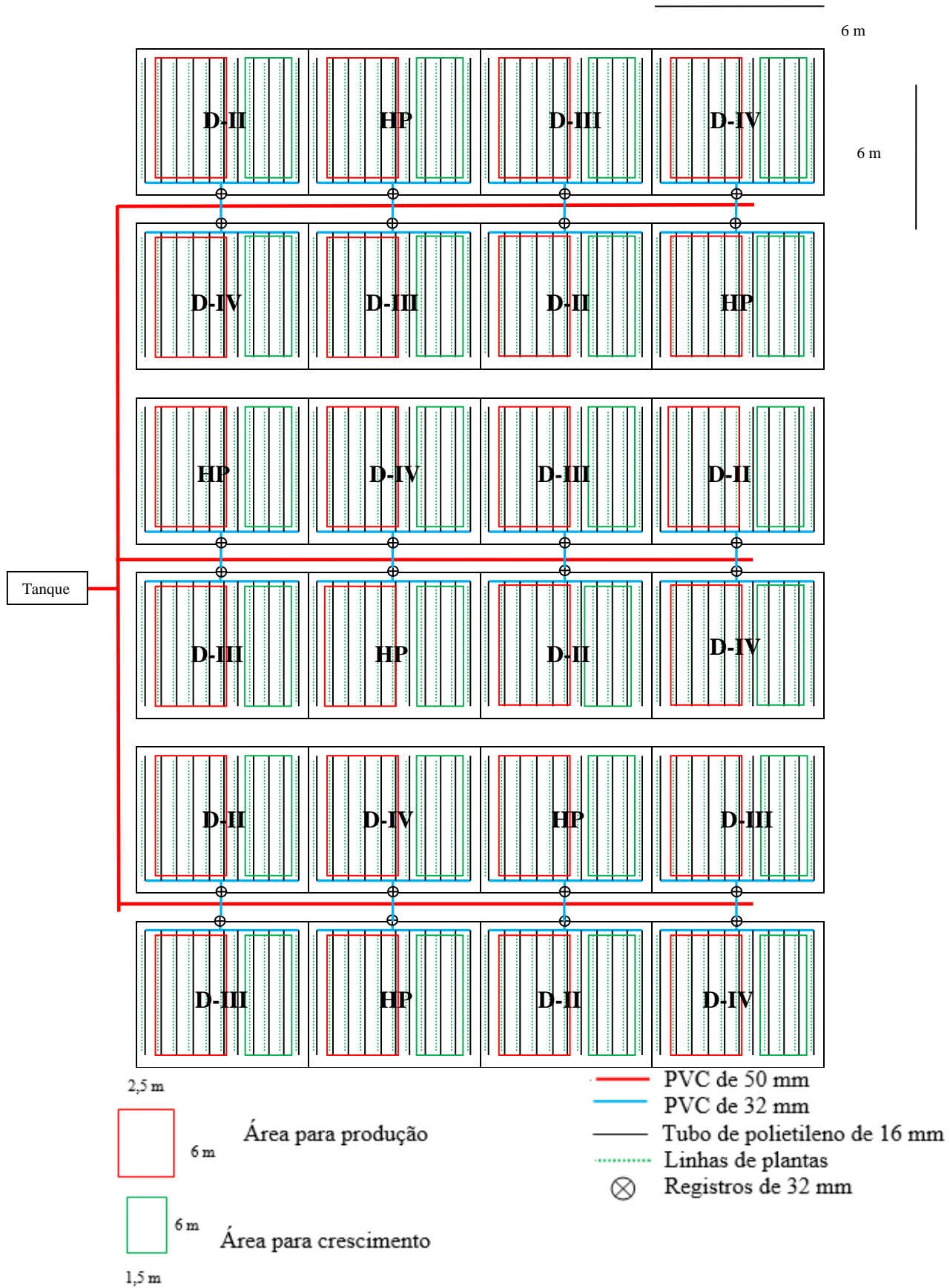


Figura 7. Detalhes do sistema de irrigação e parcelas no campo.

4.9 Parâmetros de crescimento

Durante o período de crescimento da cultura, foram realizadas onze coletas semanais de uma planta por parcela nas linhas destinadas ao crescimento para as medidas dos parâmetros de desenvolvimento da planta:

- a) Altura das plantas (AP): foi medida a partir do nível do solo adotando-se como base para medição o meristema apical das plantas, utilizando-se uma régua milimetrada;
- b) Número de folhas (NF): foi realizada a contagem de todas as folhas da planta;
- c) Índice de área foliar (IAF): as folhas das plantas foram retiradas manualmente do caule e depois levadas para medidor eletrônico de área LI-3100, para determinação da área foliar (cm²) e depois multiplicada pelo número de plantas em um metro linear;
- d) Massa da matéria seca total (MST): após a medição da área foliar, as folhas e caule da planta foram acondicionados em sacos de papel e levados à estufa com ventilação forçada a 65 °C até atingir o peso constante, sendo posteriormente pesados, em balança semianalítica, com precisão de 0,001g.

4.10 Componentes de produção

Nas linhas destinadas a quantificação da produtividade de grãos e componentes de produção foram determinados por ocasião da colheita:

- a) Altura média de inserção da primeira vagem (APV): medida a partir da superfície do solo até a inserção da primeira vagem. Característica determinada pela média de 10 plantas amostradas aleatoriamente.
- b) Número de vagens por planta (NVP): foram contadas todas as vagens das plantas existentes na área útil da parcela. Em seguida, dividiu-se o número total de vagens pelo número de plantas da área útil;
- c) Comprimento de vagens (CV): foi determinado com auxílio de uma régua graduada em milímetros, medindo-se o comprimento formado por vinte e cinco vagens aleatória colocadas em fileira. Em seguida, dividiu-se por 25, obtendo-se assim o comprimento médio da vagem;
- d) Massa de 100 grãos (M100G): foi determinado através de três subamostras de 100 grãos por parcela experimental. Em seguida, realizaram-se as pesagens com o auxílio de balança analítica, com precisão de 0,001 g, depois fez-se médias das três pesagens.

e) Produtividade média de grãos (PG): avaliada na colheita final, após a colheita e beneficiamento através de debulha manual das vagens e pesagem dos grãos colhidos na área útil de cada parcela, depois corrigindo a umidade para 13%.

4.11 Análise estatística

Para a análise estatística utilizou-se do software Assistat versão 7.6 beta (SILVA e AZEVEDO 2009). Para interpretação dos resultados, utilizou-se a análise da variância, aplicando-se o teste de “F” e quando significativo, aplicou-se o teste de Tukey para comparação das médias dos tratamentos. Para confecção dos gráficos foi utilizado os softwares Excel e Table Curve 2D.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Dados climáticos

Os dados climáticos decendiais de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar global e evapotranspiração de referência são apresentados na Tabela 5.

Tabela 6. Médias decendiais de temperatura do ar (T, °C), umidade relativa do ar (UR, %), radiação solar global (Rg, MJ m⁻²), velocidade do vento (WS, m s⁻¹) e evapotranspiração de referência (ETo, mm) registrados durante o período experimental. Bom Jesus, PI, agosto-novembro 2014.

Período	T (C°)			UR (%)			Rg (MJ/m ²)	WS (m/s)	ETo (mm)
	Max	Min	Med	Max	Min	Med			
15/08 a 24/08	34,81	20,63	27,72	63,30	19,40	41,35	23,75	1,58	6,42
25/08 a 03/09	37,75	20,72	29,24	57,80	15,60	36,70	24,14	1,05	6,04
04/09 a 13/09	36,05	22,33	29,19	65,70	20,70	43,20	23,16	1,38	6,33
14/09 a 23/09	38,03	21,76	29,90	55,50	15,80	35,65	24,51	1,01	6,21
24/09 a 03/10	37,49	22,29	29,89	62,90	20,00	41,45	23,23	1,05	6,11
04/10 a 13/10	36,99	23,86	30,43	56,20	18,20	37,20	25,52	2,08	8,20
14/10 a 23/10	38,15	22,50	30,33	68,10	18,80	43,45	22,70	1,18	6,41
24/10 a 02/11	36,85	23,44	30,15	72,10	22,70	47,40	20,50	1,09	5,81
03/11 a 12/11	34,46	22,61	28,54	86,30	35,60	60,95	17,96	0,86	4,70
13/11 a 22/11	32,45	22,17	27,31	93,40	44,80	69,10	18,42	0,71	4,32
23/11 a 05/12	35,84	20,77	28,30	85,69	26,31	56,00	25,16	0,88	5,95
Média	36,26	22,10	29,18	69,73	23,45	46,59	22,64	1,17	6,05

Houve uma diminuição da temperatura máxima do ar de 38,03 °C para 36,85 °C e um aumento da temperatura mínima do ar de 21,76 °C para 23,44 °C, no período de 14/09 a 02/11, coincidindo com a fase crítica (D-III), onde se concentra as maiores exigências por água da cultura na fase de florescimento e enchimento dos grãos. A temperatura média do ar, durante todo do ciclo da soja, oscilou entre 29,90°C e 30,43°C, oscilando dentro da faixa considerada ideal de 20 °C a 30,43 °C, para o crescimento e desenvolvimento da soja (EMBRAPA, 2006; SEDIYAMA, 2009). Segundo Farias et al. (2007), a temperatura média do ar ideal está em torno de 30°C e que a soja mostra efeitos adversos quando exposta a temperaturas acima de 40°C. Em alguns momentos durante o ciclo a temperatura máxima do ar ficou próxima a 40°C. A soja é uma planta termo e fotossensível, tendo seu rendimento afetado pela época de semeadura e pela temperatura do ar (SEDIYAMA, 2009).

No período compreendido entre 03/11 a 22/11, observou-se os menores valores para radiação solar global (17,96 MJ m⁻² dia⁻¹), velocidade do vento (0,71 m s⁻¹) e ETo

(4,32 mm dia⁻¹), ocorreram no período de maturação e coincidindo com precipitação que aconteceu neste período.

A radiação solar está intensamente ligada à produtividade da soja devido ao fato de interferir na fotossíntese, alongação de haste principal e ramificações, expansão foliar, pegamento de vagens e sementes e fixação biológica de nitrogênio (CÂMARA, 2000).

Durante a condução do experimento (agosto a novembro), a precipitação acumulada foi de 124,6 mm, porém, concentrou-se na fase de maturação das vagens, comprometendo apenas a imposição do déficit hídrico na fase IV (Figura 8).

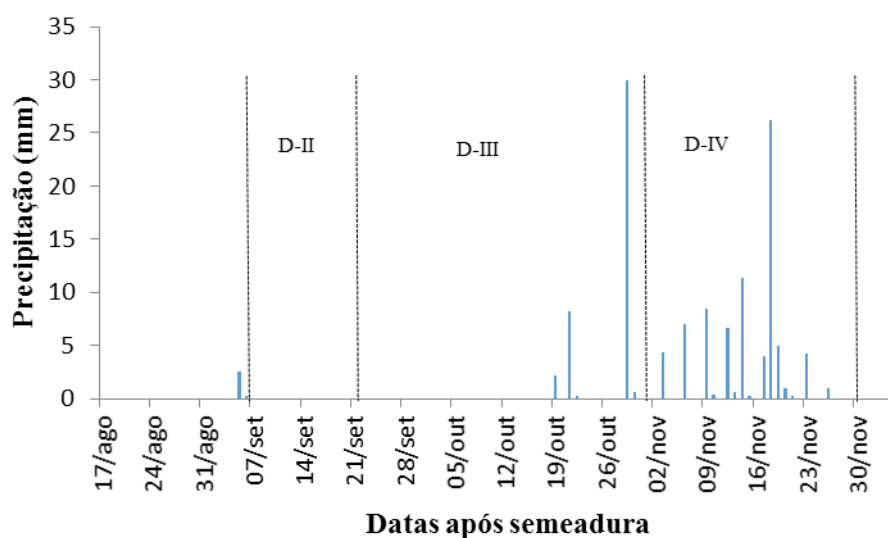


Figura 8. Precipitação diária registrada durante o período experimental. Bom Jesus, PI, ago-nov de 2014.

5.2. Conteúdo de água no solo

Houve variação nítida no conteúdo de água no solo com a imposição dos tratamentos, antes e depois da irrigação, nas duas camadas do solo, indicando consumo hídrico e disponibilidade de água diferenciados para a soja durante o ciclo de desenvolvimento em função da extração de água do solo pelas raízes (Figuras 9 e 10).

O conteúdo de água no solo no tratamento sob irrigação plena (IP), antes da irrigação, variou de 13,44% (na camada de 0-0,2 m) a 14,07 % (na camada de 0,2-0,4 m), ou seja, flutuou sempre próximo a umidade crítica para a soja. Após a irrigação, o conteúdo de água aproximou-se da capacidade de campo, com a umidade do solo

oscilando em torno de 20,94 % (na profundidade de 0-0,2 m) a 21,07 % (na profundidade de 0,2-0,4 m), correspondendo a 58,15% e 67,09% antes da irrigação e 90,61% e 100,47% depois da irrigação, respectivamente, da capacidade de água disponível do solo (CAD) (Figura 9A e 9B). De acordo com a curva de retenção de água do solo (Figura 6), os potenciais de água no solo sob irrigação plena variaram de 18 e 8 kPa (0-0,2 m), 8 e 6 kPa (0,2-0,4 m).

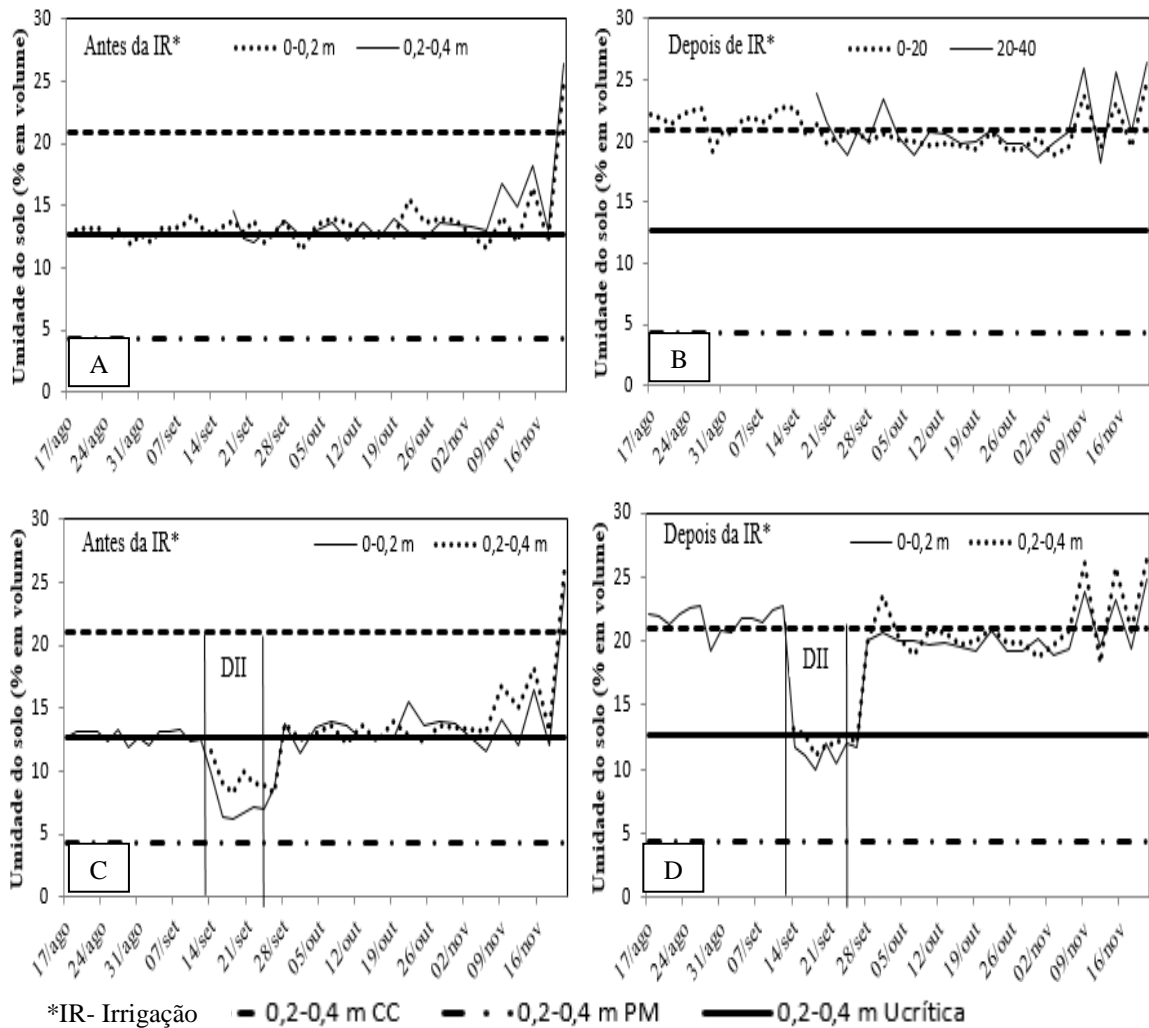


Figura 9. Umidade do solo, nas camadas de 0 a 0,2 m e de 0,2 a 0,4 m antes da irrigação (A) e depois da irrigação (B) na testemunha e antes (C) e depois (D) da aplicação do déficit hídrico na fase DII.

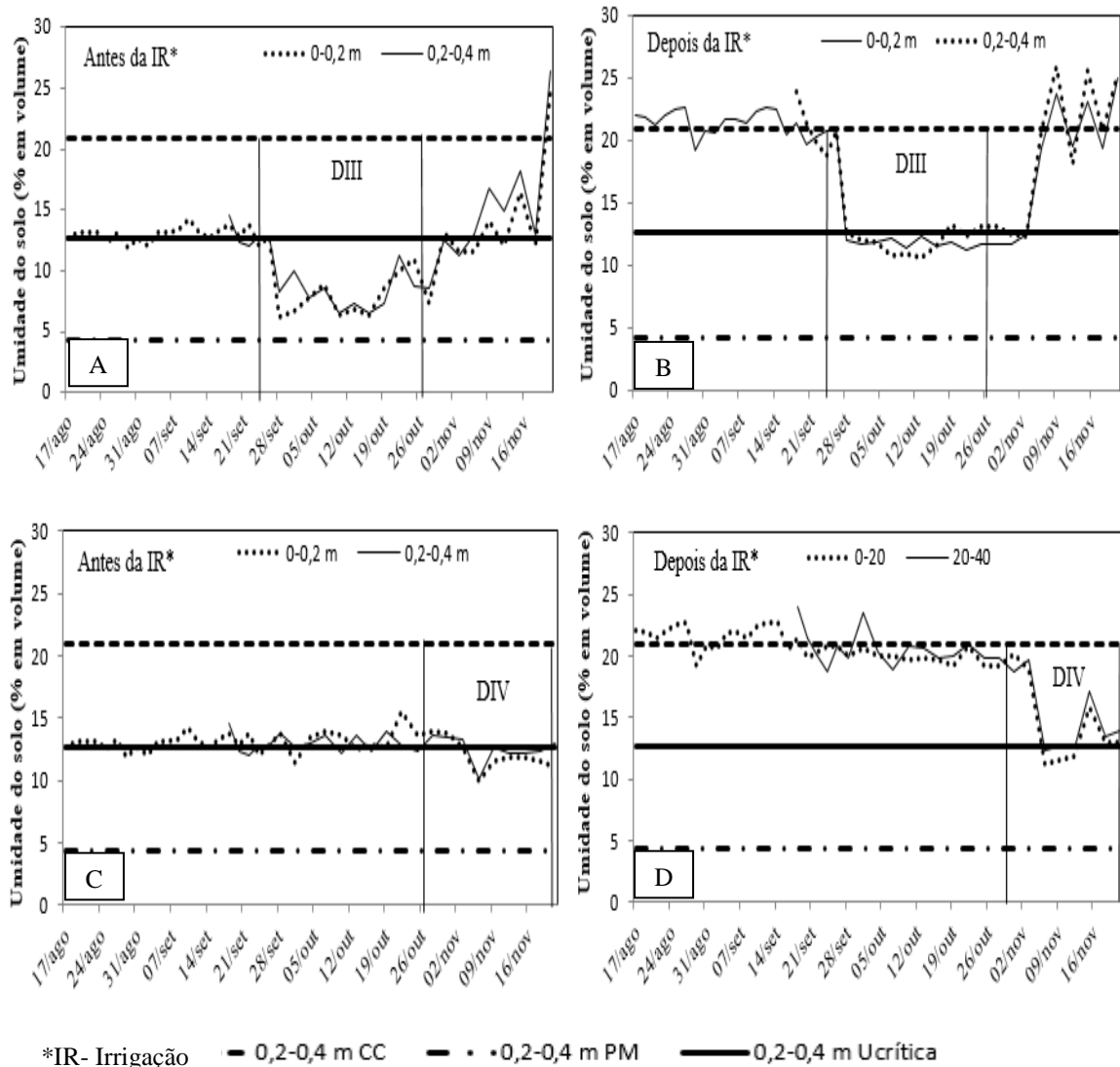


Figura 30. Umidade do solo, nas camadas de 0 a 0,2 m e de 0,2 a 0,4 m antes da irrigação (A) e depois da irrigação (B) no déficit na fase DIII e antes (C) e depois (D) da aplicação do déficit na fase DIV.

Segundo Saad e Libard (1992), os limites de tensão de água no solo para início das irrigações na soja é 37 kPa (0-20cm) e 63 kPa (20-40cm). Figuerêdo et al. (2008) constataram as maiores produtividades do feijoeiro irrigado no Cerrado brasileiro foram alcançadas quando as irrigações foram feitas com as leituras dos tensiômetros em torno de 61 kPa. Conhecer o comportamento da água no solo é essencial para a tomada de decisões referentes ao manejo racional dos cultivos irrigados ou não. Nesse aspecto, um importante variável a ser mensurada é a energia com que a água está retida pela fração sólida do solo, conhecida na literatura que trata do tema por potencial mátrico (BRITO et al., 2009).

Os potenciais de água no solo nessa condição de umidade do solo oscilaram de 54 e 20kPa antes da irrigação, 26 e 14kPa depois da irrigação (DII), 54 e 48 kPa antes da irrigação e 24 e 14 kPa depois da irrigação (DIII). Segundo Saad e Libard (1992), os limites de tensão de água no solo para início das irrigações na soja é 37 kPa (0-20cm) e 63 kPa (20-40c). Em experimento conduzido no Sul do país, Trautmann (2008) verificou a umidade gravimétrica ao final do ensaio variou de 16,13; 13,87 e 7,70 g 100 g⁻¹ de umidade com os níveis de tensão de -0,01; -0,03 e -0,1 MPa, respectivamente. Normalmente, define-se que a água está na CC quando se encontra retida a uma tensão de 10 kPa, em solos arenosos do Cerrado (BERNARDO et al., 2006).

Com a aplicação do tratamento DIV, não foi possível aplicar-se o déficit desejado, devido ter ocorrido precipitação, em alguns momentos elevando a umidade do solo para níveis acima do armazenamento crítico para a cultura, antes da irrigação, nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m, a umidade do solo oscilou entre 11,3% e 12,1%, enquanto a umidade depois da irrigação variou entre 12,8 % a 13,7% (Figuras 10C e 10D). Na verdade, a variação da umidade do solo nesse tratamento se assemelhou bastante a do tratamento sob irrigação plena (Figura 9A e 9B). Por isso, o déficit hídrico planejado para esta fase ficou comprometido, com reflexos no desenvolvimento e produtividade de grãos da soja, conforme será apresentado mais adiante.

Segundo Jadoski et al. (2003), a redução da disponibilidade de água no solo, diminui a expansão do índice de área foliar, com efeitos diretos sobre o crescimento dos grãos e de forma menos pronunciada sobre o número de grãos formados. Para esses autores, este comportamento é aceitável, pois no ciclo reprodutivo, primeiramente é definido o número de grãos, sendo que o crescimento destes dependerá da disponibilidade de carboidratos formados pela planta, os quais, por sua vez, têm dependência direta da taxa fotossintética e área foliar ativa no dossel.

5.3. Componentes de crescimento

Houve efeito significativo ($p < 0,01$) para a interação épocas de amostragem versus tratamentos aplicados, para todos os componentes de crescimento avaliados. Na classificação de Pimentel-Gomes (1985), os coeficientes de variação são considerados baixos, quando inferiores a 10%, médios, entre 10 e 20%, altos quando estão entre 20 e 30%, e muitos altos, quando são superiores a 30%. De modo geral, com base nessa

classificação, os coeficientes de variação ficaram entre 5,19 % e 14,30 %, sendo considerados baixos e médios.

Como a interação entre os fatores avaliados foi significativa pelo teste F, a apresentação e discussão dos resultados de todos os componentes de produção deverá ser executada com base nas curvas de crescimento desses componentes ao longo do ciclo de desenvolvimento da soja, cujas equações de ajuste são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 7. Resumo do quadro da análise de variância para: altura das plantas (AP), número de folhas (NF), área foliar (AF) e massa seca total (MST) de planta soja submetida a déficit hídrico no solo, ao longo de suas fases fenológicas. Bom Jesus, PI. 2014.

Fonte de variação	Quadrados médios				
	GL	AP	NF	IAF	MST
Blocos	5	8,69 ^{ns}	10,71 ^{ns}	0,03 ^{ns}	3,23**
Época de coletar (a)	10	5,34**	27168,23**	16,29**	388,00***
Resíduo (a)	50	6,68	16,31	0,05	0,859
DH (b)	3	4029,34**	4552,66**	11,06**	18,52**
Resíduo (b)	165	5,27	22,18	0,04	1,12
Interação (a) x (b)	30	173,86**	565,38**	1,14**	77,17**
CV (a) %		5,85	6,32	11,66	12,53
CV (b) %		5,19	7,37	10,77	14,30
Média geral		44,23	63,90	1,93	7,39

Tratamento (a), épocas de amostragem das plantas; tratamento (b), déficit hídrico no solo nas fases II, III, IV e irrigação plena (IP); * e ** Significativo a níveis de 5 e 1%, respectivamente (teste F); ns - não significativo; GL, graus de liberdade.

5.4 Alturas das plantas

Na Figura 11 apresenta a variação da altura das plantas de soja em resposta aos tratamentos aplicados e testemunhas ao longo de suas fases fenológicas e na tabela 6 encontrar-se as equações de regressão. Ao final do ciclo, verificou-se que a altura das plantas sob irrigação plena foi de 69,33 cm, 51, 16 cm quando submetidas a déficit hídrico na fase II (DII), 46,33 cm quando submetidas a déficit hídrico na fase III (DIII) e 66,66 cm quando submetidas a déficit hídrico na fase IV (DIV), indicando que, independentemente da fase fenológica em que o déficit hídrico ocorreu, há sempre diminuição na altura das plantas em relação ao tratamento de irrigação plena (IP). Embora não tenha havido diferença marcante na altura das plantas entre os tratamentos em que o déficit hídrico no solo foi aplicado nas fases II e III, a redução na altura das

plantas é mais drástica quando a falta de água ocorre na fase III, considerada crítica, em que a cultura mais exige água para satisfazer suas atividades metabólicas. Na fase IV, o efeito do déficit hídrico sob a altura das plantas foi menor e bastante semelhante ao tratamento IP, em virtude de ser a fase final do ciclo da cultura, que começa a entrar em senescência e também pelas precipitações ocorrida no período que elevaram a umidade do solo no tratamento DIV (Figura 10G e 10H), que deveria sofrer déficit hídrico. Esse fato era esperado, pois, segundo Larcher (2006), a primeira resposta das plantas à deficiência hídrica no solo é a diminuição de turgescência, inibindo a fotossíntese e, conseqüentemente, o processo de crescimento, durante o seu desenvolvimento.

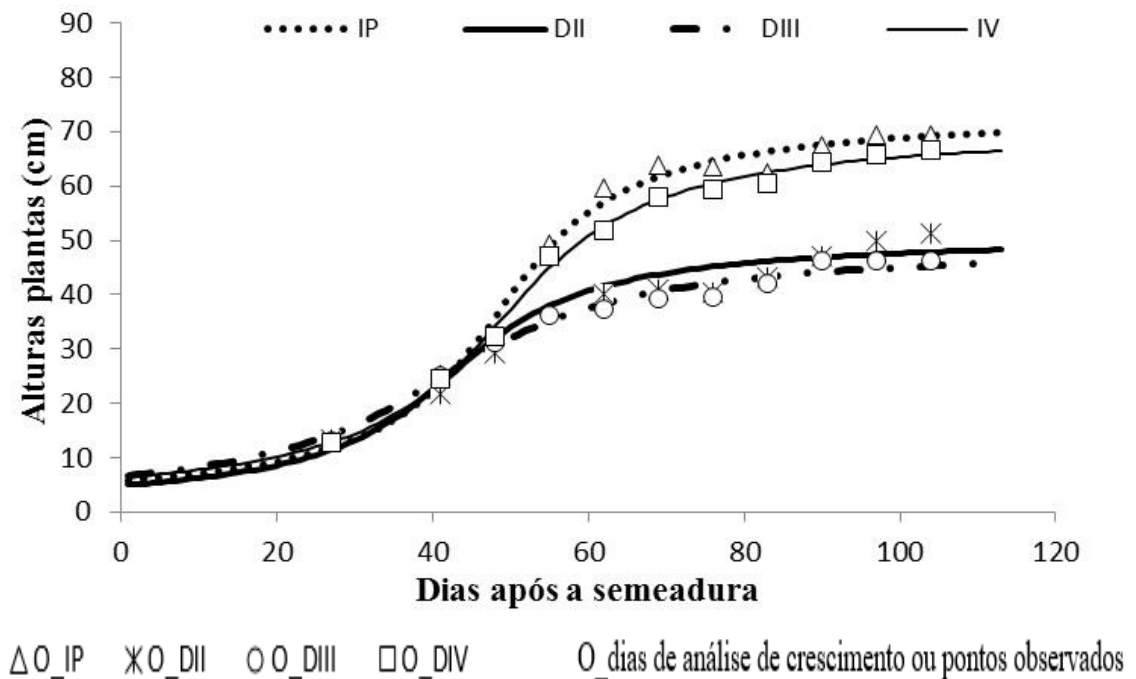


Figura 41. Variação da altura das plantas de soja em resposta aos tratamentos aplicados ao longo de suas fases fenológicas. Bom Jesus, PI. 2014.

Tabela 8. Equações de regressão, respectivo R², ponto máximo e dias após semeadura-DAS para altura de planta –AP da cultivar BRS Sambaíba RR, Bom Jesus, PI, 2014.

Var.	Trat.	Equações	R ²	Max	DAS
AP	IP	$Y=74,2(\text{atan}((X-48,7/11,8)+3,14/2)/3,14$	0,89*	69,3	104
	DII	$Y=51,3(\text{atan}((X-42,7)/13,2)+3,14/2)/3,14$	0,91*	51,2	104
	DIII	$Y=49,8(\text{atan}((X-41,4)/18,1)+3,14/2)/3,14$	0,82*	46,3	104
	DIV	$Y=71,4(\text{atan}((X-49,0)/13,9)+3,14/2)/3,14$	0,85*	66,7	104

A altura é de fundamental importância por ser uma característica que está normalmente correlacionada com as características de produção (PIMENTEL, 2005). Além disso, Fornasieri Filho (2007) reporta que a diminuição da altura da planta pode ser explicada, em parte, pelo fato da associação entre o sistema radicular e a parte aérea (A/R) variarem em função dos fatores ambientais nas diversas fases de desenvolvimento da planta. Sob deficiência hídrica no solo, induz uma redução no valor de A/R, devido à inibição do crescimento da parte aérea e do maior crescimento das raízes.

Rocha et al. (2012), trabalhando com variedades e linhagens de soja em condições de baixa latitude em Teresina-PI, encontraram para a variedade BRS Sambaíba altura média de planta 73,4 cm, superior à encontrada no presente estudo, provavelmente, pelo fato do experimento ter acontecido nos primeiros meses do ano, onde se concentra as menores temperaturas.

5.5 Número de folhas

A Figura 12 apresenta a variação do número de folhas das plantas de soja em resposta aos tratamentos aplicados e testemunhas ao longo de suas fases fenológicas e na tabela 7 é apresentado as equações de regressão. A cultura da soja teve menor número de folhas quando o déficit hídrico foi aplicado na fase III (DIII), com valor final de 77 folhas plantas⁻¹. Por outro lado, o tratamento sob irrigação plena apresentou maior número de folhas por planta (118 folhas planta⁻¹), resultado da melhor disponibilidade de água no solo ao longo do ciclo de cultivo.

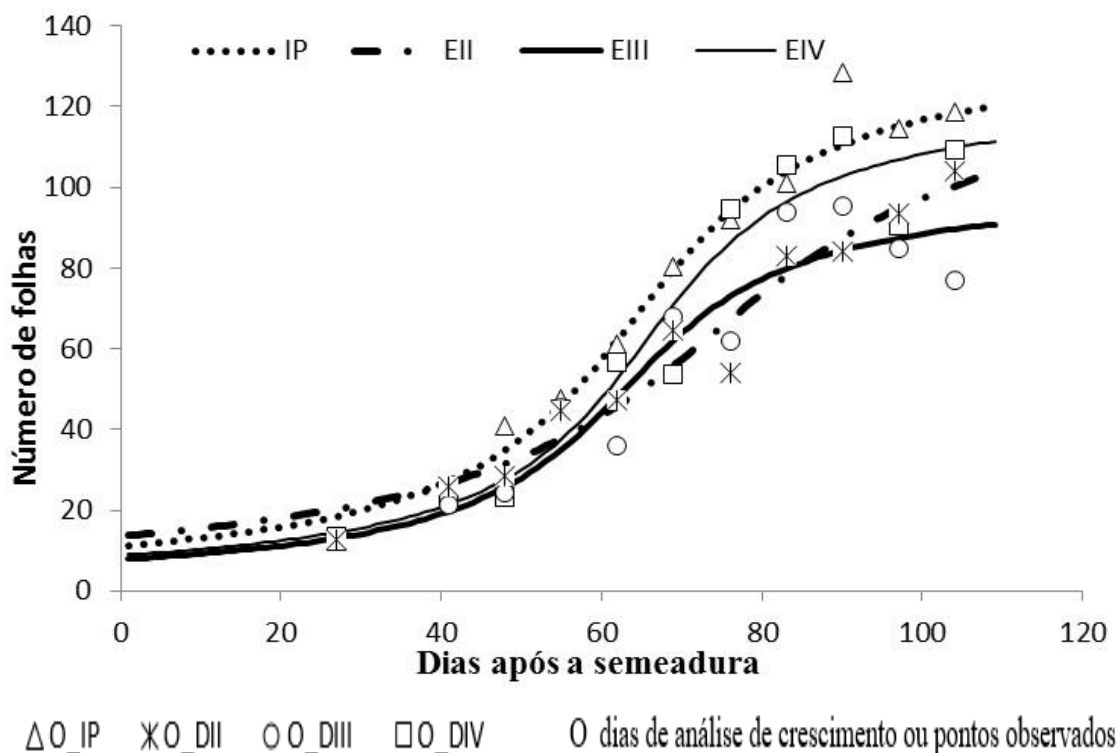


Figura 12. Número de folhas das plantas de soja em resposta aos tratamentos aplicados ao longo de suas fases fenológicas. Bom Jesus, PI, 2014.

Tabela 9. Equações de regressão, respectivo R^2 , ponto máximo e dias após sementeira-DAS para número de folhas- NF da cultivar BRS Sambaíba RR, Bom Jesus, PI, 2014.

Var.	Trat.	Equações	R^2	Max	DAS
NF	IP	$Y=135,86(\text{atan}((X-64,28)/17,01)+3,14/2)/3,14$	0,99*	128	90
	DII	$Y=129,92(\text{atan}((X-74,63)/25,50)+3,14/2)/3,14$	0,95*	103	104
	DIII	$Y=101,43(\text{atan}((X-63,21)/15,59)+3,14/2)/3,14$	0,90*	95	90
	DIV	$Y=124,45(\text{atan}((X-65,67)/14,67)+3,14/2)/3,14$	0,93*	112	90

Nascimento et al. (2004), estudando efeito da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção de feijão-caupi, vagens e grãos verdes, concluíram que houve redução de aproximadamente 11; 23 e 35%, para número de folhas por planta, para os níveis de 80; 60 e 40% de água disponível, quando comparados à testemunha. Lima et al. (2007), avaliando resposta do feijão-caupi a salinidade da água de irrigação, observaram que o número de folhas foi reduzido à medida que se aumentou o nível salino da água da irrigação. Estes autores verificaram uma redução de 48,7% no maior nível salino, em comparação com a testemunha. Em

condições de déficit salino, é comum ocorrerem alterações morfológicas e anatômicas nas plantas, refletindo-se redução de transpiração como alternativa para manter a absorção de água; uma dessas adaptações é a redução do número de folhas (LIMA et al., 2007).

A redução do número de folhas em plantas sob déficit hídrico pode ser considerada com uma estratégia de sobrevivência sob condições adversas, para evitar a perda de água por transpiração (KOZLOWSKI, 1976).

Segundo Awad e Castro (1983), o número de folhas é uma das variáveis responsáveis pela maior ou menor cobertura da superfície do solo e, conseqüentemente, pela eficiência da interceptação da energia luminosa e do seu aproveitamento, podendo esse parâmetro ser bastante afetado pelo déficit hídrico no solo. Smit e Singels (2006) relataram que a senescência foliar é responsiva à deficiência hídrica e ocorre após a diminuição no surgimento de folhas. A redução de folhas verdes tem sido relatada em plantas com deficiência hídrica Pimentel (2005). É atribuída à estratégia para diminuir a superfície transpirante e o gasto metabólico para a manutenção dos tecidos (INMAN-BAMBER et al., 2008).

Segundo Fernández et al. (1996), são as folhas que determinam o uso da água pelas plantas e sob efeito de déficit hídrico, as plantas reduzem sua área foliar. Quando a área foliar é restringida, a quantidade de biomassa seca produzida é menor, uma vez que o aproveitamento da energia luminosa é alterado em conseqüência da diminuição da superfície responsável pela interceptação da radiação luminosa (NOGUEIRA, 1997).

5.6 Índice de área foliar

O índice de área foliar da soja em resposta aos tratamentos aplicados ao longo de suas fases fenológicas é apresentado na Figura 13. Os maiores valores de IAF ocorreram entre o florescimento e enchimento de grãos. Durante a aplicação do déficit na fase DIII, o crescimento foi muito lento em relação ao demais tratamentos, devido à falta de água no solo, afetando o desempenho do IAF que teve uma grande queda em relação a testemunha em torno de 47,4%, menor que irrigação plena (IP).

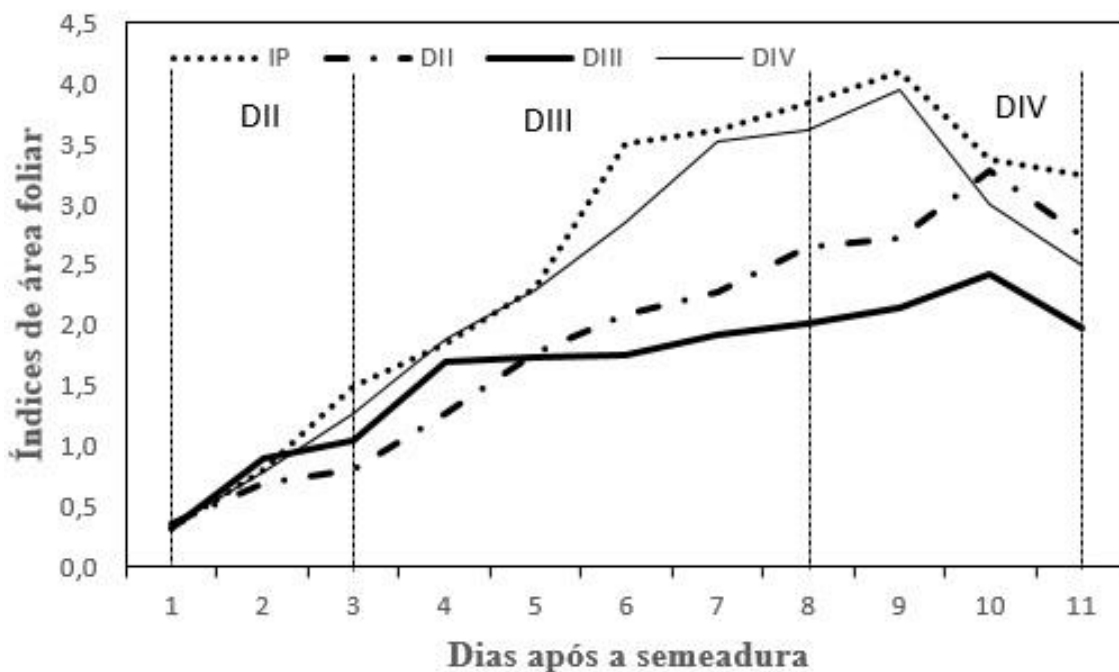


Figura 13. Índice de área foliar das plantas de soja em resposta aos tratamentos aplicados ao longo de suas fases fenológicas. Bom Jesus, PI. 2014.

A área foliar é representada pela superfície fotossinteticamente ativa da planta, cujo crescimento é altamente relacionado com a produção vegetal Turner (1979). O índice de área foliar (IAF) representa a área foliar total por unidade de área do terreno e funciona como indicador da superfície disponível para interceptação e absorção de luz. A redução da área foliar em plantas sob déficit hídrico pode-se traduzir numa estratégia de sobrevivência, com o intuito de diminuir a área disponível à transpiração (CORREIA e NOGUEIRA, 2004). Dois mecanismos morfofisiológicos que a cultura apresenta para evitar a seca são o enrolamento foliar (reduzindo a projeção de área foliar, e, por conseguinte, a radiação incidente) e o fechamento estomático, limitando a transpiração (LISSON et al., 2005).

A área foliar da cultura é, em geral, excelente indicador da capacidade fotossintética da planta Benincasa et al (1976). Uma redução do IAF diminui a área fotossinteticamente ativa, com consequente redução na produção de fotoassimilados (VIEIRA JÚNIOR, 1998).

Confalone e Navarro Dujmovich (1999), estudando a influência do déficit hídrico sobre a eficiência da radiação solar em soja, encontraram valores superiores do IAF para irrigação plena e déficit na fase florescimento e enchimento de grãos (6,0 e 4,1), valores superiores em relação a este experimento foi possível devido a cultivar de soja Asgrow

4656 que tem seu crescimento indeterminado e densidade de planta que foi de 29 plantas por metro linear. Enquanto Brandelero et al. (2002), encontraram valores para IAF de 2,04 a 2,70 para nove cultivares de soja nas condições do Recôncavo da Bahia.

A área foliar tem sua importância por ser um parâmetro indicativo da produtividade, pois o processo fotossintético depende da interceptação da energia luminosa e sua conversão em energia química, sendo este um processo que ocorre diretamente na folha, atuando na formação de carboidratos, que são alocados para os órgãos vegetativos e reprodutivos (BASTOS et al., 2002).

5.7 Massa seca da parte área

A variação da massa seca da parte área (MSPA) das plantas de soja em resposta aos tratamentos aplicados ao longo de suas fases fenológicas e equações de regressão é apresentada na figura 14 e tabela 9. Houve crescimento da MST das plantas em todos os tratamentos avaliados.

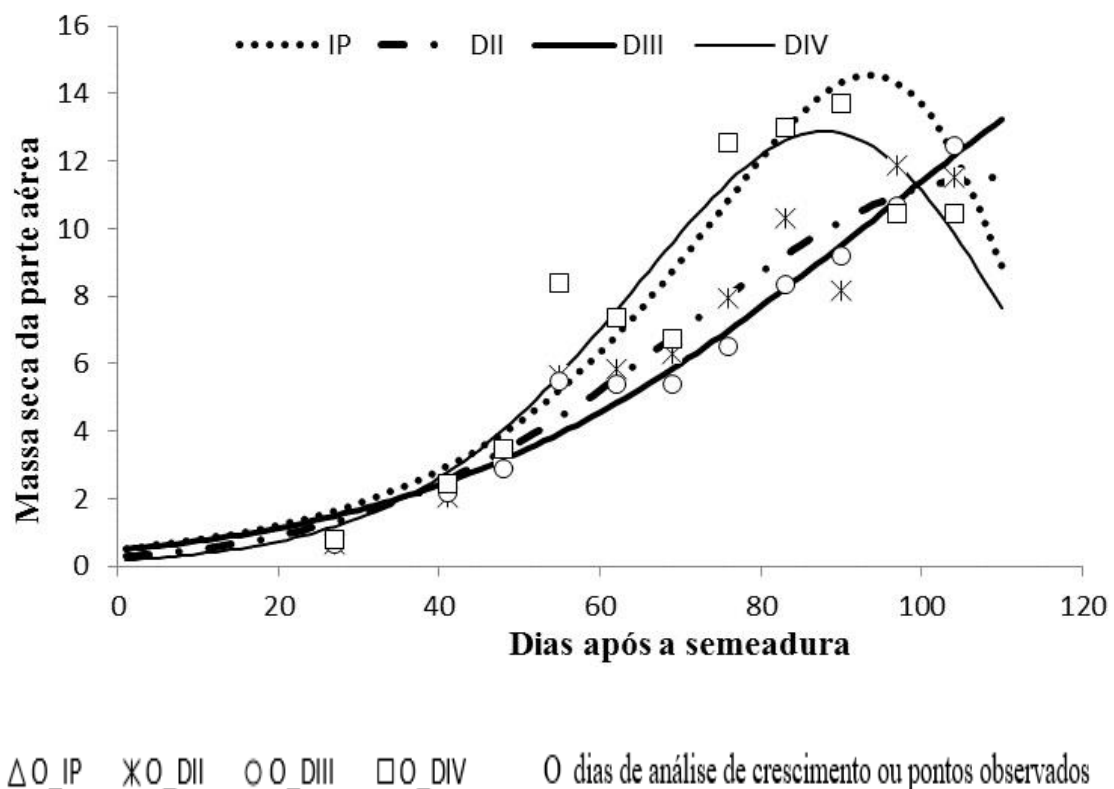


Figura 14. Massa seca da parte área das plantas de soja em resposta aos tratamentos aplicados ao longo de suas fases fenológicas. Bom Jesus, PI. 2014.

Tabela 10. Equações de regressão, respectivo R^2 , ponto máximo e dias após semeadura-DAS para massa seca da parte área-MSPA da cultivar BRS Sambaíba RR, Bom Jesus, PI, 2014.

Var.	Trat.	Equações	R^2	Max	DAS
MSPA	IP	$Y=14,5\exp((X-93,6+16,7-16,7*1,4\exp((X-\text{clnd}-93,6)/16,7))/(16,7*1,4))$ $Y=11,5\exp((X-108,5+377,8-$	0,95*	14,61	90
	DII	$377,8*0,01\exp((X-\text{clnd}-108,5)/377,8))/(377,8*0,01))$ $Y=17,2\exp((X-148,9+531,2-$	0,93*	11,89	97
	DIII	$531,2*0,01\exp((X-\text{clnd}-148,9)/531,2))/(531,2*0,01))$	0,96*	12,44	104
	DIV	$Y=12,9\exp((X-87,9+50,5-50,5*0,2\exp((X-\text{clnd}-87,9)/50,8))/(50,8*0,2))$	0,89*	13,42	90

Porém, este crescimento em MST foi superior nas plantas cultivadas sob irrigação plena e quando submetidas a déficit hídrico na fase IV (DIV), alcançando valores máximos de 14,4 g/plantas, aos 94 DAS, sob IP, e de 12,9 g/plantas, aos 87 DAS, com o tratamento D-IV (Tabela 6). Esse comportamento é reflexo da melhor disponibilidade de água no solo ao longo do ciclo de cultivo da soja nessas duas condições (Figuras 9A, 9B, 10G e 10H). A partir desses valores máximos, houve decréscimo na MST das plantas, devido ao processo natural de senescência.

Por outro lado, com a aplicação dos tratamentos DII e DIII houve menor acúmulo de MST ao longo do ciclo de cultivo, devido a reduzida disponibilidade de água no solo para as plantas nessas duas condições. É importante destacar que os pontos de máximo acúmulo de MST dessas duas situações foram obtidos apenas no final do ciclo, por ocasião de colheita (11,5 g para o tratamento DII e 12,43 g para o tratamento DIII). Esse comportamento é reflexo do efeito combinado da redução do número de folhas por planta (Figura 12) e do índice de área foliar das plantas (Figura 14) quando submetidas a déficit hídrico nessas duas fases, afetando a MST.

Andrade Júnior et al. (2005) também constataram um acúmulo lento de matéria seca para duas cultivares de feijão-caupi, até 43 dias de idade em estudos realizados em

Parnaíba, PI e Teresina PI, ocorrendo depois uma evolução rápida, resultante, principalmente, da contribuição do peso de vagens.

Na maioria dos casos, o déficit provocado pela falta de água estimar-se a resposta entre plantas, que pode ser medida pela produtividade, crescimento (acumulação de matéria seca), ou o processo primário de assimilação do CO₂, que estão relacionados com o crescimento geral das plantas (TAIZ e ZEIGER, 2004).

Segundo Fancelli e Dourado Neto (2000), a baixa disponibilidade de água para as plantas e uma excessiva taxa transpiratória promovem um imediato fechamento dos estômatos, o que resulta na paralisação da fotossíntese, com serias reduções na quantidade de biomassa. Andrade Junior et al. (2005) em trabalho realizado Parnaíba – PI, observaram que as plantas submetidas aos tratamentos de maior lâmina de água acumularam mais biomassa, chegando no final do ciclo a aproximadamente 100g/planta de matéria seca no tratamento L1 (428mm) em oposição aos 40g/planta no tratamento L4 (200mm).

5.8 Componentes de produção

Na Tabela 10 encontra-se os resultados da análise de variância realizada para os componentes de produção altura de inserção da primeira vagem (APV), número de vagens por planta (NVP), comprimento de vagens (CV), número de grãos por vagem (NGV), massa de cem grãos (MCG) e produtividade de grãos de soja (PG, kg ha⁻¹) em resposta aos tratamentos aplicados. Houve efeito significativo ($p < 0,01$) para todas os componentes de produtividade avaliados em resposta aos tratamentos aplicados. Segundo a classificação proposta por Pimentel-Gomes (1985), os coeficientes de variação para todos os componentes são considerados baixos (<10%), já que oscilaram em torno de 3,03% a 8,57%, indicando excelente condição de execução do ensaio.

Tabela 10. Resumo da análise de variância para altura de inserção da primeira vagem (APV, cm), número de vagens por plantas (NVP), comprimento de vagens (CV, cm), número de grão por vagem (NGV), massa de 100 grãos (MCG, g) e produtividade de grãos da soja (PG, kg/ha) em resposta aos tratamentos avaliados, Bom Jesus-PI, 2014.

Fonte de variação	Quadrados médios						
	GL	APV	NVP	CV	NGV	MCG	PG
Blocos	5	0,15 ^{ns}	61,42*	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,73**	10689,83 ^{ns}
DH	3	9,55**	2922,49**	0,14**	0,49**	5,44**	7075907,36**
Resíduos	15	0,22	17,68	0,02	0,01	0,13	17700,39
CV %		3,75	8,57	3,09	3,69	3,03	5,53

** , * e ns - Significativo ao nível de 1%, 5% e não significativo pelo teste F, respectivamente.

5.9 Altura de inserção da primeira vagem (APV)

A comparação das médias de APV em resposta aos tratamentos aplicados em relação à testemunha é apresentada na Figura 15. A soja apresentou os menores valores de APV quando submetida à condição de déficit hídrico no solo nas fases III (11,0 cm) e II (12,4 cm). Enquanto que nos tratamentos sob IP (13,6 cm) e déficit hídrico na fase IV (13,66 cm) foram obtidos os maiores valores de APV, os quais não diferiram estatisticamente entre si ($p > 0,05$).

Observou-se que todos os tratamentos apresentaram altura de inserção da primeira vagem superior a 11 cm, considerada como adequada para a operação de colheita mecanizada, já que a barra de corte das maiorias das colheitadeiras situa-se aproximadamente a 10 cm da superfície do solo (CARVALHO et al., 2010). Assim sendo, vagens fora desse padrão requerido pelas máquinas serão perdidas por não serem colhidas, acarretando na diminuição da produtividade.

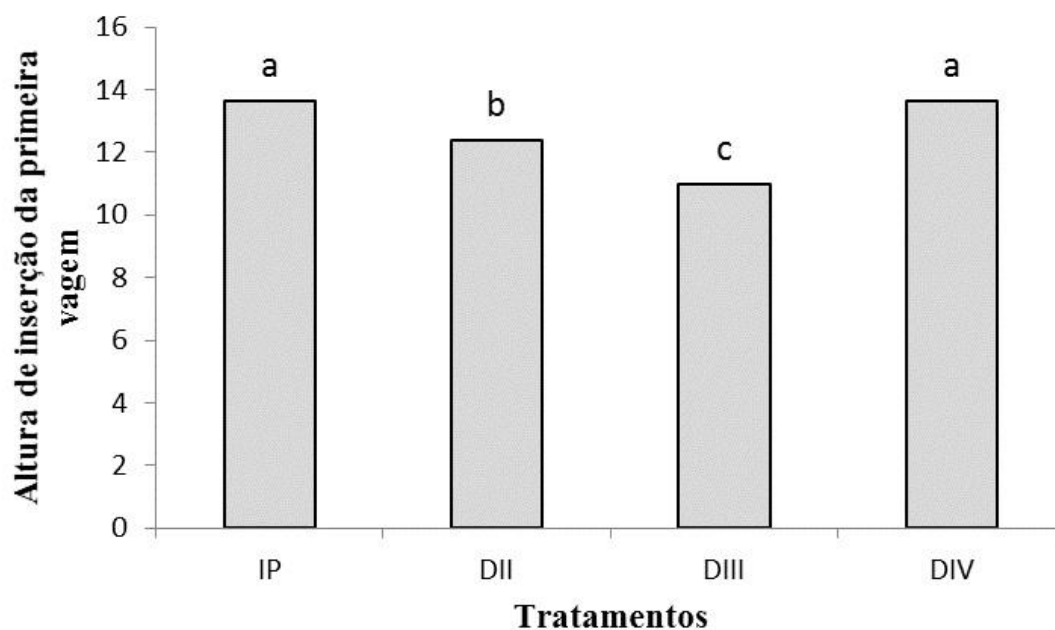


Figura 15. Altura de inserção da primeira vagem das plantas de soja em resposta aos tratamentos aplicados ao longo de suas fases fenológicas. Bom Jesus, PI. 2014.

Rocha et al. (2012), trabalhando com variedades e linhagens de soja em condições de baixa latitude em Teresina-PI, encontraram para a variedade BRS Sambaíba altura média de inserção da primeira vagem de 17,9 cm, bem superior à encontrada no presente estudo, provavelmente, pelo fato da cultura não ter sofrido qualquer tipo de déficit ambiental. Porém, os valores deste trabalho estão de acordo com os apresentados por Valadão Junior et al. (2008), que consideram como adequado, em terrenos planos, que as cultivares de soja devem apresentar altura de inserção da primeira vagem igual ou superior a 10,0 cm.

Essa característica tem correlação direta com o aproveitamento de luz na parte inferior do dossel, ou seja, quanto mais luz atingir a camada inferior do dossel, mais baixo será o nó do primeiro legume e, por consequência, a altura de inserção do primeiro legume (ZABOT, 2009).

5.10 Número de vagens por planta (NVP)

A comparação das médias de NVP em resposta aos tratamentos aplicados é apresentada na Figura 16. A soja apresentou os maiores valores de NVP quando foi submetida a condição de irrigação plena (66,2) e déficit hídrico no solo na fase IV (66,6), as quais não diferiram estatisticamente entre si ($p > 0,05$). Enquanto que nos

tratamentos submetidos a déficit hídrico nas fases II (38,6) e III (23,0) foram obtidos os menores valores para NVP. Ou seja, as plantas de soja submetidas a esses dois tratamentos produziram 41,87% e 65,37% menos vagens em relação ao tratamento sob irrigação plena. Valores superiores de NVP (72,6) foram encontrados por Rocha et al. (2012), nas condições de solo e clima de Teresina, PI, provavelmente, pelo fato da cultura não ter sofrido qualquer tipo de déficit ambiental, pois o experimento foi conduzido na época mais fria do ano. Enquanto este experimento foi realizado em condições adversas ao de Rocha.

A diminuição no número de vagens deu-se, provavelmente, em função do maior índice de abortamento de flores e vagens, quando o déficit hídrico ocorre no início da floração e maturação (BRUENING e EGLI, 2000). A deficiência hídrica no solo na fase III coincide justamente com a fase de maior exigência hídrica da soja. O número de vagens é diretamente dependente do número de flores que a planta produz e mantém após a ocorrência eventual de uma deficiência hídrica.

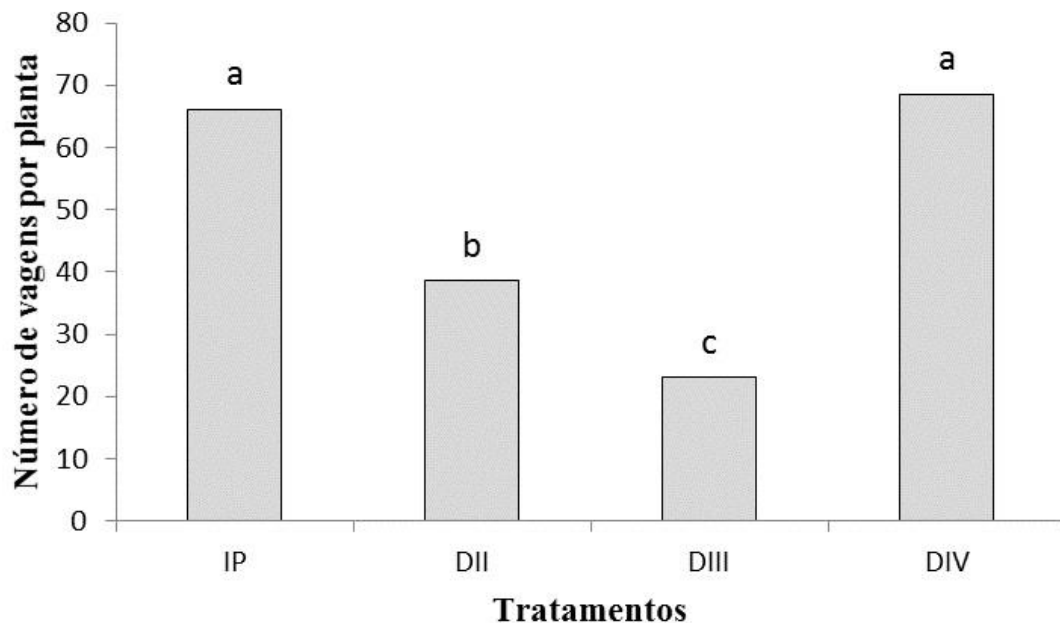


Figura 16. Número de vagens por planta de soja em resposta aos tratamentos aplicados. Bom Jesus, PI. 2014.

Resultados semelhantes foram obtidos por Maehler et al. (2003) que, estudando o potencial de rendimento da soja, em razão da irrigação e arranjo de plantas, constataram que a irrigação teve grande importância, pois a deficiência hídrica

prejudicou o número de vagens por planta, em consequência do menor suprimento de água e assimilados.

Dentre os componentes utilizados no fator produção, o rendimento de sementes, o número de vagens por planta e a massa de cem grãos merecem destaque. Pinchinat e Adams (1966) e Board et al. (1997) verificaram que o número de vagens por planta é o caráter que mais contribui para o rendimento de grãos em leguminosas, uma vez que apresenta as maiores correlações com a produção.

5.11 Massa de cem grãos (MCG)

A comparação das médias de MCG em resposta aos tratamentos aplicados é apresentada na Figura 17. Os tratamentos IP e DIV foram os que apresentaram as maiores massas de 100 grãos, variando de 12,58 g (IP) a 12,59 g (DIV). A menor média de massa de 100 grãos foi obtida pelo tratamento DIII, com apenas 10,58 g (Figura 17). Valores superiores foram encontrados por Rocha et al. (2012), em Teresina-PI, com a massa de 100 grãos da cultivar BRS Sambaíba de 15,37 g. Borrmann (2009) afirmou, em estudos sobre as respostas fisiológicas da cultura da soja sob déficit hídrico, que na fase de enchimento dos grãos na soja o déficit hídrico pode causar redução no tamanho e massa dos grãos, pois a deficiência hídrica prejudica a atividade das enzimas responsáveis pela degradação da clorofila, o que resulta em alto teor de grãos verdes.

Valores diferentes foram encontrados por Kuss et al. (2008), trabalhando com populações de plantas e estratégias de manejo de irrigação na cultura da soja, cultivar Coodetec 205, em Santa Maria – RS, onde apresentaram valores de 15,4, 14,3 e 14,6 gramas para os tratamentos, não irrigado, irrigado em períodos críticos e irrigação plena. Os valores do peso médio de grãos ser maior para os tratamentos não-irrigados pode ser atribuído a uma certa tolerância de alguns genótipos ao déficit hídrico. Estas diferenças podem ser também atribuídas a característica genética da própria cultivar, bem como a intensidade do déficit hídrico no solo imposto pelo tratamento não irrigado.

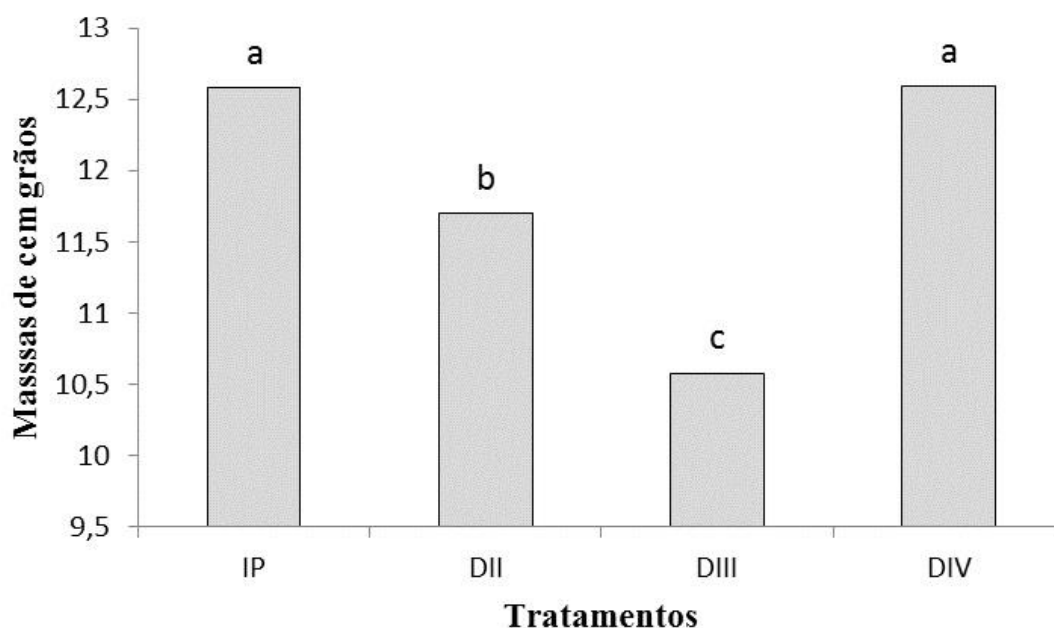


Figura 57. Massa de cem grãos de soja em resposta aos tratamentos aplicados, Bom Jesus, PI. 2014.

Durante a formação dos legumes, a massa de 100 grãos pode ser prejudicada em razão da competição por assimilados com as vagens formadas mais cedo, e que pode limitar fisicamente o tamanho potencial do grão das vagens formadas mais tardiamente (NAVARRO JÚNIOR; COSTA, 2002).

A falta de água influencia diretamente na eficiência do processo fotossintético da planta, tanto de forma direta, provocando a desidratação do citoplasma, quanto de forma indireta, ocasionando o fechamento estomático. Pode também, se a ocorrência for durante o período de florescimento, causa o aborto das flores, enquanto que se ocorrer durante a fase de enchimento dos grãos, afeta o peso dos mesmos e, conseqüentemente, a produção.

5.12 Comprimento de vagem (CV)

A comparação das médias de comprimento de vagem (CV) em resposta aos tratamentos aplicados é apresentada na Figura 18. As vagens com menor comprimento foram encontradas apenas em plantas que tiveram déficit hídrico no tratamento DIII, em torno de 3,76 cm, ou seja, durante o período de florescimento e enchimento dos grãos. Esse fato decorre, provavelmente, da falta de água a ser utilizada na formação dos

grãos, ocasionando em grãos pequenos e com massa abaixo da média. Valores semelhantes foram encontrados Rocha et al. (2012), em Teresina-PI, com CV igual a 3,69 cm para a cultivar BRS Sambaíba. O comprimento das vagens é fator primordial na produtividade final, estando relacionada com a quantidade e qualidade dos grãos.

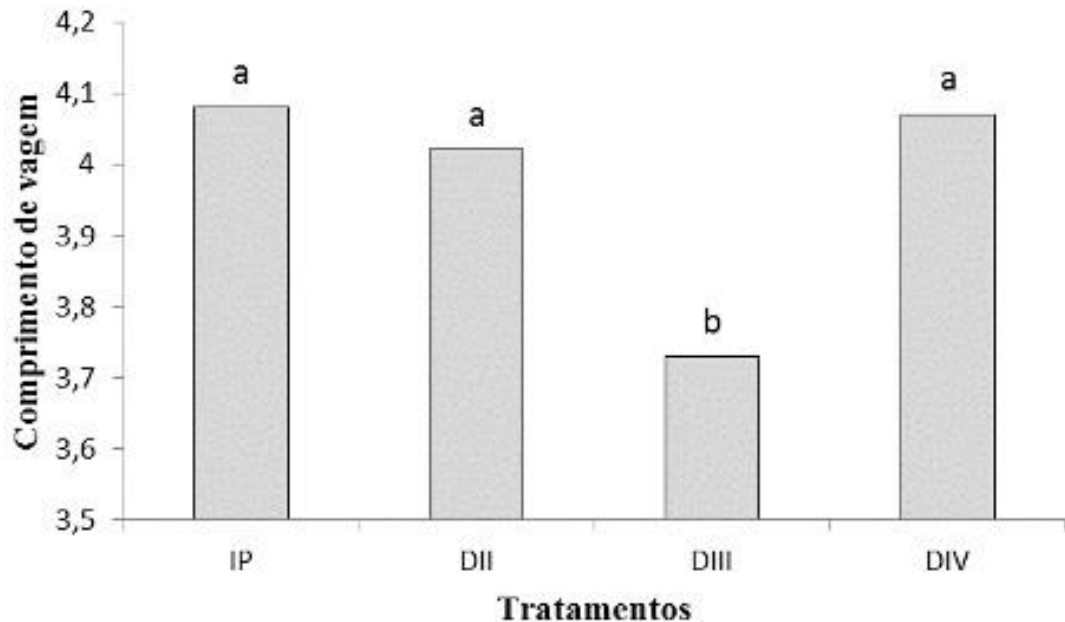


Figura 18. Comprimentos de vagem em planta de soja em resposta aos tratamentos aplicados ao longo de suas fases fenológicas. Bom Jesus, PI. 2014.

A formação de vagens pode ser prejudicada em razão da competição por assimilados com as vagens formadas mais cedo, em função do déficit hídrico sofrido, e pode limitar fisicamente o tamanho potencial do grão (NAVARRO JÚNIOR; COSTA, 2002). O tamanho das vagens pode influenciar na qualidade física e fisiológica das sementes durante o armazenamento e as sementes maiores apresentaram maior peso de cem sementes.

5.13 Número de grãos por vagens (NGV)

A comparação das médias de número de grãos por vagem (NGV) em resposta aos tratamentos aplicados é apresentada na Figura 19. O número de vagens por planta foi influenciado negativamente pelo déficit hídrico, tendo o déficit hídrico ocorrido nas fases DII (2,63) e DIII (2,22) mostrado as menores médias de NGV.

Por outro lado, na irrigação plena e déficit hídrico na fase DIV apresentou as maiores médias de número de grãos por vagem e iguais a 2,84 e 2,82, respectivamente. Valores intermediários foram encontrados por Rocha et al. (2012), em Teresina-PI, com número de grãos por vagem igual a 2,36 para a cultivar BRS Sambaíba.

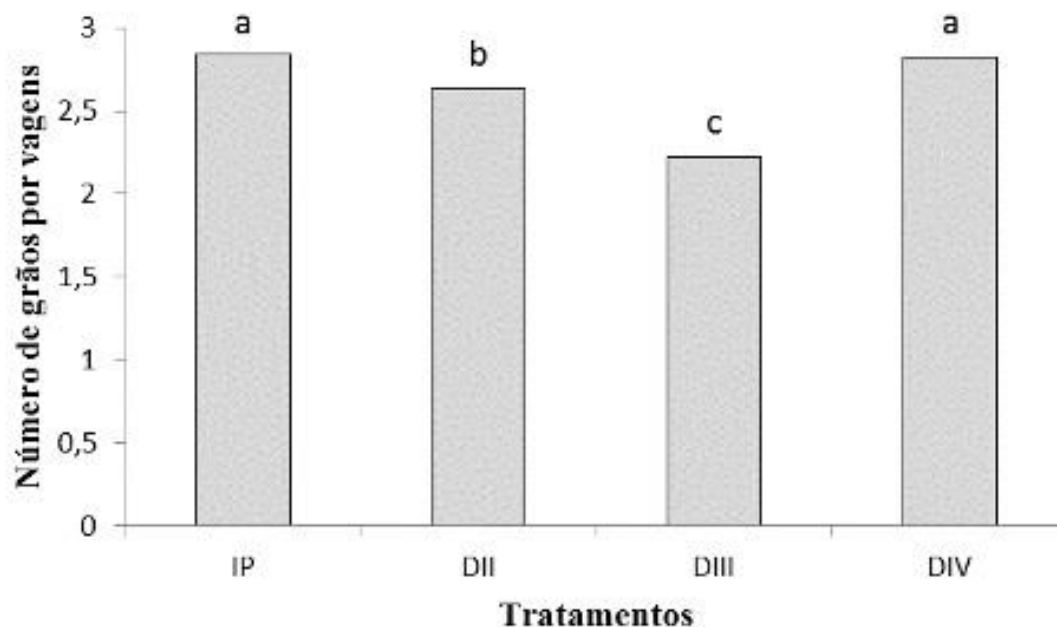


Figura 19. Número de grãos por vagens em planta de soja em resposta aos tratamentos aplicados ao longo de suas fases fenológicas. Bom Jesus, PI. 2014.

Pelúzio et al. (2002), trabalhando com níveis de desfolha e sua influência nos componentes de produção da soja, relatam que a redução na disponibilidade de fotoassimilados para o enchimento das vagens pode provocar uma redução nessa característica, além da redução na produtividade de grãos, que pode ser consequência do abortamento de flores e de vagens e menor número de grãos por vagens.

5.14 Produtividade de grãos (PG)

A comparação das médias de produtividade de grãos da soja (PG) em resposta aos tratamentos aplicados é apresentada na Figura 20. Houve diminuição da PG da soja em função do déficit hídrico aplicado nas fases fonológicas. A PG obtida com a irrigação plena foi em média de 3355,7 kg ha⁻¹, valor este equivalente a 56 sacas de 60 kg por hectares, enquanto que a aplicação de déficit hídrico na fase III (DIII) obteve-se uma PG média de 1254,9 kg ha⁻¹, ocasionando uma queda na produtividade da soja

aproximadamente de 63%, ou seja, 35 sacas de soja a menos em relação à produtividade obtida com a irrigação plena. A mesma tendência, porém, com menor intensidade ocorreu com a aplicação do déficit hídrico na fase II (DII), com a PG da soja média em torno de 1.707,2 kg ha⁻¹, queda de 49% (28 sacas de 60 kg) em relação a PG obtida com a IP. Percebe-se, portanto, que a ocorrência de déficit hídrico na fase de maior exigência hídrica da soja (florescimento, formação de vagens e enchimento de grãos) afetou a produtividade de grãos da cultura significativamente.

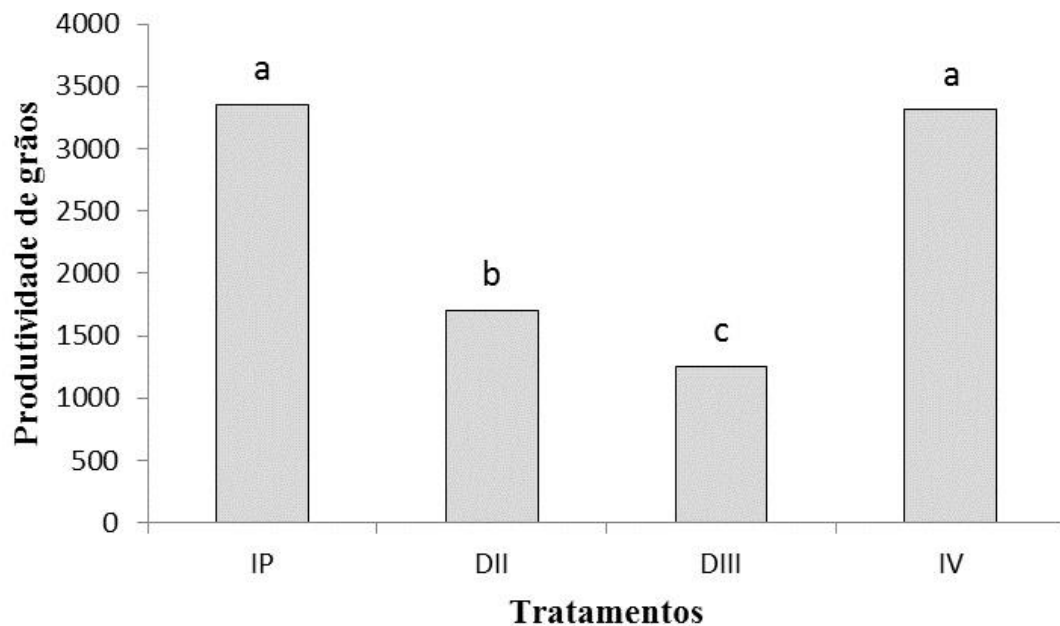


Figura 20. Produtividade de grão e soja em resposta aos tratamentos aplicados. Bom Jesus, PI. 2014.

Os valores de PG obtidos com IP nesse estudo (3355,7 kg ha⁻¹), mesmo que em condições de solo arenoso, porém, corrigido e com adubação mineral adequada, foram superiores aos encontrados por Rocha et al. (2012), em Teresina-PI (2352,7 kg ha⁻¹), em condições de sequeiro, provavelmente, pelo fato da cultura não ter tido sua necessidade hídrica atendida de forma adequada, como o foi no presente estudo.

Valores inferiores de PG foram encontrados por Dias et al. (2009), no Estado do Ceará com as cultivares BRS Sambaíba (1.893,6 kg ha⁻¹), BRS Tracajá (1.882,9 kg ha⁻¹) e MA BR 97 1665 (1.725,7 kg ha⁻¹). Resultados semelhantes foram encontrados por Rezende e Carvalho (2007), analisando comportamento de 45 cultivares, constataram que estas apresentaram produtividades satisfatórias, com destaque para Vencedora, Paiaguás, Aventis 2056-7, Monarca e FT 2000 com produção acima de 3.400 kg ha⁻¹.

O adequado desenvolvimento e produtividade das culturas agrícolas são fortemente influenciados pela água, visto que, dependendo da quantidade disponível deste recurso e da eficiência do seu uso pelo organismo, a produtividade da cultura pode ser limitada. A produção da soja quando em regime de sequeiro, tem uma estreita relação com as condições climáticas anuais variando a produtividade em função da ocorrência de chuvas.

Todos esses dados estão de acordo com Mundstock e Thomas (2005), que afirmaram que o déficit hídrico em qualquer estágio de desenvolvimento da planta altera a quantidade de massa produzida afetando o balanço entre o crescimento vegetativo e reprodutivo, o que reflete sobre o número de nós férteis e legumes na planta, diminuindo o rendimento de grãos.

Considerando-se todos os componentes de produção e a produtividade de grãos, a fase mais crítica à falta de água ocorre durante o florescimento e enchimento dos grãos, influenciando negativamente em todas as variáveis analisadas.

6. CORRELAÇÃO ENTRE OS COMPONENTES DE PRODUÇÃO

Todos os componentes de produção apresentaram correlação positiva com a produtividade de grãos (Tabela 11). Houve maior influência do número de vagens de plantas (NVP) sobre a produtividade da soja, com correlação igual a 0,967. Em contrapartida, o comprimento da vagem (CV) apresentou a menor correlação (0,212). A altura da vagem, número de grãos por vagem, peso de 100 grãos obteve correlação intermediária, iguais a 0,88; 0,83 e 0,81, respectivamente.

Dalchiavon e Carvalho (2012) registraram correlações de produtividade de 0,65, com número de vagens por planta; de -0,06, não significativa, com número de grãos por vagem; e de 0,37 com massa de mil grãos. Peixoto et al. (2000) observaram correlações de produtividade com o número de vagens por planta de 0,57, e de 0,53 com massa de mil grãos. Nogueira et al. (2012) observaram significância da correlação de produtividade apenas com o número de vagens por planta, com magnitude de 0,76.

Tabela 11. Correlação de Pearson entre produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹) altura de inserção da primeira vagem (APV), número de vagens por planta (NVP), massa de cem grãos (MCG), comprimento de vagem (CV), número de grãos por vagens (NGV), para cultivar BRS Sambaíba RR, Bom Jesus, PI, 2014.

Componentes de produção	PG
APV	0,88
NVP	0,96
MCG	0,81
CV	0,21
NGV	0,83

7. CONCLUSÕES

A aplicação do déficit hídrico nas fases fenológicas II e III afetam o crescimento e a produtividade de grãos da soja.

Em termos de crescimento, o parâmetro mais sensível ao déficit hídrico aplicado na fase III é o índice de área foliar, com queda de 40,73% em relação à irrigação plena.

A produtividade de grãos sofreu maior redução com o déficit hídrico aplicado na fase III (62%) em relação a irrigação plena.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G; PEREIRA, L. S; RAES, D; SMITH, M. **Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements**. Irrigation and drainage paper FAO-56. Water Resources, Development and Management Service, Roma. 1998.

ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo da irrigação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p.528, 2008.

ALMEIDA, T. S.; FONTANA, D. C. MARTORANO, L. G.; BERGAMASCHI, H. Índices de vegetação para a cultura da soja em diferentes condições hídricas e de sistema de manejo do solo. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil **Anais**. 2005 p. 17-24.

ANDRADE JÚNIOR, A.S.; BASTOS, E.A.; BARROS, A.H.C.; SILVA, C.O.; GOMES, A.A.N. **Classificação climática do Estado do Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004 (Documentos, 86).

ANDRADE JÚNIOR, A.S.; BASTOS, E.A.; BARROS, A.H.C.; SILVA, C.O.; GOMES, A.A.N. Classificação climática e regionalização do semi-árido do Estado do Piauí sob cenários pluviométricos distintos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 36, n. 2, p. 143-151, 2005.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; RODRIGUES, B. H. N.; BASTOS, E. A. Irrigação. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Teresina: Embrapa Meio-Norte, p. 243-277, 2005.

ARAÚJO, M. R. S. de. **Expansão da fronteira agrícola nos cerrados piauienses, (des)territorialização e os desafios para o desenvolvimento territorial: o caso do município de Bom Jesus**. 2006. 186 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Piauí, PRODEMA, Teresina-PI.

AWAD, M., CASTRO, PR de C. e. **Introdução à Fisiologia Vegetal**. São Paulo. Nobel de 1983.

BANCO DO NORDESTE DO BRASIL (BNB). **Documento referencial do Polo de Desenvolvimento Integrado do oeste baiano**. Fortaleza, 1998.

BASTOS, E. A.; RODRIGUES, B. H. N.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; CARDOSO, M. J. Parâmetros de crescimento do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.22, n.1, p.43-50, 2002.

BARNI, N.A.; BERGAMASCHI, H. Alguns princípios técnicos para semeadura. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. **A Soja no Brasil**. ITAL, Campinas, São Paulo, p. 476-480, 1981.

BERNARDO, S., SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8.ed. Viçosa: UFV, 2006, p.625.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: Fundação de Estudos e Pesquisas em Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia. 41p. 1988.

BENINCASA, M. M. P.; BENINCASA, M.; LATANZE, R. J.; JUNQUETTI, M. T. G. Método não-destrutivo para estimativa da área foliar de *Phaseolus vulgaris* L. (feijoeiro). **Científica**, v. 4, n. 1, p. 43-48, 1976.

BERLATO M.A.; BERGAMASCHI, H. Consumo de água da soja. I. Evaporação estacional em ótimas condições de disponibilidade de água no solo. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA. 1978, Londrina. **Anais**. Londrina: Embrapa-CNPSO, 1979. v.1, p.53-58.

BEZERRA, A. A. C.; TÁVORA, F. J. A. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q. Características de dossel e de rendimento em feijão-caupi ereto em diferentes densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 10, p. 1239-1245, 2009.

BEZERRA, A. A. de C. **Efeitos de arranjos populacionais na morfologia e produtividade de feijão-caupi de crescimento determinado e porte ereto**. 2005. 123 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

BOARD, J. E.; KANG, M. S.; HARVILLE, B. G. Path analysis identify indirect selection criteria for yield of late planted soybean. **Crop Science**, v. 37, n. 03, p.879-884, 1997.

BORRMANN, D. **Efeito do déficit hídrico em características químicas e bioquímicas da soja e na degradação da clorofila, com ênfase na formação de metabolitos incolores**. 2009. 107f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. 4 ed. Viçosa: UFV, 2005. P.525.

BRANDELERO E.; PEIXOTO, C. P.; M SANTOS, J. M. B.; MORAES, J.C. C, PEIXOTO, M. F. S. P. SILVA V. Índices fisiológicos e rendimento de cultivares de soja no Recôncavo Baiano. 2.ed. Bahia: **Magistra**, v.14, p77-88, 2002.

BRITO, A. dos S.; LIBARDI, P. L.; MOTA, J. C. A.; MORAES, S. O. Desempenho do tensiômetro com diferentes sistemas de leitura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.33, n.1, p.17-24, 2009

BRUENING, W.P.; EGLI, D. B. Leaf etarch accumulation and seed at phloemisolated nodes in soybean. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.68, n.2, p.113-120, 2000.

CARDOSO, C.O. **Avaliação da demanda hídrica de algumas culturas sujeitas à alteração climática na bacia do Rio Uruguai**. 1995. 89f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – UFRGS - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, RS.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1986. p.94.

CÂMARA, G.M.S. **Soja: tecnologia da produção II**. Gil Miguel de Sousa Câmara (editor). Piracicaba: G.M.S. Câmara, 2000. 450 p.

CÂMARA, G.M.S. **Soja: tecnologia da produção**. ed, Gil Miguel de Sousa Câmara. Piracicaba: G. M. S. Câmara, 1998. 293 p.

CARNEIRO, L. C. **Caracterização epidemiológica da resistência parcial e análise da tolerância de genótipos de soja à ferrugem asiática**. 2007. 75 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; GASTALDI, L. F.; PÍPOLO, A. E. Correlações fenotípicas entre caracteres quantitativos em soja. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**. Paraná. v. 26, n. 1, p. 11-16, 2005.

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

CASTRO, A. A. J. F. Cerrados do Brasil e do Nordeste: considerações sobre os fatores ecológicos atuantes, ocupação, conservação e fitodiversidade. **Revista Econômica do Nordeste**, v.27, n.2, p.183-205, 1996.

CICHOTA, R. **Avaliação no campo de um TDR segmentado para determinação da umidade do solo**. 2003. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Água e Solo) – Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo.

COLLARES, G.L. **Resposta da soja a diferentes níveis de manejo da irrigação**. 1994. 52f. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria – Rio Grande do Sul.

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

CONAB. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Avaliação da Safra Agrícola 2013/2014. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br/conabweb/download>>. Acesso em abril de 2015.

CORREIA, K.G, NOGUEIRA R.J.M.C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. V.4, n.2, 2004.

COSTA, R. C. L.; LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; MAIA, P. S. P.; ALVES, G. A. R.; LAUGHIGHOUSE IV, H. D. Biochemical and physiological responses in two *Vigna unguiculata* (L.) Walp. cultivars under water stress. **Agronomy Journal**, Madison, v.7, p.98-101, 2008.

DIAS, F. T. C.; PITOMBEIRA, J. B.; TEOFILO, E. M.; BARBOSA, F. S. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica para o caráter rendimento de grãos em cultivares de soja para o Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 1, p.129-134, 2009.

DALCHIAVON, F.C. e CARVALHO, M.P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. **Ciências Agrárias**, v. 33, n.2, p.541, 2012.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPANS, J. W.; PARLANGE, M. B. Programa SWRC (Version 1.00): **Soil-Water Retention** Curve. Piracicaba: ESALQ; Davis: University of Califórnia, 1995. 1 CD-ROM.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja**: região central do Brasil. Londrina: Embrapa Soja, 2011.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivo de Soja no Cerrado de Roraima – Exigências climáticas**. Embrapa Roraima, 2009.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006, p.306.

FARIAS, J.R.B.; NEPOMUCENO, A.E.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 10p (Embrapa Soja. Circular Técnica, 48).

FARIAS, J.R.B. Zoneamento agroclimático delimita áreas de risco para soja. In: **Visão Agrícola**, Piracicaba, v5, p70-72. 2006.

FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E.D.; ALMEIDA, J.R.; EVANGELISTA, B.A.; LAZZANOTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Caracterização do risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 09, n. 03, p. 415-421, 2001.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Déficit de água e temperatura na cultura de feijão. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Feijão irrigado**: estratégias básicas de manejo. Piracicaba: Publique, p.155-169, 2000.

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

FERNÁNDEZ, C.J.; McINNES, K.J.; COTHREN, J.T. Water status and leaf area production in water-and nitrogen-stressed cotton. **Crop Science**, Madison, v.36, p.1224-1233, 1996.

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

FIGUEIRÊDO, S. F.; POZZEBON, E. J.; FRIZZONE, J. A.; AZEVEDO, J. A.; GUERRA, A. F.; SILVA, E. M. Gerenciamento da Irrigação do feijoeiro baseado em critérios técnicos e econômicos do cerrado. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 3, p. 378, 2008.

FONTANA, D. C.; DUCATI, J.; WEBER, E.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H.; FIGUEIREDO, D. C. **Monitoramento e previsão da safra de soja 1999/2000 no Brasil**. Porto Alegre: CEPSSRM/UFRGS, 2001. 121 f. (Série D. Relatório Técnico, 005/01).

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. 1. ed. Jaboticabal: Funep, p. 273, 2007.

GILIOLI, J. L.; TERASAWA, F.; WILLEMANN, W.; ARTIAGA, O. P.; MOURA, E. A. V. & PEREIRA, W. V. 1995. **Soja**: Série 100. FT Sementes, Cristalina, Goiás. 18 p. (Boletim Técnico 3).

GOMES, P. **A soja**. 5. ed. São Paulo: Nobel, 1990. p.149.

HEIFFIG, L.S. **Plasticidade da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em diferentes arranjos espaciais**. 2002. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

HERZOG, R. L. S.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R. Produtividade de soja em semeadura direta influenciada por profundidade do sulcador de adubo e doses de resíduo em sistema irrigado e não irrigado. **Engenharia Agrícola**, v.24, n.3, p.771-780, 2004.

HIROMOTO, D. M.; VELLO, N. A. The genetic base of Brazilian soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars. **Revista Brasileira de Genética**, v.11, n.2, p.295-306, 1986.

IBARRA, T. L. **Eficiência de absorção e utilização de N, P e K, em quatro variedades de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em solo de cerrado**. 1990. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

IBGE - Instituto Brasileiro Geográfico e Estatístico. Disponível em: <<http://www.ibge.com.br>>. Acesso em: maio de 2015.

IGREJA, A. C. M.; PACKER, M. F.; ROCHA, M. B. **A evolução da soja no Estado de Goiás e seu impacto na composição agrícola**. São Paulo: IEA, p,20, 1988.

IMCOPA, 2011. **A soja**. Disponível em: <<http://www.imcopa.com.br/?p=empresa/asoja>> Acessado em Janeiro de 2015.

INMAN-BAMBER, N.G.; BONNETT, G.D.; SPILLMAN, M.F.; HEWITT, M.L.; JACKSON, J. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.59, p.13-26, 2008.

JADOSKI, S. O.; CARLESSO, R.; MELO, G. L.; RODRIGUES, M.; FRIZZO, Z. Manejo da irrigação para maximização do rendimento de grãos do feijoeiro. **Irriga**, v. 8, n. 1, 2003.

JAUREGUY, L.M.; CHEN, P.; SCABOO, A.M. Heritability and correlations among food-grade traits in soybean. **Plant Breeding**. v.130, p. 647-652. 2011.

KLEIN, V. A. **Física do Solo** – Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, p212 ,2008.

KAISER, D.R. **Fundamentos da ciência do solo**. Aulas praticas. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais. Santa Maria, p112, 2010.

KOLLER, H.R.; NYQUIST, W.E.; CHORUSH, I.S. Growth Analysis of the Soybean Community. **Crop Science**, v. 10, p. 407-412, 1970.

KOZLOWSKI, T. I. Water supply and leaf shedding. In: **Water deficits and plant growth**. New York: Academic Press, n.4, p.191-222, 1976.

KUSS, R. C. P.; KONIG, O.; DUTRA, L. M. C.; BELLÉ, R. A.; ROGGIA, S.; STUNER, G. R. Populações de plantas e estratégias de manejo de irrigação na cultura da soja. **Ciência Rural**, v. 38, n. 04, p. 1133-1137, 2008.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RIMA, p531,2006.

LIMA, C. J. G. S.; OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, M. K. T.; ALMEIDA JÚNIOR, A. B. Resposta do feijão caupi a salinidade da água de irrigação. **Revista Verde de Agroecologia e Agricultura Sustentável**, v. 2. n. 2, p. 79-86, 2007.

LISSON, S. N.; INMAN-BAMBER, N. G.; ROBERTSON, M. J.; KEATING, B. A. The historical and future contribution of crop physiology and modeling research to sugarcane production systems. **Field Crops Research**, Amsterdam,v.92, p.321-335, 2005.

LUCCHESI, A. A. Fatores da produção vegetal. In: Castro, P. R. C.; Ferreira, S. O.; Yamada, T. ed. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p.1-11, 1987.

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

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: Princípios e Métodos**. 3. ed. atual. Viçosa: Ed. UFV, 355p.2009.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/soja>> Acesso em 29/05/2015

MATZENUER, R. Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficientes de cultura. In: **Agrometeorologia aplicada à Irrigação**. Coordenado por Homero Bergamaschi. – 2 ed. – Porto Alegre: Universidade/UFRGS, p. 33-47, 1999.

MARION, E. **Parâmetros hídricos para estimativa do rendimento de grãos de soja**. 2004. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MELO, R.W. **Parametrização de modelo para estimação da produtividade da soja nas regiões do Planalto Médio, das Missões e do Alto Vale do Uruguai, Rio Grande do Sul**. 2005. 196 f. Teses (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MENDES, R. S. **Determinação da evapotranspiração por métodos direto e indiretos e dos coeficientes de cultura para a soja no Distrito Federal**. 2006, 58f. Dissertação. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Universidade de Brasília.

MOREIRA, S. G.; PROCHNOW, L. I.; KIEHL, J. DE C.; PAULETTI, V. Produtividade de soja e acúmulo de nutrientes em função de sistemas de preparo. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 14, 2002, Cuiabá. **Anais... Cuiabá**: SBCS, 2002

MOTA, F.S.; AGENDES, M.O. O. Informação climática para planejamento da irrigação da soja no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, Maceió. **Anais**. Maceió: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p.348-354, 1989.

MOTA, F.S. Condições climáticas e produção de soja no sul do Brasil. In: VERNETTI, F. de J. (Coord.) **Soja**. Campinas: Fundação Cargill, 463p, 1983.

MUELLER, C. C.; BUSTAMANTE, M. **Análise da expansão da soja no Brasil**. 2002.

MÜLLER, L. Taxionomia e morfologia. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. **A soja no Brasil**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1981. p.65-104

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

NASCIMENTO, J. T.; PEDROSA, M. B.; TAVARES SOBRINHO, J. Efeito da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção do feijão caupi, vagens e grãos verdes. **Horticultura Brasileira**. v.22, p.174-177, 2004.

NAVARRO JÚNIOR, H. M.; COSTA, J. A. Contribuição relativa dos componentes do rendimento para produção de grãos em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 03, p. 269-274, 2002.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L.; FARIAS, J.R.B.; OYA, T. Estádios de desenvolvimento da cultura de soja. In: BONATTO, E.R. **Déficits em soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, cap.1, p. 19-44, 2000.

NOGUEIRA, A. P. O.; SEDIYAMA, T.; SOUSA, B.; HAMAACKI, O. T.; CRUZ, C. D.; PEREIRA, D. G.; MATSUO, E. Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 6, p. 877-888, 2012.

NOGUEIRA, R.J.M.C. **Expressões fisiológicas da aceroleira (Malpighia emarginata DC) em condições adversas**. 1997. 205p. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

PANDEY, R.K.; HERRERA, E.A.; PENDLETON, J.W. Drought response of grain legumes under irrigation gradient: II. Plant water status and canopy temperature. **Agronomy journal**, v. 76, n. 3, p. 553-557, 1984.

PELÚZIO, J. M.; BARROS, H. B.; ROCHA, R. N. C.; SILVA, R. R.; NASCIMENTO, I. R. Influência do desfolhamento artificial no rendimento de grãos e componentes de produção da soja [Glycine max (L.) Merrill]. **Ciência Agrotecnológica**, v. 26, n. 06, p. 1197-1203, 2002.

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

PENDLETON, J. W.; HARTWIG, E. E. Manegement. In: CALDWELL, B. E. (Ed.). **Soybeans: improvement, production, and uses**. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, p. 211-237, 1973.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidade de vegetais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, p. 33, 1987 (Boletim técnico, 114)

PESKE, S. T. **Germination and emergence of soybean seeds as related to moisture stress**. Mississipi: MSU, p. 81, 1983.

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

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: Ed, p. 191, 2005.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. São Paulo: Nobel, p. 467, 1985.

PINCHINAT, A. M.; ADAMS, M. W. Yield Components in beans, as affected by intercrossing and neutron irradiation. **Turrialba**, v. 16, n. 03, p. 247-252, 1966.

RAMBO, L.; COSTA, J. A.; PIRES FERNANDES, J. L.; PARCIANELL, G.; FERREIRA GUTTIL. F. Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. **Ciência Rural**, v. 33, n. 03, p. 405-411, 2003.

RAMBO, L.; COSTA, J.A.; PIRES FERNANDES, J. L.; PARCIANELL, G.; FERREIRA GUTTIL. F. Rendimento dos grãos de soja e seus componentes por estrato do dossel em função do arranjo de plantas e regime hídrico. **Scientia Agraria**, v. 3, n.1-2, p. 79-85, 2002.

RANGEL, M. A. S. **Minha soja floresceu com porte baixo e agora**. Embrapa artigos. Disponível em: Acesso em: 28 maio. 2015.

REZENDE, P. M. de; CARVALHO, E. A. Avaliação de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] para o sul de Minas Gerais. **Ciência Agrotecnológica**, v. 31, n. 06, p. 1616-1623, 2007.

ROCHA, R. S.; SILVA, J. A. L.; NEVES, J. A.; SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C. Desempenho agrônomo 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.

ROCHA R. S. **Avaliação de variedades e linhagens de soja em condições de baixa latitude**. 2009. 59f. Dissertação (mestrado em produção vegetal) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, Piauí.

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

RUVIARO, C.; DORNELES, J. G. L.; SILVA, A. M.; BEN, C. A. V. Comportamento da soja submetida a diferentes regimes hídricos e viabilidade da irrigação suplementar na região do vale do Jaguari-RS. **Perspectiva**, v.35, n.131, p. 79-90, 2011.

SMIT, M.A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, v.98, p.91-97, 2006.

SAAD, A.M.; LIBARDI, P.L. **Uso prático de tensiômetros pelo agricultor irrigante**. São Paulo: IPT, 1992.27p.

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

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO J. L.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semi-detalhado (escala de 1:250.000) da cobertura vegetal antrópica do bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v.43, p.153-156. 2008.

SANTOS NETO, J. T.; LUCAS, F. T.; FRAGA, D. F.; OLIVEIRA, L. F.; PEDROSO NETO, J. C. Adubação Nitrogenada, com e sem Inoculação de Sementes, na Cultura da Soja. **Revista FAZU**, n.10, p. 8-12, 2013

SANTOS, E. R.; BORGES, P. R. S.; SIEBENEICHLER, S. C.; CERQUEIRA, A. P.; PEREIRA, P. R. Crescimento e teores de pigmentos foliares em feijão-caupi cultivado sob dois ambientes de luminosidade. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 4, p. 14-19, 2011.

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina, PR: Mecenias, v. 1. p.314, 2009.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R de C.; REIS, M. S. Melhoramento da Soja. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: ed. UFV, p. 553-604, 2005.

SILVA, F. DE A. S.; AZEVEDO, C. A. V. **Principal Components Analysis in the Software Assisat-Statistical Attendance**. In: **WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE**, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers. 2009.

SILVA D.K.T.; DANOS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; TERUYO IDO; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOEHLER, H.S.; OLIVEIRA, R.A. Análise de crescimento em cultivares de cana-de-açúcar em cana-soca no noroeste do Paraná na safra de 2002/2003. **Scientia Agraria**, v. 6, n.1-2, p. 47-53, 2005.

SOUZA, L. L. **A Logística da Soja na Fronteira Agrícola Norte e Nordeste**. Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial. Piracicaba, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed,2004, p.722p.

TAVARES, L. C; RUFINO, C. A.; TUNES, L. M.; BARROS, C, S. A. Rendimento e qualidade de sementes de soja de alto e baixo vigor submetidas ao déficit hídrico **Interciencia**, v. 38, n. 1, p. 73-80, 2013.

TURNER, N. C. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants.In: MUSSELL. H & STAPLES, R. C. **Stress Physiology in Crop Plants**. New York: John Wiley & Sons, p. 343-372, 1979.

THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja.**Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 9, p. 1389-1396, 1994.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, p.104. 1955.

TRAUTMANN, R. R. Disponibilidade de boro para a cultura da soja em resposta a doses e fontes do nutriente e potencias de água do solo. 2008. 81f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) –Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

VALADAO JÚNIOR, D. D.; BERGAMIN, A. C.; VENTUROSOS, L.R.; SCHLINDWEIN, J.A.; CARON, B.O.; SCHMIDT, D. Adubação fosfatada na cultura da soja em Rondônia. **Scientia Agraria**, v. 09, n. 03, p. 369-375, 2008.

VALNIR JÚNIOR, M.; COSTA, R. N. T.; AGUIAR, J. V.; Análise de componentes do balanço hídrico em cultura de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), sob condições de recarga hídrica natural. **Irriga**, v. 6, n. 3, p. 1-13. 2001.

VIEIRA JÚNIOR, P. A.; DOURADO NETO, D.; SMIDERLE, O. J.; CICERO, S. M. Efeitos de métodos de irrigação sobre a produção e a qualidade de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 20, n. 1, p. 100-105, 1998.

ZABOT, L. **Caracterização agronômica de cultivares transgênicas de soja cultivadas no Rio Grande do Sul**. 2009. 280 f. Teses (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.