



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**ABELARDO LOPES AMARAL NETO**

**MANEJO DA LÂMINA E SUPRESSÃO DA IRRIGAÇÃO E DA FREQUÊNCIA DE  
FERTIRRIGAÇÃO POTÁSSICA NA CULTURA DA SOJA**

**FORTALEZA**

**2017**

ABELARDO LOPES AMARAL NETO

MANEJO DA LÂMINA E SUPRESSÃO DA IRRIGAÇÃO E DA FREQUÊNCIA DE  
FERTIRRIGAÇÃO POTÁSSICA NA CULTURA DA SOJA

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo.

Coorientadora: Profa. Dra. Denise Vieira Vasconcelos.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

A512m    Amaranal Neto, Abelardo Lopes.  
          Manejo da lâmina e supressão da irrigação e da frequência de fertirrigação potássica na cultura da soja /  
          Abelardo Lopes Amaranal Neto. – 2017.  
          75 f. : il. color.

          Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-  
          Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2017.

          Orientação: Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo.

          Coorientação: Profa. Dra. Denise Vieira Vasconcelos.

          1. Glycine max. 2. Quimificação. 3. Gotejamento. I. Título.

CDD 630

---

ABELARDO LOPES AMARAL NETO

MANEJO DA LÂMINA E SUPRESSÃO DA IRRIGAÇÃO E DA FREQUÊNCIA DE  
FERTIRRIGAÇÃO POTÁSSICA NA CULTURA DA SOJA

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovada em: 03/11/2017.

BANCA EXAMINADORA

---

Professor Dr. Benito Moreira de Azevedo (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Pesquisador Dr. Guilherme Vieira Bomfim  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Pesquisador Dr. Paulo Fernando de Melo Jorge Vieira  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

---

Professora Dra. Denise Vieira Vasconcelos  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA)

---

Professor Dr. Carlos Newdmar Vieira Fernandes  
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

Ao meu amigo Benito, pela amizade, pela  
inspiração, pelo companheirismo há 17 anos e  
pela orientação, não só acadêmica, mas,  
sobretudo, pelos ensinamentos de vida.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará, por minha formação e pelas condições oferecidas para a realização do curso;

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Funcap), pela concessão da bolsa de estudo para a realização deste trabalho;

Ao meu orientador, Prof. Benito, pela orientação e ensinamentos de vida;

Ao amigo, Guilherme Vieira Bomfim (mestre Gui), pela amizade e pela imensurável ajuda intelectual, tornando esse trabalho mais leve e objetivo;

Aos Professores e Estudantes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela harmoniosa convivência e ensinamentos durante o curso;

Aos membros da banca, pelas valiosas contribuições para que tornasse esta tese mais refinada e qualificada;

Ao pesquisador, Dr. Paulo Fernando de Melo Jorge Vieira, da Embrapa Meio-Norte, pelas valiosas dicas no que diz respeito à cultura da soja, bem como a disponibilização das sementes, meus sinceros agradecimentos;

Ao Amigo, Márcio Davi, pela amizade firmada no curso de doutorado e, sobretudo, pela grande ajuda e aconselhamentos técnicos durante os experimentos;

Aos meus pais e meus irmãos, por tudo que sou e por não terem me deixado faltar nada, sempre precisei, e principalmente, pelo apoio psicológico;

Em especial, à minha esposa, Wilma Félix Campêlo, pela compreensão, dedicação, paciência e amor oferecidos a minha pessoa;

À minha filha Winy e ao meu filho Wirton, responsáveis pela razão da minha vida, por me ensinarem que existe o amor sublime e incondicional;

Aos meus sogros, Cap. Félix e D. Nena, e à minha cunhada Wirna, por todo auxílio, carinho e disposição para com meus filhos, permitindo-me dedicação aos estudos;

À amiga, Denise Vieira Vasconcelos, pela amizade contínua desde o primeiro dia da nossa graduação e pela sua contribuição na minha pesquisa;

À bolsista e agora mestranda, Suane Brasil, por toda ajuda durante toda fase experimental, que com sua calma e paciência me deixava mais tranquilo e seguro;

Aos funcionários Ricardo e Weverton, pela mão-de-obra estritamente necessária. Assim como às colegas Gigi, Luana e Emanuelle, pela excelente força-tarefa na colheita;

Aos funcionários da Estação Agrometeorológica, Dona Marillac e Sr. Siqueira,  
por estarem sempre disponíveis com muita boa vontade e pela amizade adquirida no dia-a-dia;  
Enfim, a todos que participaram direta ou indiretamente, meu muito obrigado.

Que a melhor sala de aula do mundo está aos pés de uma pessoa mais velha; Que quando você está amando dá na vista; Que ter uma criança adormecida em seus braços é um dos momentos mais pacíficos do mundo (SHAKESPEARE, [15--?]).

## RESUMO

Em sistemas de produção modernos, como o da cultura da soja, o que se deseja é maximizar a eficiência de utilização dos insumos de produção para se alcançar altas produtividades e redução de custos de forma sustentável. Para atingir esse objetivo, principalmente em regiões caracterizadas pela escassez de recursos hídricos, a exemplo do estado do Ceará, são imprescindíveis o uso de sistemas de irrigação mais eficazes e a adoção de um eficiente manejo hídrico e nutricional da cultura. Portanto, o objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos de lâminas de irrigação, de momentos de supressão da irrigação e de frequências de fertirrigação potássica na cultura da soja, nas condições edafoclimáticas do Ceará. Os experimentos foram realizados na área experimental da Estação Agrometeorológica, da Universidade Federal do Ceará, no município de Fortaleza, Ceará. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições para o experimento com lâminas de irrigação. Para os demais experimentos, contou-se com cinco tratamentos e quatro repetições. No primeiro experimento, os tratamentos foram lâminas de irrigação correspondentes a seis percentuais de evapotranspiração da cultura (ETc): 25; 50; 75; 100; 125; e 150% da ETc durante o ciclo. No segundo experimento, os tratamentos foram cinco momentos de supressão da lâmina de irrigação: 50; 60; 70; 80; e 90 dias após o plantio. No terceiro experimento, os tratamentos foram cinco frequências de fertirrigação potássica: 2;4;8; 16; e 32 fertirrigações com a dose recomendada por ciclo. As variáveis respostas analisadas foram: altura da planta; altura da primeira vagem; número de vagens por planta; diâmetro do caule; massas frescas e secas da parte aérea; e produtividade dos grãos. De acordo com os resultados, a lâmina de irrigação estimada com 150% da ETc maximiza a produtividade dos grãos. Os momentos de supressão da irrigação influenciam o número de vagem por planta, mas sem interferir na produtividade dos grãos. As frequências de fertirrigação potássica não interferem nos componentes de rendimento dos grãos.

**Palavras-chave:** *Glycine max.* Quimigação. Gotejamento.

## ABSTRACT

In modern production systems, such as soybean production, one wants to maximize the efficiency of using the production inputs to achieve high productivity and cost reduction in a sustainable way. To achieve this goal, especially in regions characterized by scarcity of water resources, such as the state of Ceará, the use of more efficient irrigation systems and the adoption of efficient water and nutritional management of the crop are essential. Therefore, the objective of this work was to study the effects of irrigation slides, irrigation suppression moments and potassium fertirrigation frequencies in the soybean crop, under the edaphoclimatic conditions of Ceará. The experiments were carried out in the experimental area of the Agrometeorological Station, Federal University of Ceará, in the city of Fortaleza, Ceará. The experimental design was a randomized block design, with six treatments and four replications for the experiment with irrigation slides. For the other experiments, five treatments and four replications were used. In the first experiment, treatments were irrigation slides corresponding to six percent crop evapotranspiration (ETc): 25; 50; 75; 100; 125; and 150% of ETc during the cycle. In the second experiment, the treatments were five moments of suppression of the irrigation blade: 50; 60; 70; 80; and 90 days after planting. In the third experiment, the treatments were five frequencies of potassium fertirrigation: 2; 4; 8; 16; and 32 fertirrigations at the recommended dose per cycle. The analyzed variables were: height of the plant; height of the first pod; number of pods per plant; stem diameter; fresh and dry pasta of the aerial part; and grain yield. According to the results, the irrigation depth estimated with 150% of ETc maximizes grain yield. The moments of suppression of irrigation influence the number of pods per plant, but without interfering with the yield components. The frequency of potassium fertirrigation does not interfere with the yield components of the grains.

**Keywords:** *Glycine max.* Quimigação. Drip.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Vista aérea da Estação Agrometeorológica, com destaque da área destinada aos experimentos, Fortaleza, Ceará, 2017 .....	39
Figura 2 –	Área experimental subdividida para os três experimentos, Fortaleza, Ceará, 2017 .....	41
Figura 3 –	Disposição do sistema de irrigação instalado na área experimental, Fortaleza, Ceará, 2017 .....	42
Figura 4 –	Medição da altura da planta e da altura da primeira vagem da soja, Fortaleza, Ceará, 2017 .....	47
Figura 5 –	Medição do diâmetro do caule da soja, Fortaleza, Ceará, 2017 .....	47
Figura 6 –	Aferição da massa fresca da parte aérea da soja, Fortaleza, Ceará, 2017 .....	48
Figura 7 –	Aferição da massa seca da parte aérea da soja, Fortaleza, Ceará, 2017 .....	48
Figura 8 –	Altura da planta (AP) de soja, em função da lâmina de irrigação (L), Fortaleza, Ceará, 2017 .....	51
Figura 9 –	Altura de inserção da primeira vagem (AV) na soja, em função da lâmina de irrigação (L), Fortaleza, Ceará, 2017 .....	52
Figura 10 –	Número de vagens por planta (NVP) de soja, em função da lâmina de irrigação (L), Fortaleza, Ceará, 2017 .....	52
Figura 11 –	Massa fresca (MF) da parte aérea das plantas de soja, em função da lâmina de irrigação (L), Fortaleza, Ceará, 2017 .....	53
Figura 12 –	Massa seca (MS) da parte aérea das plantas de soja, em função da lâmina de irrigação (L), Fortaleza, Ceará, 2017 .....	54
Figura 13 –	Produtividade dos grãos (PROD) de soja, em função da lâmina de irrigação (L), Fortaleza, Ceará, 2017 .....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Dados médios mensais das variáveis meteorológicas durante os experimentos, Fortaleza, Ceará, 2016 .....	40
Tabela 2 –	Análise físico-química da camada de solo de 0-20 cm, Fortaleza, Ceará, 2015 .....	40
Tabela 3 –	Coeficiente da cultura para cada estágio de desenvolvimento da soja, Fortaleza, Ceará, 2017 .....	43
Tabela 4 –	Alubos aplicados por hectare, Fortaleza, Ceará, 2016 .....	44
Tabela 5 –	Alubos aplicados por hectare, Fortaleza, Ceará, 2015 .....	45
Tabela 6 –	Alubos aplicados por hectare, Fortaleza, Ceará, 2015 .....	45
Tabela 7 –	Resumo da análise de variância para: altura da planta (AP), altura da primeira vagem (AV), diâmetro do colmo (DC), massa fresca da parte aérea (MF), massa seca da parte aérea (MS) e produtividade dos grãos (PROD) de soja, em função dos tratamentos com lâminas de irrigação, Fortaleza, Ceará, 2017 .....	50
Tabela 8 –	Eficiência do uso da água em função do volume total de água aplicado por hectare .....	56
Tabela 9 –	Resumo da análise de variância para: altura da planta (AP), altura da primeira vagem (AV), diâmetro do colmo (DC), massa fresca da parte aérea (MF), massa seca da parte aérea (MS) e produtividade dos grãos (PROD) de soja, em função dos tratamentos com supressões de irrigação, Fortaleza, Ceará, 2017 .....	56
Tabela 10 –	Valores médios das variáveis: altura da planta (AP), altura da primeira vagem (AV), diâmetro do colmo (DC), massa fresca da parte aérea (MF), massa seca da parte aérea (MS) e produtividade dos grãos (PROD) da soja, em função dos tratamentos com supressões de irrigação, Fortaleza, Ceará, 2017 .....	57
Tabela 11 –	Eficiência do uso da água em função do volume total de água aplicado por hectare .....	59
Tabela 12 –	Resumo da análise de variância para: altura da planta (AP), altura da primeira vagem (AV), diâmetro do colmo (DC), massa fresca da parte aérea (MF), massa seca da parte aérea (MS) e produtividade dos grãos	

	(PROD) de soja, em função dos tratamentos com frequências de fertirrigação potássica, Fortaleza, Ceará, 2017 .....	60
Tabela 13 –	Valores médios das variáveis: altura da planta (AP), altura da primeira vagem (AV), diâmetro do colmo (DC), massa fresca da parte aérea (MF), massa seca da parte aérea (MS) e produtividade dos grãos (PROD) de soja, em função dos tratamentos com frequências de fertirrigação potássica, Fortaleza, Ceará, 2017 .....	60

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA .....	16
2.1	A cultura da soja .....	16
2.2	Importância e utilização .....	19
2.3	Agricultura irrigada .....	21
2.4	Deficiência hídrica .....	23
2.5	Manejo de irrigação .....	28
2.5.1	<i>Lâmina de irrigação</i> .....	32
2.5.2	<i>Supressão da irrigação</i> .....	33
2.6	Manejo da adubação .....	34
2.6.1	<i>Potássio</i> .....	34
2.7	Quimigação .....	35
2.7.1	<i>Fertirrigação</i> .....	37
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	39
3.1	Localização dos experimentos .....	39
3.2	Clima da região .....	39
3.3	Solo da área experimental .....	40
3.4	Área experimental .....	41
3.5	Delineamento experimental .....	41
3.6	Cultivar, preparo do solo, plantio e tratos culturais .....	41
3.7	Sistema de irrigação .....	42
3.8	Manejo da irrigação .....	43
3.9	Experimentos .....	44
3.9.1	<i>Lâmina de irrigação</i> .....	44
3.9.2	<i>Supressão da irrigação</i> .....	44
3.9.3	<i>Frequência de fertirrigação potássica</i> .....	45
3.10	Variáveis analisadas .....	46
3.11	Eficiência de uso da água .....	49
3.12	Análise estatística .....	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	50
4.1	Experimento 1: lâmina de irrigação .....	50

4.1.1	<i>Eficiência de uso da água</i> .....	55
4.2	<b>Experimento 2: supressão da irrigação</b> .....	56
4.2.1	<i>Eficiência de uso da água</i> .....	59
4.3	<b>Experimento 3: frequência de fertirrigação potássica</b> .....	60
5	<b>CONCLUSÕES</b> .....	63
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	64

## 1 INTRODUÇÃO

O contínuo crescimento da população mundial exige que a agricultura seja competitiva e tecnificada, possibilitando a produção de alimentos de melhor qualidade e em maior quantidade. Na região Nordeste do Brasil, em especial, no Ceará, a agricultura irrigada vem viabilizando a produção agrícola para suprir a demanda por alimentos. Nesse âmbito, ganha destaque os setores de fruticultura, horticultura e grãos.

Nesse último setor, a cultura da soja está ganhando espaço no Nordeste, principalmente nos estados da Bahia, Maranhão e Piauí, onde se concentra a maior parte da produção. Hoje, cinco estados localizados na Região Centro-Sul do Brasil (Mato Grosso, Rio Grande do Sul, Paraná, Goiás e Mato Grosso do Sul) concentram 75% da área cultivada com soja (25,8 milhões de hectares) e 77% da produção nacional (79,25 milhões de toneladas), conforme dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2017).

Apesar de a agricultura ter apresentado grandes avanços no que diz respeito à eficiência e competitividade, é necessário o aprimoramento dessas técnicas no sentido de maximizar e otimizar o uso dos recursos disponíveis. A manutenção do rendimento das culturas, sob circunstâncias ambientais adversas, é provavelmente o principal desafio da agricultura moderna. Logo, é necessário entender as adaptações contrastantes das plantas para crescer em condições ótimas e de estresse, além das adaptações fisiológicas, bioquímicas e moleculares desenvolvidas por elas (LIZANA *et al.*, 2006).

O manejo correto da irrigação apresenta-se como importante aliado na busca por melhores índices de produtividade, sem exaurir os recursos naturais disponíveis, principalmente, a água, que vem se tornando cada vez mais escassa. Com isso, estratégias que levem ao consumo apenas dos insumos necessários ao bom desenvolvimento das culturas são de grande valia, para que seja possível tornar a agricultura irrigada uma prática lucrativa e autossustentável.

As respostas da planta ao ambiente restritivo levam à diminuição na produtividade, atuando como um importante fator limitante à fotossíntese. Deve-se, então, buscar conhecimentos sobre cultivares com características agronômicas desejáveis, aliadas a uma alta eficiência no uso da água, fator de grande importância para regiões suscetíveis à seca (LOBO, 2013).

Desta forma, estudos sobre lâminas de irrigação permitem avaliar o desempenho produtivo das culturas, bem como obter informações acerca de suas necessidades hídricas dentro das especificações edafoclimáticas de cada região, no intuito de aprimorar o manejo da

irrigação, aperfeiçoando o rendimento agrônômico e financeiro das culturas agrícolas (SILVA; ASSIS JÚNIOR; NESS, 2004).

Em qualquer sistema de produção o que se deseja é otimizar o emprego dos recursos, para se alcançar altas produtividades e redução dos custos de produção de maneira sustentável. Para tanto, o uso de sistemas de irrigação mais eficientes e o correto manejo da irrigação e da adubação são imprescindíveis.

No caso da soja, a irrigação é fundamental para suprir as necessidades hídricas da cultura, principalmente a partir do período reprodutivo. Especialmente no Ceará, a produção só será viabilizada pela disponibilidade de água no momento adequado, via irrigação. Isso pode ser extremamente proveitoso para a pesquisa, pois produzir a cultura em baixas latitudes pode possibilitar redução do ciclo.

A quimigação, quando realizada por meio do sistema de irrigação por gotejamento, é uma ótima forma de aplicação de nutrientes em culturas cujo molhamento foliar pode intensificar a proliferação de doenças, como é o caso da soja. Essa técnica pode proporcionar redução de custos, menor desperdício de água, maximização da produção, melhor aproveitamento do adubo e diminuição de impactos ambientais negativos.

A fertirrigação permite manter a disponibilidade de água e nutrientes próxima dos valores considerados ótimos ao crescimento e à produtividade da cultura. Sendo assim, a quantidade de nutrientes, parcelada ou não, deve ajustar-se às necessidades da cultura ao longo das fases de desenvolvimento.

O potássio tem grande destaque na cultura da soja, sendo o mesmo responsável por melhorar a germinação da planta, vigor e qualidade, além de aumentar a resistência à pragas e doenças.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de lâminas e momentos de supressão da irrigação, e de frequências de adubação potássica sobre o crescimento e produção da soja cultivada nas condições edafoclimáticas do estado do Ceará.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo são apresentados os aspectos teóricos da tese.

### 2.1 A cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.), Merrill) é uma leguminosa originada da China, de ciclo anual (90 a 160 dias) cultivada há milhares de anos. Tem seu cultivo realizado mundialmente devido ao fato de seu grão ser a principal fonte de óleo comestível e a ampla utilização do farelo na formulação de ração, além da sua elevada produção de proteína por hectare (MENEGATTI, 2006). A soja foi introduzida no Brasil pelo estado do Rio Grande do Sul por volta de 1960. Até meados de 1970, cerca de 80% da produção nacional de soja concentravam-se na região Sul.

A soja é uma leguminosa herbácea anual cujo alto teor de óleo e proteína de seus grãos e sua fácil adaptação a diversos tipos de clima e fotoperíodo, devido a suas inúmeras variedades, a colocam entre as principais oleaginosas do mundo, sendo entre elas a mais cultivada (BARRETO, 2004).

A cultura da soja apresenta características morfológicas que podem variar com a cultivar, assim como podem ser influenciadas pelo ambiente como a altura da planta, que varia de 30 a 200 cm (NEVES, 2011).

O sistema radicular da soja concentra-se, em sua maioria, na camada de 0-20 cm (AZEVEDO *et al.*, 2007). De acordo com Teruel *et al.* (2001), os sistemas radiculares das culturas possuem estrutura geométrica extremamente complexa, além de plasticidade, que é a habilidade de mudar sua configuração em reação ao ambiente físico, químico e biológico do solo. O sistema radicular da soja é constituído por uma raiz principal pivotante, com ramificações ricas em nódulos de bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico (NEVES, 2011).

A parte aérea é constituída de um caule principal ou haste principal, com ausência ou presença de ramificações primárias, raramente secundárias (CÂMARA, 2014). Segundo o autor, quando jovem, observam-se, da base para o ápice da haste principal da planta de soja as seguintes estruturas vegetativas: um par de cotilédones inseridos de forma oposta, seguido de um par de unifólios, também de inserção oposta, que são sucedidos por folhas trifolioladas com inserção simples e alterna, em número variável, de acordo com o cultivar. Nas ramificações vegetativas a planta emite exclusivamente folhas trifolioladas, sendo que as

dimensões foliares dependem do vigor da planta (SEDIYAMA, 2009). Todas as estruturas vegetativas encontram-se inseridas nas regiões dos nós (CÂMARA; HEIFFIG, 2000). O desenvolvimento é dependente do tipo de crescimento, sendo que na maioria das cultivares o crescimento é ortótropo, podendo sofrer influência das condições externas (NEVES, 2011).

Existem dois tipos básicos de crescimento de plantas de soja: as com tipo de crescimento determinado (TCD), que paralisam por completo o crescimento vegetativo com o início do florescimento, e as com tipo de crescimento indeterminado (TCI) que, a partir do início do florescimento, continuam o crescimento vegetativo simultaneamente ao desenvolvimento dos estádios reprodutivos de floração, frutificação e início da granação (CÂMARA, 2014). Nas cultivares de crescimento determinado a gema terminal transforma-se em uma inflorescência terminal. Já nas cultivares cujo crescimento é do tipo indeterminado, o caule continua a crescer após o florescimento (SEDIYAMA, 2009).

As flores são completas e axilares ou terminais, variando de 2 a 35 por racemo, do tipo papilionada, brancas, amarelas ou violáceas, segundo a cultivar (NEVES, 2011). É uma espécie autógama e manifesta cleistogamia, ou seja, autopolinização antes da antese (PEREIRA *et al.*, 2012). No período anterior à abertura floral, as anteras liberam os grãos de pólen que caem no estigma da mesma flor (CARLSON; LERSTEN, 2004). Insetos, principalmente abelhas, podem transportar o pólen e realizar a polinização de flores de diferentes plantas, mas a taxa de fecundação cruzada, em geral, é menor que 1% (GAVA, 2014).

Os frutos, do tipo vagem, são achatados, levemente arqueados, peludos, formados por duas valvas de um carpelo simples, curtos, medindo de 2 a 7 cm de comprimento, de cor cinzenta, amarelo-palha ou preta com número de grãos variando de 1 a 5 por vagem, mas a maioria das cultivares contendo 2 a 3 sementes (BORÉM, 2005; SEDIYAMA, 2009).

As sementes de soja têm aparência típica de uma semente de leguminosa, é composta por um tegumento, normalmente liso, lustro e brilhante, por um tecido de reserva, representado por dois cotilédones, e pelo eixo embrionário, dividido em duas partes: radícula e caulículo; este último divide-se em duas porções: hipocótilo e epicótilo, baseando-se na inserção dos cotilédones, no seu ápice encontram-se ainda uma gema apical chamada gêmula ou plúmula. No tegumento encontra-se o hilo e em sua extremidade a micrópila e abaixo desta, o hipocótilo (MÜLLER, 1981).

A espécie cultivada hoje pertence à divisão das Angiospermas, classe Dicotyledoneae, ordem Rosales, família Leguminosae, subfamília Papilionoideae, gênero *Glycine* e espécie *Glycine max* (L.) Merrill (ZANON, 2007).

A soja se destaca de outras oleaginosas em relação à composição química. Em média, ela contém 40% de proteína e 20% de lipídeos, o que a torna a cultura entre as leguminosas com o maior teor proteico e o segundo maior teor de gordura, superado somente pelo amendoim que possui 48% de lipídeos (BORRMANN, 2009). Esses teores de proteína e óleo em sementes de soja determinam seu valor comercial. O farelo de soja destinado à exportação é classificado em três categorias de acordo com seu conteúdo de proteína: HyPro (>48%), Normal (46%) e LowPro (<43,5%). Para atingir o índice classificado como Normal e HyPro, a soja deve conter acima de 41,5 e 43% de proteína nas sementes, respectivamente, com base na matéria seca (MORAES *et al.*, 2006).

As cultivares brasileiras apresentam grande diversidade nos seus ciclos, que variam entre 100 e 160 dias, podendo ser classificados em grupos de maturação como sendo, precoce, semiprecoce, médio, semitardio e tardio, dependendo da região (GAVA, 2014).

De acordo com Conab (2017), a área plantada com soja no Brasil na safra 2016/2017 foi de 33.888,7 mil hectares, valor 8,15% superior em relação à safra 2014/2015, 31.334,9 mil hectares. Na região norte-nordeste, esse incremento ocorreu em todos os estados produtores dessa oleaginosa, com destaque para o Tocantins. O estado do Tocantins figura entre os principais produtores de soja no Brasil. Segundo dados da Conab (2017), no estado a área cultivada com soja na safra 2016/2017 foi de 693,8 mil hectares com produção de 2.048,1 mil toneladas e produtividade média de 2.952 kg ha<sup>-1</sup>. O estado é o maior produtor da região norte, tendo apresentado um incremento de 51,4% na produção. Mas, segundo Lombardi Neto e Drugowich (1994), a capacidade de produção das terras agricultáveis no Brasil vem diminuindo ao longo dos anos devido ao manejo não adequado.

A água constitui aproximadamente 90% do peso da planta, atuando em, praticamente, todos os processos fisiológicos e bioquímicos. A disponibilidade de água para a cultura é importante, principalmente, em dois períodos de desenvolvimento da soja: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos, sendo que, no primeiro período, tanto o excesso quanto o déficit de água são prejudiciais à obtenção de uma boa uniformidade na população de plantas. A necessidade de água na cultura da soja vai aumentando com o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo durante a floração-enchimento de grãos, decrescendo após esse período (EMBRAPA, 2008).

De acordo com Bataglia, Mascarenhas e Miyasaka (1977), o acúmulo de matéria seca na parte aérea da soja cresce em pequenas taxas até o florescimento, e a partir desse ponto torna-se bastante elevado até o início de formação das vagens. Observa-se que mais da

metade da matéria seca acumulada pela cultura da soja, é produzida após o florescimento, o que leva a se considerar esse período como crítico.

A faixa de temperatura para qual a soja se adapta bem está entre 20 °C e 30 °C, sendo a temperatura ideal para seu crescimento e desenvolvimento em torno de 30 °C. Temperaturas menores ou iguais a 10 °C tornam o crescimento vegetativo da soja pequeno ou nulo e acima de 40 °C têm efeito adverso na taxa de crescimento, provocando distúrbios na floração e diminuindo a capacidade de retenção de vagens. Esses problemas são acentuados com a ocorrência de déficits hídricos (EMBRAPA, 2008).

## **2.2 Importância e utilização**

Trata-se de uma das leguminosas mais importantes do mundo e no cenário mundial o Brasil se destaca o segundo maior produtor deste grão, além de maior exportador mundial, sendo para este ano estimadas 46,77 milhões de toneladas para exportação, segundo Conab (2015), razão pela qual esta é uma das culturas de maior importância econômica para o País (EMBRAPA, 2008).

A cultura tem evoluído muito na produção nos últimos anos, devido à expansão da fronteira agrícola e da procura no mercado. O aumento da demanda da soja a nível mundial ocorreu devido diversos fatores como: diversificação das formas de consumo, uso nas indústrias farmacêutica e siderúrgica, condições de cultivo e a boa remuneração para o produtor quando comparado com outras oleaginosas, o que gera cada vez mais vantagens competitivas de preços aos consumidores e expansão do mercado mundial (VALARINI; KUWAHARA, 2007).

Na alimentação animal pode ser fornecida na forma de feno, silagem, farelo e torrada. O óleo de soja pode ser utilizado também como fonte de biodiesel, uma alternativa para diminuição da dependência dos derivados de petróleo, abrindo um novo mercado para a oleaginosa, com excelentes perspectivas econômicas e amplos benefícios ambientais (DORNELES *et al.*, 2011). Segundo Buainain e Garcia (2015), com uma produtividade média de 600 kg de óleo por hectare, estima-se que a soja é responsável por 70% a 80% do biodiesel produzido no país. A soja também pode ser utilizada como adubo verde, por ser uma leguminosa fixadora biológica de nitrogênio. De acordo com Borrmann (2009), a cultura da soja tem características agrônômicas favoráveis, incluindo boa capacidade de adaptação a uma ampla variedade de solos e climas e a habilidade em fixar nitrogênio da atmosfera, em

simbiose com bactérias, o que a torna uma ótima opção de rotação com outras culturas que necessitam de altas concentrações de nitrogênio, como o milho e o arroz.

O complexo soja contribui expressivamente para o equilíbrio da balança comercial brasileira (FARIAS *et al.*, 2001). Os autores afirmam que a contribuição indireta da cultura da soja na movimentação da economia brasileira, embora, não tão facilmente mensurável, é de vital importância para o desenvolvimento do país, seja pela geração de empregos ou pela adição de valor à soja industrializada. Entretanto, a imprevisibilidade das variações climáticas confere à ocorrência de adversidades climáticas, o principal fator de risco e de insucesso no cultivo de soja. O bom desempenho do agronegócio brasileiro da soja pode estar estreitamente relacionado com inovações tecnológicas desenvolvidas para o cultivo da soja no país, com destaque para programas de melhoramento de soja no Brasil, que pode ser verificado por meio de centenas de cultivares disponibilizados aos agricultores (KIIHL; CALVO, 2008). Esses programas de melhoramento vêm desenvolvendo novos cultivares com alta estabilidade, adaptabilidade, com características agronômicas desejáveis e alta produtividade de grãos para todas as regiões produtoras (COSTA, 2013). Entretanto, o efeito das variações climáticas com destaque para as flutuações nas precipitações pluviais, que é considerado como o principal fator responsável pelas oscilações observadas entre localidades, ou em uma mesma localidade, de ano para ano, tem causado efeitos negativos na produtividade da soja.

Além das diversas formas de utilização dos grãos de soja já mencionadas, tanto no Brasil como no resto do mundo, a principal utilização da soja, é como matéria-prima para a indústria de esmagamento, que produz óleo e farelo, sendo o óleo, o líder mundial em consumo se comparado com outros óleos vegetais, representando entre 20 e 24% de todos os óleos e gorduras consumidas (MOREIRA, 1999). No Brasil este número se eleva acima de 50% em produtos alimentícios como: lecitina de soja, óleo alimentício, margarina, gorduras emulsionadas, leite de soja, queijo de soja, molho de soja e as proteínas vegetais texturadas (PVT) que são bastante utilizadas em substituição da carne (BERTRAND; LAURENT; LECLERCQ, 1987).

A maioria das cultivares de soja apresenta de 30 a 45% de proteínas, 15 a 25% de óleo (SOUZA *et al.*, 2009). Porém, fatores genéticos e ambientais afetam a composição química dos grãos, alterando os conteúdos de proteína e óleo, que são compostos determinantes da qualidade da soja (RODRIGUES *et al.*, 2010).

Embora exista variabilidade genotípica para composição de óleo e de proteínas, tem sido difícil melhorar essas características por meio do melhoramento de plantas, devido à

correlação negativa existente entre óleo e proteínas e a consistente relação inversa entre produtividade de grãos e concentração de proteínas (BURTON, 1985).

Historicamente, a soja foi melhorada geneticamente com intuito de aumentar a produtividade e o conteúdo de óleo nos grãos (TRZECIAK, 2012). Porém, alguns programas de melhoramento de qualidade da soja têm obtido uma série de linhagens de soja com elevados teores de proteínas (maiores que 45%), e com alto potencial produtivo. Entretanto, estes materiais quando submetidos a diferentes condições de plantio, apresentam variações no seu conteúdo proteico (GONÇALVES *et al.*, 2007; SOARES, 2004).

### **2.3 Agricultura irrigada**

O aumento da população mundial tem exigido, da agricultura, cada vez mais eficiência e competitividade. Para uma produção sempre crescente de alimentos, a alternativa está na produção agrícola sob irrigação, que tem possibilitado um número maior de safras por ano (PAZ; TEODORO; MENDONÇA, 2000). Porém, de acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2013), o setor agrícola é responsável pela maior parte do uso consuntivo da água no Brasil, ou seja, é o que mais retira água de mananciais, sendo a agricultura irrigada responsável por aproximadamente 69% desse consumo (ANA, 2014).

De acordo com Bevilacqua, Bastos e Lanna (2006), atualmente, a agricultura depende do suprimento de água a um nível tal que a sustentabilidade da produção de alimentos não poderá ser mantida sem que critérios inovadores de gestão sejam estabelecidos e implementados em curto prazo. Entretanto, em regiões com baixa disponibilidade hídrica, a irrigação assume papel primordial no desenvolvimento dos arranjos produtivos. Embora aumente o uso da água, aumenta substancialmente a produtividade e o valor da produção, diminuindo a pressão pela incorporação de novas áreas para cultivo (ANA, 2013).

A ampliação das áreas irrigadas caracteriza-se como potencial redutora das pressões sobre a fronteira agrícola (RICCI, 2010). Christofidis (2007) afirma que o incremento de métodos de irrigação em terras destinadas à agricultura representa ganhos significativos em termos de produtividade. De acordo com o autor, de toda a produção agrícola colhida anualmente no mundo, 82% é de sequeiro e 18% é irrigada, porém a produção dessas áreas representa, respectivamente, 58 e 42%. Esses dados reforçam a necessidade de desenvolvimento e inserção efetiva de novas tecnologias no setor, tendo como objetivo a sustentabilidade dos recursos hídricos. Por conseguinte, pode-se pensar na manutenção da oferta de alimentos (RICCI, 2010).

Além disso, na agricultura irrigada, há que se considerar, ainda, que as perspectivas envolvem produtividade e rentabilidade, com eficiência no uso da água, da energia e de insumos e respeito ao meio ambiente (RICCI, 2010).

Nesse sentido, a evolução tecnológica dos sistemas de irrigação é por si mesma insuficiente para que se vislumbrem tais perspectivas. É preciso que o irrigante conheça o momento oportuno para irrigar e a quantidade de água que deve ser aplicada em cada cultura (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2006).

Portanto, existe a necessidade de pesquisar alternativas que possibilitem uma maior eficiência à agricultura irrigada tendo em vista a demanda crescente de alimentos e a perspectiva eminente de escassez de água. Considerando que o abastecimento urbano tem prioridade no consumo de água, e que, segundo a Agência Nacional de águas (ANA, 2014), o setor rural é responsável por 83% de toda a água consumida no Brasil, sendo que, deste total, a maioria, 69% é utilizada na agricultura irrigada, ficando a indústria e o abastecimento urbano responsáveis por 7 e 10% desse consumo respectivamente, uma redução de 10% na água destinada para irrigação, seria suficiente para duplicar o consumo doméstico (STRAUSS, 2001; MANCUSO; SANTOS, 2003). Logo, o controle e a administração adequados e confiáveis dos recursos hídricos possibilitarão o manejo justo e equilibrado, preservando a sua qualidade. Sendo, portanto, imprescindível conduzir de forma racional a cultura irrigada em condições de campo, visando maximizar a eficiência do uso da água (BILIBIO *et al.*, 2010).

A elevação do rendimento de grãos em condições de deficiência hídrica tem se constituído um grande desafio para os pesquisadores, especialmente, porque, de acordo com Buttery *et al.* (1993), as variedades com maior potencial produtivo são mais sensíveis ao estresse hídrico que aquelas com menor potencial.

Há, portanto, a necessidade da busca de novas práticas de manejo que maximizem a utilização dos fatores ambientais disponíveis, sem a elevação dos custos de produção, para que o potencial de rendimento seja atingido.

Os vegetais de cultivos anuais em crescimento apresentam, ao longo de seus ciclos, diferentes estádios fenológicos, caracterizados por alterações que ocorrem na forma do organismo ou nos órgãos em que cada qual possui uma exigência diferenciada de água, visto que diferentes processos fisiológicos são prevaletes nos diversos estádios de desenvolvimento das plantas e que alguns desses são mais sensíveis que outros à redução do potencial da água nos solos e, por conseguinte, nos tecidos vegetais (GRIEU *et al.*, 2008). Logo, um manejo adequado da irrigação, requer conhecimento, não apenas da necessidade

total da água consumida pela cultura ao longo do ciclo e sim um acompanhamento minucioso de suas demandas em cada fase, levando em conta todas as ocorrências meteorológicas, posto que, o conteúdo de água adequado para suprir a demanda em um dia frio e nublado, pode tornar-se completamente inadequado em um dia quente e ensolarado. Por isso e considerando que hoje e mais ainda no futuro, a indisponibilidade de água para a irrigação será uma regra, Fereres e Soriano (2007) propuseram o conceito de irrigação deficitária, que consiste na aplicação de lâminas de água inferiores às estimadas pelas metodologias tradicionais, que determinam os requerimentos hídricos, ao longo dos distintos estádios fenológicos. Segundo os autores, essa é uma ferramenta de manejo de irrigação importante para lidar com escassos suprimentos de água, reduzir o uso de água na irrigação e com isso, maximizar a produção por unidade de água consumida, a produção por unidade de área e a produtividade da água. Toureiro, Serralheiro e Oliveira (2007) também defendem essa ideia e alegam que é necessário verificar as dotações mínimas que, mesmo períodos de “stress hídrico”, garantem bons índices de eficiência de utilização de água pela cultura com produções elevadas, próximas mesmo dos máximos potencialmente verificáveis, assegurando um nível interessante de rendimento do agricultor. Segundo os autores, o conhecimento sobre as respostas das espécies vegetais submetidas a um manejo da irrigação com déficit regulado pode ser de grande relevância, diante das condições de restrições hídricas e, sobretudo no que se refere ao aumento da eficiência no uso da água para produção de alimentos. Gava (2014) confirmou essa tendência, avaliando os efeitos do estresse hídrico em soja. Os resultados descritos pelo autor mostram que as lâminas de déficit reduziram a produtividade quando aplicadas no ciclo todo. Porém, quando aplicadas somente em subperíodos, não apresentaram diferenças significativas em relação à irrigação plena.

## **2.4 Deficiência hídrica**

A água atua em muitos processos de uma planta, desempenhando papel importante na manutenção da integridade das moléculas, das células e tecidos, na manutenção e distribuição de calor, além de características funcionais de preenchimento, meio de transporte, solvente para reações celulares e processos que permitem a entrada de gases, minerais e outros solutos nas células (EMBRAPA, 2008; MARENCO; LOPES, 2005).

O suprimento de água para uma cultura resulta de interações que se estabelecem ao longo do sistema solo-planta-atmosfera, sendo a entrada de água na célula responsável pela manutenção da turgescência, crescimento e pela forma estrutural dos tecidos (TAIZ; ZEIGER,

2013). Ferreira (1992) estima que para cada grama de matéria orgânica produzida pela planta, cerca de 500 gramas de água são absorvidas pelas raízes, transportada através do corpo da planta e perdida para a atmosfera, representando de 80 a 95% da massa dos tecidos em crescimento. Para Taiz e Zeiger (2013), as influências recíprocas entre esses componentes do sistema solo-planta-atmosfera, o tornam dinâmico e fortemente interligado, de tal forma que a condição hídrica da cultura dependerá sempre da quantidade de água disponível no solo e da demanda evaporativa, uma vez que quanto maior for a demanda evaporativa da atmosfera, mais elevada será a necessidade de fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera.

Ocorrendo a indisponibilidade de água no solo, ou esta apresentar-se em quantidade insuficiente à demanda das plantas, ou ainda quando o solo contém água disponível, mas a planta não é capaz de absorvê-la em velocidade e quantidade suficiente para atender a demanda atmosférica, estabelece-se o déficit hídrico (PEREIRA *et al.*, 1998).

O déficit hídrico é um dos principais entraves responsáveis por acarretar reduções na produtividade agrícola, sobretudo, por comprometer processos relacionados ao desenvolvimento das plantas, incluindo mudanças anatômicas, morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, sendo que as magnitudes dos efeitos estão diretamente relacionadas à sua intensidade, duração e estágio de desenvolvimento da cultura (BEZERRA *et al.*, 2003; FONTANA; BERLATO; BERGAMASCHI, 1992).

Bergamaschi *et al.* (2006) complementam afirmando que o déficit hídrico reduz a área foliar, a fotossíntese e outros processos do metabolismo, além de alterar o ambiente físico das culturas, por modificar o balanço energético do sistema. Como estratégia para reagirem a essas condições, Pimentel (2004) relata que algumas espécies reduzem o potencial hídrico interno das suas células através do acúmulo de solutos compatíveis que favorecem a absorção de água do solo, ou simplesmente fecham os estômatos nos horários de maior demanda evaporativa para manter o equilíbrio hídrico dentro da célula.

Mittler (2006) considera uma síndrome esse grupo de respostas simultâneas apresentado pelas plantas diante da falta de água. Do ponto de vista genético sabe-se que as culturas possuem um potencial máximo de produtividade, o qual é condicionado a restrições impostas pelo ambiente. A água disponível no solo é um dos fatores mais importantes na produtividade vegetal (NOGUEIRA; NAGAI, 1988). De acordo com os autores, a deficiência hídrica pode levar a planta a uma diminuição considerável na produção, mesmo em cultivares de excelente potencial genético.

Por todos esses fatores, Hamdy, Ragab e Scarascia-Mugnozza (2003) enfatizam que o déficit hídrico é atualmente o principal fator ambiental que limita o crescimento e a

produtividade de plantas em todo o mundo. E alertam para a possibilidade de as mudanças climáticas globais contribuírem para que a falta de água se torne um fator de restrição ainda maior da produção em diversas áreas.

Em relação à suscetibilidade ao estresse hídrico, a soja possui extensa variabilidade genética sendo alguns genótipos capazes de tolerar estresses severos e, mesmo assim, completar o seu ciclo, enquanto outros não sobrevivem ou sofrem danos severos na sua produção.

Vivan *et al.* (2013), em estudo com vistas a estimar lâminas de irrigação suplementar e as funções de produção para a cultura da soja na microrregião de Passo-Fundo-RS, estabeleceram nove cenários para as combinações de datas de semeadura e duração de ciclo da cultura. Com base nos resultados, os autores concluíram que, para o período em estudo, em todos os cenários simulados existiu necessidade de complementação hídrica, com médias entre 163,48 e 238,6 mm, sendo observadas expressivas reduções de rendimento em decorrência do déficit de água.

A soja apresenta características de plasticidade (LIMA *et al.*, 2004), ou seja, ser capaz de realizar alterações fisiológicas, morfológicas e anatômicas, que resultam em mudanças no seu metabolismo, visando minimizar dos efeitos de estresse na sua produtividade, porém, a ocorrência de seca tem se tornado frequente, e, como boa parte da área plantada com soja utiliza cultivares de ciclo precoce, as fases de florescimento e formação das vagens tornam-se mais seriamente prejudicadas pela estiagem.

A deficiência hídrica no início do ciclo da soja provoca redução na emissão de novos ramos reduzindo de forma potencial o número de nós que iriam produzir legumes, porém, se houver melhor disponibilidade de água após o florescimento, a planta pode se recuperar parcialmente, pois, pode emitir e fixar maior número de flores nos nós para produzir legumes (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005). Kron, Souza e Ribeiro (2008), avaliando alguns aspectos fisiológicos e produtivos em plantas de soja submetidas à deficiência hídrica em diferentes estádios de desenvolvimento, confirmaram essa resposta. Os autores verificaram que a ocorrência de deficiência hídrica não-letal no estágio V4 (vegetativo) induziu uma resposta mais adequada, permitindo que as plantas desenvolvessem um mecanismo de tolerância a um segundo período de falta de água. De acordo com os autores, uma estratégia utilizada pelas plantas foi a redução do crescimento, que provavelmente relacionada à conservação de energia.

Já com boa disponibilidade de água no período vegetativo, mas com falta no florescimento e início da formação dos legumes, os autores alertam que os danos podem ser

mais severos, por se tratar o período mais sensível da planta ao déficit, pois os efeitos se darão sobre o abortamento de flores, óvulos e legumes e, posteriormente, sobre o tamanho dos grãos. Fontana *et al.* (2001) parametrizaram e validaram o modelo multiplicativo de Jensen modificado para a estimativa do rendimento da cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul e concluíram que a água é o fator isolado que mais influência exerce na definição do rendimento da soja.

Martorano (2007) também constatou os efeitos negativos do déficit hídrico na soja, simulando as condições de preparo convencional e sistema de plantio direto, irrigado e não irrigado no Rio Grande do Sul. Segundo a autora, o déficit hídrico no solo causou reduções de índice de área foliar, estatura, biomassa aérea, área foliar específica e eficiência no uso de radiação solar. Além disso, o rendimento de grãos em plantio convencional não irrigado foi de 1.559 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto o plantio direto irrigado foi de 3.816 kg ha<sup>-1</sup>. Com base em todas essas evidências, a autora concluiu que o melhor desempenho do plantio direto em relação ao plantio convencional ocorre em função da maior disponibilidade hídrica. Portanto, práticas como o plantio direto e irrigação podem contribuir para a redução das perdas de produtividade em ambientes com baixa disponibilidade de água (ZHANG; CREELMAN; ZHU, 2004; SANTANA *et al.*, 2009).

O déficit hídrico é caracterizado pela perda de água que excede a taxa de absorção e deste modo atua diretamente nas relações de água de plantas, em que os danos à planta dependem da intensidade e do período de exposição, posteriormente, promovendo mudanças na célula e as vias moleculares, assim como é relatada acumulação de solutos orgânicos, como os carboidratos e prolina (COSTA; PINHO; PARRY, 2008).

A sensibilidade de soja sob déficit hídrico pode expor as plantas a estresse ambiental no campo, em uma fase específica do ciclo, ou até mesmo durante vários estádios vegetativos e ou reprodutivos, modificando sua composição química (ALBRECHT *et al.*, 2008).

Lobato *et al.* (2008), avaliaram o comportamento bioquímico da soja submetida a seis dias de estresse hídrico, no início da fase reprodutiva, observando carboidratos solúveis totais (CST), sacarose (S), redução de carboidratos (RC), prolina (P), aminoácidos livres (AL) e total de proteínas solúveis (TPS) os mesmos observaram que houve aumento nos níveis de CST para 40%, 205% para S, 19,2% para RC, 67% para P e de 388,1% para AL além de uma redução de 20% no nível de TPS.

Atualmente os estudos sobre déficit hídrico nas plantas apontam um aumento progressivo no valor total dos carboidratos solúveis como o sorbitol, sacarose e amido, que

são extremamente solúveis e permeáveis sendo acumulados em células e desta forma melhoram a resistência das plantas, tal efeito é caracterizado como adaptação da cultura ao déficit hídrico e estudado em diversas culturas (FAGERIA, 1989; CARLESSO, 1995; FIOREZE *et al.*, 2011). O nível de sacarose é aumentado progressivamente nas plantas sob estresse hídrico, devido a biossíntese de sacarose, em que este aumento provavelmente é promovido pelo conseqüente aumento da atividade da enzima sacarose fosfato sintase que atua na célula fotossintética citosol, com a função de proteger a integridade de membranas e proteínas (HOEKSTRA; GOLOVINA; BUITINK, 2001), em condições de deficiência hídrica.

O aumento dos níveis de redução de carboidratos em plantas sob restrição de água ocorre devido aos dois acontecimentos bioquímicos que acontecem simultaneamente em plantas sob estas condições. A via de amido é o principal acontecimento bioquímico, pois o amido é degradado e esta degradação é promovida pela ação da enzima amilase (CHAVES FILHO; STACCIARINI-SERAPHIN, 2001). Além disso, existe a via de sacarose que é considerada secundária, devido à sacarose sofrer ações de enzimas invertase e deste modo liberar hexoses que podem ser utilizadas em processos anabólicos ou catabólicos e se não for utilizado podem contribuir para o acúmulo de redutores de carboidratos (CHAVES FILHO; STACCIARINI-SERAPHIN, 2001).

O processo de aumento do nível de aminoácidos livres é causado devido à elevada síntese de aminoácidos de proteínas hidrólise, em que os aminoácidos livres são utilizados pela planta para reduzir os efeitos do déficit hídrico através do acúmulo de soluto orgânico e desta forma aumentar a capacidade de retenção de água. Sob estresse hídrico, aminoácidos livres como prolina e glicinabetaina são fortemente influenciados e, conseqüentemente, mais rapidamente acumulados, bem como na forma secundária ocorre um aumento de aspartato, glutamato e alanina (RAMOS; PARSONS; SPRENT, 2005).

A redução das proteínas solúveis apresentadas nas plantas sob estresse hídrico é causada devido ao provável aumento da atividade enzimática das proteases, já que esta enzima promove a quebra das proteínas e, conseqüentemente, diminui a proteína montante apresentada na planta sob condições de estresse abiótico (TAIZ; ZEIGER, 2006). Borrmann (2009) estudando o efeito do déficit hídrico nas características químicas da cultura da soja observou que houve diferenças entre as cultivares estudadas para os teores de proteínas em plantas recém-colhidas, mostrando que algumas cultivares de soja apresentam maior tolerância à seca do que outras. A prolina é um aminoácido que desempenha um importante papel adaptativo na tolerância das plantas ao estresse, principalmente devido à sua

propriedade osmoprotetora. Durante situações de seca e alta salinidade, o seu acúmulo resulta em aumento na osmolaridade da célula, que leva ao influxo de água ou redução no efluxo e promove a manutenção do turgor necessária para a expansão celular. Ainda sob condições de estresse osmótico, a integridade de membranas deve ser mantida a fim de evitar a desnaturação proteica. A prolina interage com enzimas e outras proteínas preservando suas estruturas e atividades (SILVA *et al.*, 2012).

Ao longo dos anos as plantas desenvolveram em seu sistema evolutivo, estratégias de adaptação às adversidades climáticas como a falta de água causada por eventos ocorridos em uma estação do ano. A resposta ao estresse por meio do desenvolvimento de mecanismos de defesa é a mais crucial função da célula vegetal (NEPOMUCENO *et al.*, 2001).

Segundo Embrapa (2008), a disponibilidade da água é importante, principalmente, em dois períodos de desenvolvimento da soja: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos. Sendo que para obtenção do rendimento máximo, a necessidade de água na cultura da soja, durante todo seu ciclo, varia entre 450 a 800 mm, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração de seu ciclo. Portanto, a identificação e a compreensão dos mecanismos de tolerância à seca são essenciais no desenvolvimento de novas cultivares de soja mais tolerantes (TAVARES, 2013).

Existem duas estratégias básicas pelas quais as plantas resistem à seca: o "evitamento" e a tolerância à desidratação (LEVIT, 1972). Características de "evitamento" à desidratação atuam na manutenção do conteúdo relativo de água (CRA) em tecidos, durante o período de déficit hídrico. Plantas que apresentam a estratégia de tolerância apresentam tecidos que podem tolerar a desidratação, até certo ponto (baixo conteúdo relativo de água crítico) e, frequentemente, apresentam ajuste osmótico. A estratégia de tolerância permite às plantas manter a atividade metabólica com a evolução do déficit hídrico e declínio do CRA (LAWN; LIKOSWE, 2008). A cultura da soja apresenta tanto características de "evitamento" como de "tolerância" à desidratação (SINCLAIR; LUDLOW, 1986).

Gava (2014) afirma que a utilização de estratégias de irrigação como o déficit hídrico controlado, pode reduzir a utilização de água e energia elétrica sem prejudicar a produtividade.

## **2.5 Manejo de irrigação**

O manejo dos recursos hídricos disponíveis traduz a sustentabilidade ecológica na irrigação, que pode ser alcançada pelo uso eficiente, prevenção contra salinização e

tratamento adequado de poluentes e pesticidas (GONDIM; AGUIAR; COSTA, 2000). Jensen (1980) define manejo da irrigação como atividade de planejamento e tomada de decisão que o agricultor irrigante deve assumir durante o desenvolvimento da cultura.

Monteiro *et al.* (2006) afirmam que o manejo adequado da irrigação consiste em se aplicar água ao solo, no momento oportuno e em quantidade suficiente para atender as necessidades hídricas das culturas. Este procedimento é de fundamental importância para a obtenção de altos rendimentos com economia de água e de energia.

Bernardo, Soares e Mantovani (2006) afirmam que qualquer planejamento e operação de um projeto de irrigação em que se vise à máxima produção e a boa qualidade do produto, usando de maneira eficiente a água, requerem conhecimentos das relações entre solo-água-planta-atmosfera e manejo de irrigação.

De acordo com Pimentel (2004), o principal processo que gera o movimento da água no sistema solo-planta-atmosfera é a transpiração, pois o maior gradiente possível de potencial hídrico nesse sistema é o que existe entre a folha e a atmosfera, visto que na atmosfera, a água está no estado gasoso, podendo ocupar um menor volume que no estado líquido ou sólido. O autor explica que, com a perda de água da planta para a atmosfera e conseqüentemente uma redução do potencial hídrico da planta, que se torna mais negativo que o do solo, cria-se um gradiente para que haja o fluxo de água do solo para as raízes.

De acordo com Taiz e Zeiger (2013), os estômatos são os responsáveis pelo controle desse fluxo, que respondem às variações de potencial hídrico tanto do solo quanto da atmosfera.

Durante todo esse percurso, a água flui por um sistema de resistências hidráulicas a partir do solo, passando através da planta e, finalmente, atingindo a atmosfera (JONG VAN LIER *et al.*, 2008).

Segundo Durigon (2011), para a água ser absorvida pela raiz, primeiro é necessário superar a resistência hidráulica do solo, esta resistência é dependente das propriedades hidráulicas do solo, do teor de água e da distância a ser percorrida. Depois que a água é absorvida pelas raízes e chega aos vasos do xilema, encontra uma baixa resistência hidráulica. Já a partir do xilema, a autora explica que a água sobe depositando-se nas paredes das células mesofílicas, ainda como um líquido, depois, a água evapora, e é difusa, em forma de vapor d'água, nos espaços intercelulares das folhas até chegar à atmosfera através da epiderme e da cutícula, e/ou através de estômatos, a via cuticular tem uma alta resistência hidráulica, portanto, os estômatos são a principal via difusão do vapor de água a partir das folhas para a atmosfera. Assim, a principal limitação ao fluxo de água no solo-planta-

atmosfera se situa ao nível da absorção da água pelo sistema radicular, pois o gradiente de potencial hídrico entre o solo e a raiz são bem menores que entre a planta e a atmosfera (KRAMER; BOYER, 1995). Além da transpiração, numa superfície vegetada ocorre também o processo de evaporação da água da superfície do solo. A ocorrência desses processos simultaneamente dá origem à evapotranspiração (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Esses dois processos transferem, praticamente, toda água absorvida para a atmosfera e somente uma pequena fração é usada no interior da planta (COUTO; SANS, 2002; PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997). Por isso, o consumo de água das plantas normalmente se refere à água perdida pela evapotranspiração (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997).

Para Bernardo, Soares e Mantovani (2006), a estimativa da quantidade de água necessária para a irrigação é um dos principais parâmetros para os corretos planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação. De acordo com Mello *et al.* (1996), existem entre 50 e 60 equações baseadas em dados meteorológicos para a simulação da evapotranspiração (ET<sub>o</sub>).

As plantas, entretanto, apresentam variações em relação à demanda hídrica. De acordo com Allen *et al.* (2006), para a estimativa da evapotranspiração de uma cultura específica (ET<sub>c</sub>), faz-se necessário o cálculo da evapotranspiração uma cultura de referência (ET<sub>o</sub>), normalmente a grama, aplicando-se, posteriormente, coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) que é relacionado com características fisiológicas e morfológicas que são peculiares à cultura em questão.

Portanto, para realização do manejo da irrigação utilizando as variáveis meteorológicas, Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997) salientam que é preciso conhecer o consumo de água pelas culturas (ET<sub>c</sub>), que representa a lâmina que deve ser aplicada ao solo para manter o crescimento e a produtividade em condições ideais. Porém, como as condições climáticas variam muito entre as regiões do planeta, faz-se necessário estudos específicos para determinação mais precisa das necessidades hídricas das culturas em cada localidade. Além disso, formas de manejo que otimizem o uso dos recursos naturais de maneira que a planta expressar seu potencial sem prejuízos em termos de produtividade.

O conhecimento da demanda hídrica da cultura em diferentes fases fenológicas, assim como da eficiência da mesma no uso da água é muito importante para o manejo do ambiente, como a aplicação de água em maior ou menor quantidade em épocas distintas do ciclo (PEREIRA *et al.*, 1998). Para o autor, sabendo-se em que fase a cultura seria mais

susceptível ao déficit hídrico, ou em que fase do ciclo ocorre melhor uso da água, o manejo da irrigação terá maior eficácia e, assim, haverá maior retorno em produção de matéria seca de interesse econômico, no caso da soja, grãos.

Toureiro, Serralheiro e Oliveira (2007) defendem a ideia de que deve-se expor as plantas a um manejo de irrigação com déficit. Com isso, de acordo com os autores, é possível explicar a capacidade de tolerância e/ou sensibilidade à deficiência hídrica das culturas quando imposta ao longo de seus diferentes estádios fenológicos, tendo em vista que os efeitos dos déficits hídricos variam com os estádios em que os mesmos se manifestam e cujas respostas podem até apontar efeitos maléficos do déficit sob o crescimento, embora possam resultar em um equilíbrio funcional entre a água empregada e a fitomassa produzida.

Trabalhos de pesquisa relacionando a resposta das culturas ao manejo de água nos diferentes estádios de desenvolvimento mostram que as plantas respondem de maneira diferente às condições hídricas impostas. Sousa e Lima (2010) avaliaram o desempenho da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar Carioca comum sob supressão da irrigação em estádios do ciclo vital (vegetativo, pré-floração, plena floração, enchimento de vagens e final ou maturação) e observaram que a supressão da irrigação nos estádios de desenvolvimento do feijoeiro interferiu significativamente de modo negativo em todas as variáveis analisadas.

Silva *et al.* (2012) induziram déficit de irrigação nos estádios vegetativo, floração e formação da produção e avaliaram a morfologia, a produção e a partição de fitomassa do girassol cv. Multissol. Os autores observaram que a altura da planta, o número de folhas e o diâmetro do caule foram negativamente afetados pelos déficits de irrigação e que nível de irrigação equivalente a 50% da ETo comprometeu a morfologia e a produção de fitomassa quando aplicado em qualquer estágio de desenvolvimento.

Nogueira e Nagai (1988), ao submeterem a cultura da soja à déficit hídrico nos estádios vegetativo, florescimento e enchimento do grão, verificaram que a deficiência hídrica nos três estádios diminuiu a produção e o número de vagens e de grãos em relação à testemunha, porém, o déficit no período do enchimento do grão foi mais prejudicial do que o aplicado no estágio vegetativo.

Kuss *et al.* (2008), com o objetivo de verificar o efeito do manejo da irrigação e da população de plantas sobre o rendimento de grãos em soja, testaram três manejos de irrigação: não-irrigado, irrigado em todo o ciclo e irrigado nos períodos críticos, os quais foram considerados os períodos da germinação-emergência e do florescimento-enchimento de

grãos. Os resultados evidenciaram que para as plantas irrigadas durante todo o ciclo ou somente nos períodos críticos, o rendimento de grãos não diferiu entre as populações testadas.

Nessa mesma linha, Ruviaro *et al.* (2011) também submetem a soja a diferentes regimes hídricos para avaliar a viabilidade da irrigação suplementar da cultura. Para tanto, compararam três níveis de irrigação suplementar baseados na evapotranspiração da cultura com um tratamento testemunha sem irrigação. Os autores também consideraram a germinação-emergência e o florescimento-enchimento de grãos como períodos críticos ao estresse hídrico e aplicaram lâminas acumuladas de 20, 40 e 60 mm em suplementação à precipitação pluvial. De acordo com os resultados, a suplementação de ETo de 20 mm apresentou rendimento superior aos demais em relação ao número de vagens e nós férteis por planta, além de plantas de maior altura. Porém, a lâmina de água de irrigação com aplicação de 30 mm foi a que proporcionou a máxima eficiência para o peso de mil grãos e capacitou a cultura atingir sua maior produtividade.

Esses trabalhos indicam que a soja apresenta uma resposta de relativa resistência a déficits hídricos controlados, como sugerem Gava (2014), Toureiro, Serralheiro e Oliveira (2007) e Fereres e Soriano (2007), que apontam a irrigação com déficit regulado como estratégia para ampliação da produtividade.

### **2.5.1 Lâmina de irrigação**

Toda água necessária à planta para o desempenho de seus processos vitais é extraída pelo sistema radicular e perdida para a atmosfera por meio do processo de evapotranspiração. Desta forma é preciso que a mesma seja devolvida à planta, seja na forma de precipitação ou irrigação, com o intuito de evitar o comprometimento do desenvolvimento e da produção da cultura (MONTENEGRO; BEZERRA; LIMA, 2004).

A lâmina de irrigação pode ser definida como sendo a quantidade de água a ser suprida pela irrigação no sentido de complementar as precipitações efetivas, com o objetivo de atender as necessidades hídricas da cultura. A determinação de uma correta lâmina de irrigação é um dos principais parâmetros para o correto planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

A estimativa da lâmina de água a ser aplicada é indispensável para a prática de irrigação. Se aplicada em excesso, poderá ser perdida por drenagem profunda, lixiviando consigo os nutrientes para fora da zona radicular da cultura. Ademais, pode provocar a elevação do lençol freático ocasionando problemas de salinidade, forçar práticas de drenagem

ou ainda ocasionar o processo de erosão pelo escoamento superficial da água (REICHARDT, 1990).

A aplicação de uma lâmina adequada no processo de irrigação possibilita à planta manter um fluxo contínuo de água e nutrientes do solo para as folhas, favorecendo os processos de crescimento, floração e frutificação da planta, o que acarretará em aumento da produtividade (COELHO, 2003).

A evapotranspiração e a precipitação efetiva são os principais parâmetros usados na estimativa da quantidade de água a ser aplicada. Na maioria das áreas irrigadas nas regiões áridas e semiáridas a precipitação efetiva é pouco significativa, desta forma o estabelecimento de quanto aplicar em uma irrigação fica a cargo exclusivamente da evapotranspiração (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

### ***2.5.2 Supressão da irrigação***

A supressão da irrigação, também conhecida como veranico, consiste na deficiência hídrica sofrida pelas plantas. É consequência de um período contínuo ou transitório de seca, que provoca redução no crescimento das plantas causada pela redução do potencial hídrico, da condutância estomática, da fotossíntese e da assimilação de N pela planta (HUFFAKER *et al.*, 1970).

As características de crescimento e desenvolvimento das plantas diferem entre as diversas culturas utilizadas. Assim o nível de deficiência hídrica que reduz o crescimento difere entre espécies e dentro da espécie, dependendo da cultivar. Por outro lado, a capacidade de recuperação da planta depende da velocidade e da intensidade do estresse imposto (BOYER, 1971).

A supressão da irrigação antecipada, desde que haja água suficiente armazenada no solo para a cultura não sofrer déficit hídrico, é técnica usada nas regiões semiáridas, onde a água é um fator limitante (HARGREAVES; SAMANI, 1984).

O efeito do estresse hídrico depende da variedade, do grau de duração e do estágio fenológico da planta, podendo trazer resultados tanto negativos quanto positivos (GINESTAR; CASTEL, 1996).

O déficit hídrico produz um efeito diferencial sobre o crescimento e produção de biomassa na cultura da soja, segundo o momento e a severidade do estresse (CONFALONE; NAVARRO DUJMOVICH, 1999).

Doorenbos e Kassam (1994) consideram que os períodos de florescimento e de formação da colheita da soja são os mais sensíveis ao déficit hídrico, particularmente a última parte do período de florescimento e o período de desenvolvimento da vagem.

Bilibio *et al.* (2010) reforçam que, na agricultura irrigada, deve-se atribuir uma atenção especial ao manejo da água, estimando de maneira precisa as necessidades hídricas da cultura, de forma que não ocorra déficit ou excesso, assim como a hora mais adequada para proceder à irrigação, visando, desta forma, maximizar a eficiência do uso da água.

## **2.6 Manejo da adubação**

A prática de adubação consiste em corrigir deficiências naturais no solo de algum nutriente importante para o crescimento das plantas ou para repor nutrientes removidos pelas colheitas. Antes de utilizar a adubação, seja em qual for a cultura, recomenda-se fazer sempre a análise química do solo, retirando as amostras da camada arável (de zero a 20 cm) e seguir as recomendações de adubação, evidenciando sempre a relação custo/benefício que poderá ser obtida com a prática da adubação. Segundo Nobre (2007), a adubação correta aumenta a produtividade agrícola e a rentabilidade da lavoura, embora represente um custo significativo e possa aumentar o risco do investimento, caso o manejo não seja o adequado.

### **2.6.1 Potássio**

O potássio (K) é essencial para o desenvolvimento das plantas, fazendo parte da síntese proteica, sendo, de maneira geral, o segundo nutriente mais exigido pelas culturas, depois do nitrogênio. Entre as várias funções que o K exerce nas plantas, cita-se: a) aumento da eficiência de uso da água, em consequência do controle da abertura e fechamento dos estômatos; b) maior translocação de carboidratos produzidos nas folhas para os outros órgãos da planta; c) maior eficiência enzimática e d) melhoria da qualidade comercial da planta (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

No período da frutificação, sua presença em abundância é importante, pois auxilia no enchimento e no crescimento de grãos e frutos. Por outro lado, a sua deficiência é caracterizada pelo crescimento lento, plantas com raízes pouco desenvolvidas, caules fracos e muito flexíveis, plantas mais suscetíveis a ataques de doenças e ainda, à formação de sementes e frutos pouco desenvolvidos (PITTELLA, 2003).

Na cultura soja esse nutriente possui grande destaque, sendo o mesmo responsável pela redução da deiscência das vagens, aumento no teor de óleo nas sementes e, também beneficia sua germinação, vigor e qualidade, além de aumentar a resistência ao fungo *Diaporthe phaseolorum sojae*, causador da doença cancro da haste (MASCARENHAS *et al.*, 1988).

Para Coelho (2005), os fertilizantes potássicos não apresentam problemas para aplicação via água de irrigação, o ponto crucial é definir em que condição se deve fazer o parcelamento desse nutriente. Neste sentido, dois aspectos devem ser levados em consideração: o potencial de perdas por lixiviação em função de sua mobilidade nos diferentes tipos de solos e as exigências da planta em relação à curva de absorção.

A deficiência de potássio causa a redução da taxa de crescimento das plantas, o que se manifesta ainda antes do aparecimento de sintomas visuais (WENDLING, 2005), que surgem apenas em casos de deficiência mais severo. Esses sintomas são predominantemente manchas amarelas (cloróticas) a partir das bordas das folhas mais velhas, chegando à necrose, maturação desuniforme, retenção foliar, legumes verdes e chochos e grãos pequenos, enrugados e deformados (BORKERT *et al.*, 1994; VEDELAGO, 2014).

O potássio é um elemento muito exportado nos grãos de soja (20 kg de K<sub>2</sub>O por tonelada) e um alto potencial produtivo contribui para a redução dos estoques deste nutriente no solo, se não for realizada a adubação e o manejo adequado. A limitação de rendimento de grãos ocasionada pela deficiência de potássio é mais acentuada em situações onde é empregado um adequado manejo da cultura, especialmente quando não há restrição hídrica. Isso proporciona às plantas uma grande capacidade de fixar legumes, que demandam maior quantidade de potássio para o enchimento dos grãos.

As consequências da limitação nutricional de potássio se manifestam principalmente no terço superior das plantas e mais evidentemente em cultivares de soja com tipo de crescimento indeterminado. Nestas cultivares, os nutrientes são demandados em maiores quantidades inicialmente na formação dos grãos do terço inferior e médio, provocando o aparecimento da deficiência no terço superior das plantas.

## 2.7 Quimigação

A quimigação consiste em aplicar uma solução, ou calda, de agroquímicos ou produtos biológicos (fertilizante, inseticida, fungicida, herbicida, gás carbônico, vírus ou nematicida) por meio do sistema de irrigação (COSTA; BRITO, 1994).

A quimigação é uma técnica em grande expansão no país e ambientalmente segura, com as pesquisas mais recentes e os avanços obtidos nos sistemas de irrigação e equipamentos de injeção permitem uma expansão do número de produtos aplicáveis pela água de irrigação (CUNHA, 2001).

A expansão do uso dessa técnica gerou novos termos como: fertirrigação (fertigação), herbigação, fungigação, insetigação, nematigação, pestisigação entre outros. Realizada de maneira correta, a quimigação representa, na atualidade, uma importante tecnologia na agricultura irrigada (COSTA; FRANÇA; ALVES, 1986).

Para Pereira e Melo (2003), a aplicação da quimigação é possível com todos os métodos de irrigação: superfície, aspersão e localizada (gotejamento e microaspersão). No entanto, as irrigações por superfície e gotejamento só permitem a quimigação de agro-químicos que necessitam ser distribuídos na superfície do solo ou no seu perfil; são incluídos nessa categoria os nematicidas, os fertilizantes, muitos herbicidas e alguns fungicidas e inseticidas.

Cunha (2001) ressalta as principais vantagens da quimigação assim relacionadas: a) uniformidade de aplicação; b) economia; c) incorporação e ativação; d) flexibilidade; e) redução da compactação do solo; f) redução de danos à cultura; e g) menores riscos ao operador. Com essa técnica, é possível uma aplicação segura e efetiva da quantidade apropriada de produto, pela qual se reduzem os custos de produção enquanto se protege o operário e o ambiente (LEON NEW, 1990).

Esses dados evidenciam que há perdas de K durante o cultivo de soja motivado, possivelmente, pela baixa CTC pH 7,0 de três dos quatro solos utilizados, pela drenagem da água após as chuvas e pela falta de uma planta recicladora implantada na sequência. As perdas desse nutriente podem ser minimizadas com o parcelamento da adubação e com a adoção de sistemas conservacionistas do solo que agreguem carbono e, por consequência, aumentem a CTC do solo.

O parcelamento do potássio nas lavouras de soja é uma medida que reduz as perdas principalmente em solos com baixa e média. O parcelamento pode ser 30 a 40% próximo da semeadura (imediatamente antes ou após) e 60 a 70% antecedendo o início da floração. Em anos de maior precipitação pluviométrica, como quando acontece o El Niño, é alto o incremento no rendimento de grãos com o parcelamento da adubação potássica. Já em anos de La Niña, deve-se ter o cuidado para que chova após a aplicação da segunda dose de potássio para dissolver e incorporar o nutriente no solo, favorecendo a absorção pelas plantas.

### **2.7.1 Fertirrigação**

A fertirrigação surgiu na década de 50 nos Estados Unidos. A técnica foi denominada quimigação, referindo-se à aplicação de produtos químicos ou biológicos, usando-se a própria água de irrigação. De acordo com o produto a ser aplicado, ela recebe denominações específicas.

A prática da fertirrigação acarreta diversos benefícios, quando comparada com as aplicações de fertilizantes na forma tradicional. Entre outros permite obter redução do custo de aplicação, em razão da redução da mão-de-obra e do custo operacional de máquinas; melhor uniformidade de distribuição dos produtos via irrigação; menores riscos de contaminação do operador, em decorrência de sua menor exposição aos produtos; menor compactação do solo, pois reduz o tráfego de máquinas na área cultivada; menores danos mecânicos à cultura; permite a aplicação de produtos químicos em qualquer fase de desenvolvimento das culturas, independentemente de sua altura ou do fechamento entre as fileiras. Na fertirrigação, torna-se possível obter maior parcelamento das adubações, sendo os nutrientes fornecidos no momento certo e na quantidade necessária, evitando-se perdas e o desbalanço nutricional; melhor incorporação e menor risco de contaminação ambiental, quando adequadamente usada (SOUSA; LOBATO, 2004).

A aplicação de fertilizantes via a irrigação é uma prática adotada rotineiramente, em função de suas vantagens, tais como: economia na mão-de-obra, possibilidade de aplicar o produto em qualquer fase do ciclo da cultura, fácil parcelamento, controle e maior eficiência na utilização de nutrientes (COSTA; FRANÇA; ALVES, 1986).

A fertirrigação é o processo de aplicação simultânea de água e fertilizantes ao solo por meio de sistemas de irrigação (COELHO, 2003).

O processo de fertirrigação, de forma geral, pode ser dividido em três etapas: a primeira se refere à aplicação da água somente sobre o solo; a segunda etapa é a aplicação do fertilizante dissolvido na água, e a terceira é a aplicação de água novamente, onde o sistema de irrigação deverá continuar funcionando para completar o tempo de irrigação e lavar completamente o sistema de irrigação, carreando os fertilizantes da superfície para as camadas do solo com maior concentração de raízes (FRANÇA, 2007).

A fertirrigação propicia redução das perdas de nitrogênio principalmente pela lixiviação, já que a profundidade de aplicação é controlada, menor perda por volatilização, causa menos compactação do solo, já que há menos trânsito de tratores, reduz a contaminação

do meio ambiente, como conseqüência do melhor aproveitamento pelas plantas pelos nutrientes móveis no solo (PINTO; FEITOSA FILHO, 2002).

A fertirrigação é uma técnica que permite alterações rápidas e precisas nas quantidades de nutrientes aplicados, sendo necessário o seu monitoramento, de modo a promover os ajustes necessários ainda durante o ciclo da cultura.

A prática da fertirrigação tem-se mostrado mais eficiente no fornecimento de nutrientes para diversas culturas, com uma série de vantagens sobre a forma tradicional (ALVARENGA, 1999).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento da pesquisa.

#### 3.1 Localização dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos na área experimental da Estação Agrometeorológica, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola (DENA), da Universidade Federal do Ceará (UFC), em Fortaleza, Ceará, situada nas coordenadas geográficas de 3° 44' 45'' S e 38° 34' 55'' W e com 19,5 m acima do nível médio do mar (Figura 1).

Figura 1 – Vista aérea da Estação Agrometeorológica, com destaque da área destinada aos experimentos, Fortaleza, Ceará, 2017.



Fonte: Autor. Foto adaptada do Google Earth.

#### 3.2 Clima da região

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw', caracterizado por ser tropical chuvoso, com precipitação de verão-outono e temperatura média

em todos os meses superior a 18 °C. Os valores médios anuais de precipitação, temperatura e umidade relativa são, respectivamente, 1.564 mm, 27 °C e 80%, de acordo com dados fornecidos pela Estação Agrometeorológica (UFC/DENA), situada adjacente à área dos experimentos.

Na Tabela 1, constam as médias das variáveis meteorológicas obtidas durante o período experimental.

Tabela 1 – Dados médios mensais das variáveis meteorológicas durante os experimentos, Fortaleza, Ceará, 2016.

Mês	Temperatura do ar (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Umidade relativa do ar (%)	Velocidade do vento (ms <sup>-1</sup> )	Chuva (mm)
Setembro	27,6	22,5	31,2	69	4,5	0
Outubro	28,0	23,0	31,8	68	4,2	0
Novembro	28,3	23,2	32,0	70	4,4	0
Dezembro	28,3	23,2	31,8	69	3,4	11,4

Fonte: Dados da Estação Meteorológica da UFC.

### 3.3 Solo da área experimental

O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo, com textura franco arenosa, segundo os critérios da Legenda Brasileira de Classificação de Solos, sendo o de maior expressão em termos de área no estado do Ceará, e de elevada importância econômica. As características físico-químicas deste solo estão na Tabela 2.

Tabela 2 – Análise físico-química da camada de solo de 0-20 cm, Fortaleza, Ceará, 2015.

Análise Química		Análise Física	
Al <sup>3+</sup>	0,25	Areia fina (gkg <sup>-1</sup> )	370
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg)	0,26	Areia grossa (gkg <sup>-1</sup> )	434
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg)	1,00	Silte (gkg <sup>-1</sup> )	98
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg)	0,70	Argila (gkg <sup>-1</sup> )	98
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg)	0,34	Argila natural (gkg <sup>-1</sup> )	49
H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg)	1,16	Floculação (g100g <sup>-1</sup> )	50
Ph	6,40	Água útil (g100g <sup>-1</sup> )	5,74
CE (dsm <sup>-1</sup> )	0,44	Classe textural	Franco arenoso

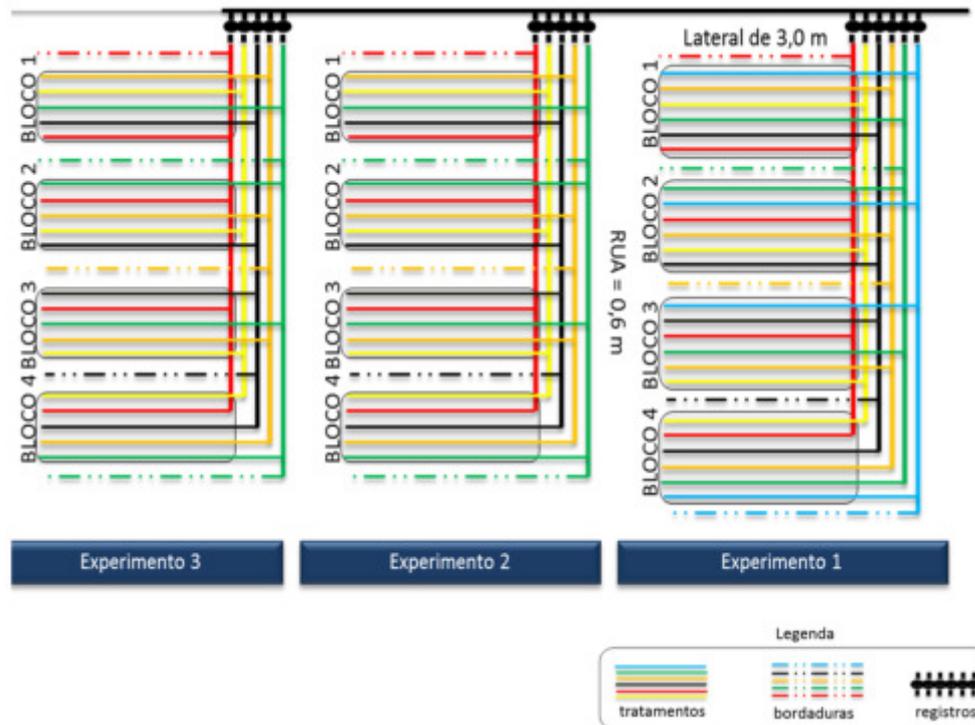
Fonte: Universidade Federal do Ceará (2015).

### 3.4 Área experimental

A área total cultivada com soja foi de 142,2 m<sup>2</sup>, tendo sido subdividida em três áreas menores. A área do experimento 1 (lâmina de irrigação) foi de 52,2 m<sup>2</sup> (14,5 x 3,6 m). As

áreas dos experimentos 2 e 3 (supressão da irrigação e frequência de aplicação de potássio, respectivamente) foram de 45 m<sup>2</sup> (12,5 m x 3,6 m), conforme Figura 2.

Figura 2 – Área experimental subdividida para os três experimentos, Fortaleza, Ceará, 2017.



Fonte: Autor.

### 3.5 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições para o experimento com lâminas de irrigação. Para os demais experimentos, supressões da irrigação e frequências de aplicação de potássio, contou-se com cinco tratamentos e quatro repetições. As parcelas, com área individual de 1,5 m<sup>2</sup> (3,0 m x 0,5 m), contiveram 15 plantas por metro linear. A primeira fileira de plantas na extremidade esquerda do primeiro e direita do último bloco, as fileiras entre blocos e o primeiro e o último metro de cada parcela foram utilizadas como bordadura.

### 3.6 Cultivar, preparo do solo, plantio e tratos culturais

O cultivar utilizada nos experimentos foi o BRS 9180 IPRO, variedade desenvolvida no Piauí, adaptada para a região Nordeste. O preparo do solo na área cultivada

com a soja constou inicialmente de uma aração e duas gradagens cruzadas. Em seguida, foi feita a marcação das linhas de plantio, espaçadas de 0,5 m, e a sulcagem, para a incorporação da adubação de fundação e para a semeadura da soja na profundidade de 0,03 m a 0,05 m.

Os demais tratos culturais foram: desbaste, controle de plantas daninhas e de pragas e doenças, realizadas de forma manual.

### 3.7 Sistema de irrigação

O sistema de irrigação empregado na área experimental foi do tipo gotejamento superficial, sendo constituído por: conjunto moto-bomba, linha principal, linhas de derivação e linhas laterais. A linha principal foi formada por um tubo do tipo PVC, de 50 mm de diâmetro nominal. As linhas de derivação foram de polietileno flexível, de 25 mm de diâmetro nominal. As linhas laterais constituídas por fitas gotejadoras com diâmetro nominal de 16 mm, apresentando gotejadores compensantes e antidrenantes com vazão de  $2 \text{ L h}^{-1}$ , espaçados em 0,30 m entre gotejadores e 0,50 m entre linhas, formando uma faixa molhada. Um registro de gaveta e um manômetro foram instalados com o objetivo de controlar a pressão do sistema. Na Figura 3, consta a disposição dos três experimentos implantados na área experimental.

Figura 3 – Disposição do sistema de irrigação instalado na área experimental, Fortaleza, Ceará, 2017.



Fonte: Autor.

### 3.8 Manejo da irrigação

O tempo de irrigação utilizado em cada experimento foi quantificado conforme a Equação 01.

$$Ti = \frac{Li * E_L * E_g * F_C}{Ei * q_g} \quad (01)$$

em que:

Ti é o tempo de irrigação (h); Li é a lâmina de irrigação (mm dia<sup>-1</sup>); E<sub>L</sub> é o espaçamento entre linhas de irrigação (m); E<sub>G</sub> é o espaçamento entre gotejadores (m); F<sub>C</sub> é o fator de cobertura do solo (adimensional), igual a 1; Ei é a eficiência de irrigação (adimensional), de 92%; q<sub>g</sub> é a vazão do gotejador (L h<sup>-1</sup>).

A lâmina de irrigação (Li) foi estimada com base na evapotranspiração da cultura, que, por sua vez, foi estimada por meio da Equação 02.

$$ETc = ETo * Kc \quad (02)$$

em que:

ETc é a evapotranspiração da cultura (mm dia<sup>-1</sup>); ETo é a evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>); Kc é o coeficiente da cultura (adimensional) para cada estágio de desenvolvimento.

Tabela 3 – Coeficiente da cultura para cada estágio de desenvolvimento da soja, Fortaleza, Ceará, 2017.

Coeficiente de cultivo	Fase I	Fase II	Fase III	Fase IV	Fase V
<b>Período (dias)</b>	120	120	120	120	120
<b>Duração (dias)</b>	24	24	24	24	24
<b>Kc</b>	0,4	0,8	1,15	0,8	0,5

Fonte: Autor.

A ETo foi estimada pelo método do Tanque Classe “A” (Equação 03), tendo em vista ser o método mais acessível ao pequeno agricultor.

$$ETo = ECA * Kp(03)$$

em que:

ETo é a evapotranspiração de referência ( $\text{mmdia}^{-1}$ ); ECA é a evaporação observada no Tanque Classe “A”; Kp é o coeficiente do Tanque Classe “A”, igual a 0,75.

### 3.9 Experimentos

Os experimentos foram realizados conforme descrito nas seções a seguir.

#### 3.9.1 Lâmina de irrigação

Os tratamentos consistiram em seis lâminas de irrigação, aplicadas a cada dois dias: 25; 50; 75; 100; 125; e 150% da evapotranspiração da cultura (ETc).

Em relação à adubação, as fontes de macronutrientes foram o cloreto de potássio, o superfosfato simples e a ureia. A fonte de micronutrientes foi o FTE- BR 12 (Tabela 4).

Tabela 4 – Adubos aplicados por hectare, Fortaleza, Ceará, 2016.

Adubo	Cloreto de Potássio		Superfosfato Simples			Ureia
Macronutriente	K <sub>2</sub> O		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Ca	N
Nutriente (%)	60		18	8	16	45
Adubo (kg ha <sup>-1</sup> )	50			213		333
Adubo	FTE BR – 12					
Micronutriente	S	Mo	B	Cu	Mn	Zn
Nutriente (%)	3,9	0,1	1,8	0,85	2,0	9,0
Adubo (kg ha <sup>-1</sup> )				30		

Fonte: Autor.

N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: Cálcio; S: enxofre; Mo: molibdênio; B: boro; Cu: cobre; Mn: manganês; Z: zinco.

Na adubação de fundação, foi aplicado integralmente o superfosfato simples e o FTE BR-12. A ureia e o cloreto de potássio foram aplicados em 10 parcelas iguais, divididas ao longo do ciclo da cultura, por meio de fertirrigações.

#### 3.9.2 Supressão da irrigação

Os tratamentos consistiram em cinco momentos de supressão da irrigação em dias após o plantio (DAP): T1 (50 DAP); T2 (60 DAP); T3 (70 DAP); T4 (80 DAP); T5 (90 DAP). As irrigações foram realizadas a cada dois dias, para repor 100% da ETc. A supressão (término) das irrigações ocorreu aos: 50; 60; 70; 80; e 90 dias após o plantio, conforme os respectivos tratamentos T1; T2; T3; T4; e T5.

Em relação à adubação, as fontes de macronutrientes foram o cloreto de potássio, o superfosfato simples e a ureia. A fonte de micronutrientes foi o FTE- BR 12 (Tabela5).

Tabela 5 – Adubos aplicados por hectare, Fortaleza, Ceará, 2015.

Adubo	Cloreto de Potássio		Super Fosfato Simples			Ureia
Macronutriente	K <sub>2</sub> O		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Ca	N
Nutriente (%)	60		18	8	16	45
Adubo (kg ha <sup>-1</sup> )	50		213			333
Adubo	FTE BR – 12					
Micronutriente	S	Mo	B	Cu	Mn	Zn
Nutriente (%)	3,9	0,1	1,8	0,85	2,0	9,0
Adubo (kg ha <sup>-1</sup> )	30					

Fonte: Autor.

N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: Cálcio; S: enxofre; Mo: molibdênio; B: boro; Cu: cobre; Mn: manganês; Z: zinco.

Na adubação de fundação, foi aplicado integralmente o superfosfato simples e o FTE BR-12. A ureia e o cloreto de potássio foram aplicados em 10 parcelas divididas ao longo do ciclo da cultura, por meio de fertirrigações.

### 3.9.3 Frequência de fertirrigação potássica

Os tratamentos consistiram nas seguintes frequências de fertirrigação potássica: 2; 4; 8; 16; e 32 vezes durante o ciclo da cultura. A irrigação da cultura foi feita a cada dois dias, para repor 100% da ETc.

Em relação à adubação, as fontes de macronutrientes foram o cloreto de potássio, o superfosfato simples e a ureia. A fonte de micronutrientes foi o FTE- BR 12 (Tabela 6).

Tabela 6 – Adubos aplicados por hectare, Fortaleza, Ceará, 2015.

Adubo	Cloreto de potássio		Superfosfato simples			Ureia
Macronutriente	K <sub>2</sub> O		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Ca	N
Nutriente (%)	60		18	8	16	45
Adubo (kg ha <sup>-1</sup> )	50		213			333
Adubo	FTE BR – 12					
Micronutriente	S	Mo	B	Cu	Mn	Zn
Nutriente (%)	3,9	0,1	1,8	0,85	2,0	9,0
Adubo (kg ha <sup>-1</sup> )	30					

Fonte: Autor.

N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: Cálcio; S: enxofre; Mo: molibdênio; B: boro; Cu: cobre; Mn: manganês; Z: zinco.

Na adubação de fundação, foi aplicado integralmente o superfosfato simples e o FTE BR-12. A ureia foi aplicada em 10 parcelas iguais divididas ao longo do ciclo da cultura, por meio de fertirrigações.

### **3.10 Variáveis analisadas**

As variáveis respostas, avaliadas no final do ciclo, foram: altura da planta; altura da primeira vagem; número de vagens por planta; diâmetro do caule; massas fresca e seca da parte aérea; e produtividade dos grãos (Figuras 4, 5, 6 e 7).

Altura de planta foi medida por meio de uma trena, do início colo da planta até o seu ápice.

Altura de inserção da primeira vagem foi medida através de uma trena, do início do colo da planta até a inserção da primeira vagem.

O diâmetro do caule foi medido por meio de um paquímetro, a dois centímetros do colo da planta.

O número de vagens por planta foi obtido através do debulhamento de todas as vagens.

As massas frescas e secas da parte aérea foram obtidas através de uma balança eletrônica digital. A secagem do material, para a obtenção da massa seca, foi realizada em uma estufa de circulação forçada a 65 °C, durante 72 horas.

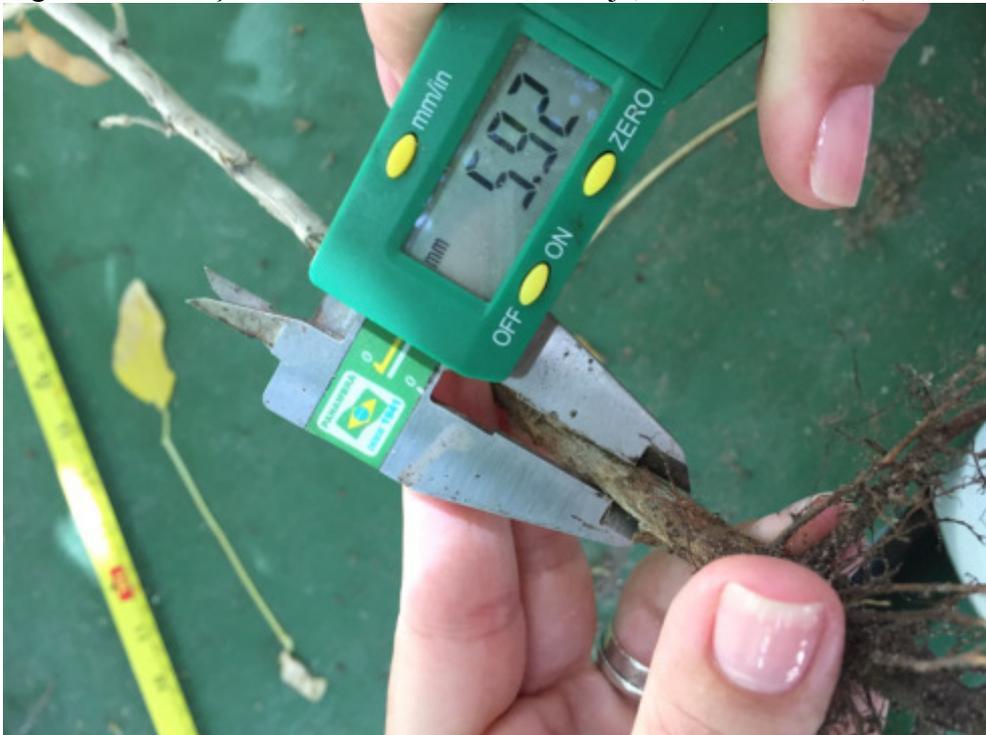
A produtividade dos grãos, estimada com o número de plantas colhidas e a massa das sementes por planta, foi extrapolada para a área de um hectare.

Figura 4 – Medição da altura da planta e da altura da primeira vagem da soja, Fortaleza, Ceará, 2017.



Fonte: Autor.

Figura 5 – Medição do diâmetro do caule da soja, Fortaleza, Ceará, 2017.



Fonte: Autor.

Figura 6 – Aferição da massa fresca da parte aérea da soja, Fortaleza, Ceará, 2017.



Fonte: Autor.

Figura 7 – Aferição da massa seca da parte aérea da soja, Fortaleza, Ceará, 2017.



Fonte: Autor.

### 3.11 Eficiência de uso da água

A eficiência do uso da água (EUA) foi estimada de acordo com a Equação 04.

$$EUA = \frac{Y}{I} \quad (04)$$

em que:

EUA: eficiência de uso da água ( $\text{kgm}^{-3}$ ); Y: produtividade dos grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); I: volume de água aplicado ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ).

### 3.12 Análise estatística

Os dados médios das variáveis respostas foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $P < 0,05$ ), para verificar a existência de diferença significativa entre os tratamentos. No primeiro experimento, foi feita a análise de variância da regressão, conforme os modelos linear e quadrático. Nos demais experimentos, foi realizado o teste de Scott-Knott para identificar a diferença entre os tratamentos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir apresentamos os resultados e discussões do experimento realizado nesta pesquisa.

### 4.1 Experimento 1: lâmina de irrigação

De acordo com a Tabela 7, com exceção do diâmetro do caule e da massa seca da planta, todas as variáveis responderam significativamente aos tratamentos com lâminas de irrigação.

Tabela 7 – Resumo da análise de variância para: altura da planta (AP), altura da primeira vagem (AV), diâmetro do colmo (DC), massa fresca da parte aérea (MF), massa seca da parte aérea (MS) e produtividade dos grãos (PROD) de soja, em função dos tratamentos com lâminas de irrigação, Fortaleza, Ceará, 2017.

FV	GL	Quadrado Médio						
		AP (cm)	AV (cm)	DC (mm)	NVP (unid.)	MF (g)	MS (g)	PROD (kg $ha^{-1}$ )
Blocos	3	87,35 <sup>ns</sup>	1,30 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	18,72 <sup>ns</sup>	20.867,7 <sup>ns</sup>	1.988,88 <sup>ns</sup>	32.227 <sup>ns</sup>
Tratamentos	5	137,79*	22,39**	0,20 <sup>ns</sup>	79,66**	3.386,04**	430,00 <sup>ns</sup>	1.036.647**
Resíduo	15	32,64	0,44	0,13	6,79	0,0001	238,88	40.756
Total	23	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	7,04	2,82	6,75	12,97	26,95	22,08	10,12
Média	-	81,18	23,72	5,35	20,09	181,04	70,00	1.994
Modelo linear	-	108,75 <sup>ns</sup>	77,20**	0,27 <sup>ns</sup>	242,58**	707,23**	70,00 <sup>ns</sup>	4.601.546**
Modelo quadrático	-	464,36**	20,34**	0,29 <sup>ns</sup>	69,09**	4.250,07 <sup>ns</sup>	1.442,85 <sup>ns</sup>	210.487*
Resíduo	-	38,61	4,80	0,14	28,87	2.381,04	238,88	123.734

Fonte: Autor.

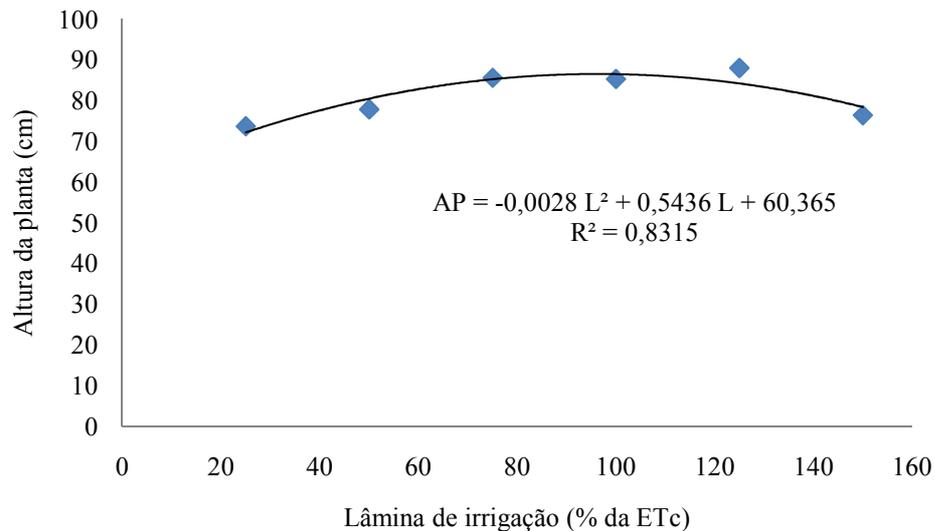
\* significativo a 5% pelo teste F \*\* significativo a 1% pelo teste F; (ns) não significativo pelo teste F. FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade.

A altura da planta (Figura 8), altura da primeira vagem (Figura 9) e número de vagens por planta (Figura 10) e massa seca da planta (Figura 12) apresentaram o padrão de variação quadrático, enquanto que a massa fresca da planta (Figura 11) e produtividade dos grãos (Figura 13) apresentaram o padrão de variação linear. Os modelos de regressão foram validados pelos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e pela significância dos coeficientes das equações pelo teste t.

A variável altura da planta apresentou os menores valores nos tratamentos em que as plantas foram submetidas ao déficit e estresse hídrico durante o ciclo. A maior altura da planta, estimada em 77 cm, foi estimada com a lâmina de 79% da ETc. Resultados semelhantes foram observados por Nunes (2015), quando a variável altura da planta

apresentou diferença significativa entre os manejos de irrigação, sendo os menores valores observados nos tratamentos em que as plantas foram submetidas a déficit hídrico na fase vegetativa.

Figura 8 - Altura da planta (AP) de soja, em função da lâmina de irrigação (L), Fortaleza, Ceará, 2017.

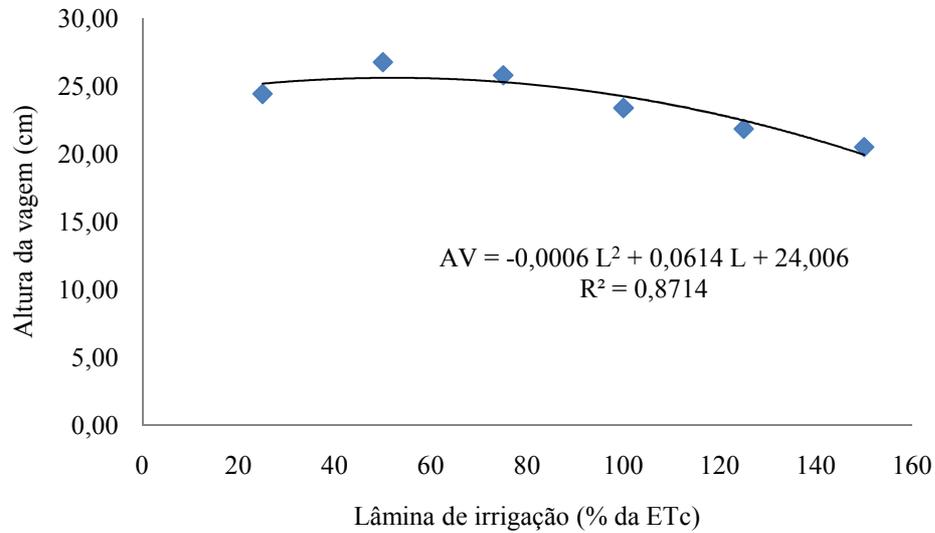


Fonte: Autor.

A altura de inserção da primeira vagem de soja é uma característica agrônômica importante à operação de colheita mecânica dos grãos (GAVA, 2014). Segundo Sedyama (2009), a altura mínima da primeira vagem deve ser de 10 a 12 centímetros em solos de topografia plana e de aproximadamente 15 centímetros em terrenos mais inclinados, para que não haja perda na colheita pela barra de corte.

De acordo com a Figura 9, todas as plantas apresentaram alturas de inserção da primeira vagem acima de 20 centímetros. Isso significa que as plantas não apresentam problemas de perdas, mesmo em caso de colheita mecanizada em solos mais inclinados. A maior altura de inserção da primeira vagem foi estimada em 25,5cm, com 51% da ETc.

Figura 9 - Altura de inserção da primeira vagem (AV) na soja, em função da lâmina de irrigação (L), Fortaleza, Ceará, 2017.

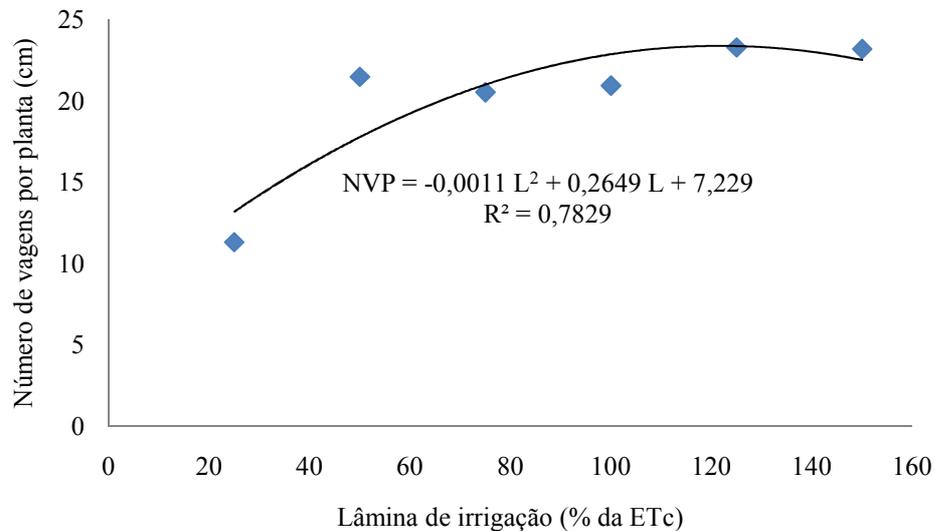


Fonte: Autor.

A variável diâmetro do caule não sofreu influência das lâminas de irrigação, apresentando um valor médio de 4,3 mm.

De acordo com a Figura 10, à medida que ocorre o incremento na lâmina de irrigação, há um aumento no número de vagens por planta. A maior quantidade de vagens por planta foi estimada em 23 unidades, com 120% ETC. Essa produção representa um incremento de 53% em relação ao tratamento que recebeu menos água (25% da ETC).

Figura 10 – Número de vagens por planta (NVP) de soja, em função da lâmina de irrigação (L), Fortaleza, Ceará, 2017.



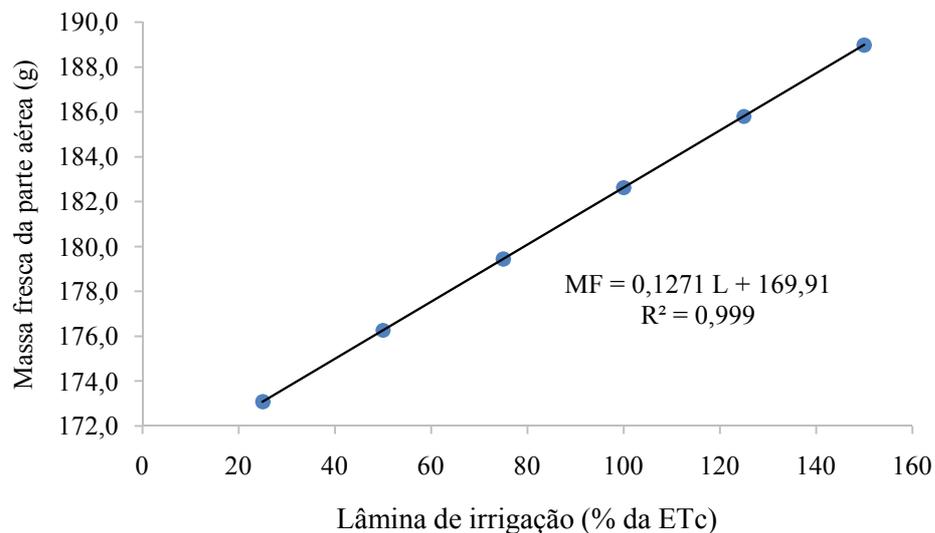
Fonte: Autor.

Nunes (2015) observou que as plantas de soja, sob condições de estresse severo na fase vegetativa, anteciparam seu florescimento em relação aos demais tratamentos. Essa resposta se caracteriza como uma reação da planta a condições extremas, especialmente relacionadas com alta temperatura do ar e pouca disponibilidade hídrica.

Durante o dia, a planta realiza a fotossíntese e acumula os carboidratos sintetizados nas folhas, e à noite, metaboliza e transporta esses produtos para os pontos de crescimento. Porém, sob alta temperatura e condições hídricas desfavoráveis, acentua-se o processo de respiração da planta, em prejuízo de ambos os processos, resultando em menor crescimento e aceleração do processo reprodutivo (EMBRAPA, 2010). Além disso, a planta de soja é fortemente influenciada pelo fotoperíodo. Em regiões de fotoperíodo mais curto, ou em casos de ocorrer diminuição do fotoperíodo na fase vegetativa, ela tende a induzir o florescimento precoce (BORÉM, 2005).

Conforme a Figura 11, houve um acréscimo linear na massa fresca da parte aérea com o aumento da lâmina de irrigação. A maior massa fresca da parte aérea foi estimada em 189g, com 150% da ETc. A maior lâmina de irrigação proporcionou um incremento de 8,4% em comparação com a menor lâmina de irrigação.

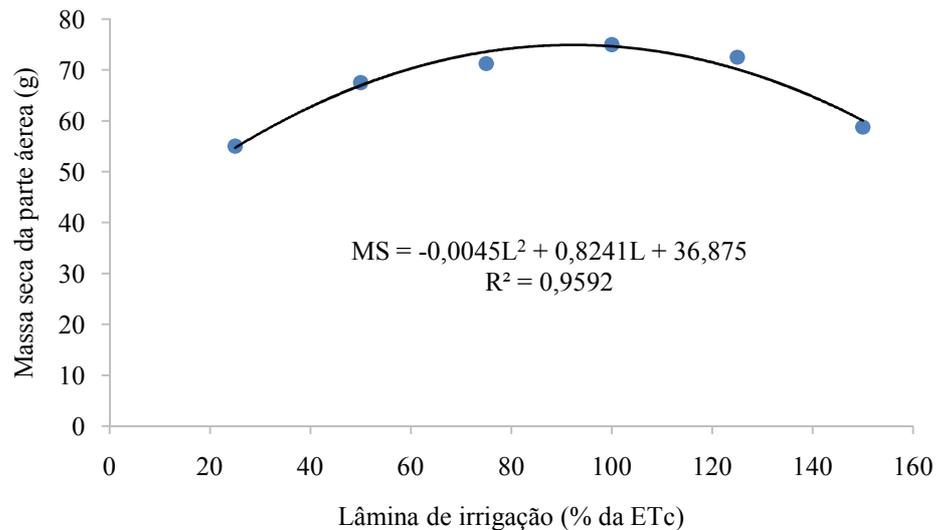
Figura 11 – Massa fresca (MF) da parte aérea das plantas de soja, em função da lâmina de irrigação (L), Fortaleza, Ceará, 2017.



Fonte: Autor.

A variável massa seca da parte aérea da planta apresentou os menores valores nos tratamentos em que as plantas foram submetidas ao déficit e estresse hídrico durante o ciclo. A maior massa seca, estimada em 74,6 g, foi obtida com aproximadamente 91% da ETc.

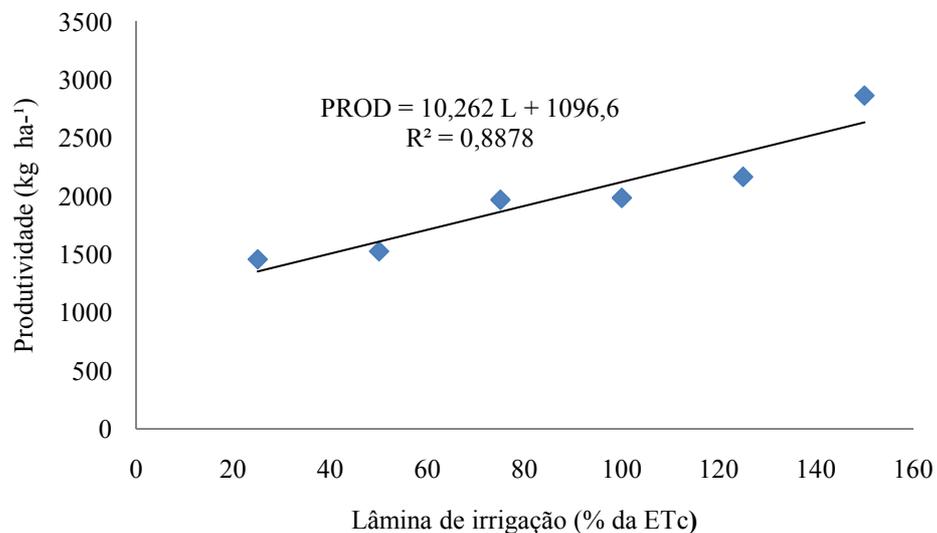
Figura 12 – Massa seca (MS) da parte aérea das plantas de soja, em função da lâmina de irrigação (L), Fortaleza, Ceará, 2017.



Fonte: Autor.

De acordo com a Figura 13, a produtividade dos grãos aumentou linearmente com o incremento das lâminas de irrigação.

Figura 13 – Produtividade dos grãos (PROD) de soja, em função da lâmina de irrigação (L), Fortaleza, Ceará, 2017.



Fonte: Autor.

A lâmina de irrigação que maximizou a produtividade dos grãos, estimada em 2.635,9 kg ha<sup>-1</sup>, foi correspondente a 150% da ETc. A diferença percentual da maior produtividade dos grãos, em relação às obtidas nos tratamentos 25%; 50%; 75%; 100%; e 125% da ETc, foi de 48,6%; 38,9%; 29,2%; 19,4%; e 9,7%, respectivamente.

Lâminas de água subdimensionadas podem provocar estresse hídrico, reduzindo sensivelmente ou inviabilizando a produção vegetal, principalmente em regiões de clima árido ou semiárido, onde a falta de água limita a atividade agrícola (VIANA *et al.*, 2012).

Bergamaschi *et al.* (2006) explicam que o déficit hídrico no período vegetativo da soja reduz o crescimento da planta, em função de decréscimos na área foliar, teor de clorofila das folhas, interceptação de radiação solar, condutância estomática, taxa fotossintética e, conseqüentemente, biomassa total. A reação da soja sob estresse nessa fase é de direcionar mais energia para a diferenciação celular, que leva a novos estádios do ciclo vital, em detrimento da multiplicação celular, o que reduz o crescimento (EMBRAPA, 2010).

#### **4.1.1 Eficiência de uso da água**

Na Tabela 08, constam os valores médios de eficiência de uso da água, expressos em kg m<sup>-3</sup> e R\$ m<sup>-3</sup>, considerando, em junho de 2016, a cotação de R\$ 82,70 para a saca de soja na cidade de Sorriso (MT) (CONAB, 2017).

A máxima produtividade média da água foi de 0,741 kgm<sup>-3</sup> ou 1,22 R\$m<sup>-3</sup>, proporcionada pela lâmina de irrigação de 150% da ETc. A lâmina de irrigação que proporcionou o menor valor da produtividade média da água (0,243 kg m<sup>-3</sup> e 0,40 R\$ m<sup>-3</sup>) foi a de 25% da ETc. O incremento da eficiência do uso da água, proporcionado pela menor lâmina de água, em comparação à maior, foi de 204%.

As elevadas reduções observadas nos valores de EUA com o aumento das lâminas de irrigação foram proporcionadas pelos elevados volumes de água aplicados por irrigação, maiores períodos em que as plantas passaram sob déficit hídrico e perdas de água por percolação. Elis *et al.* (1989) verificaram que a melhor combinação de alta produtividade, máxima EUA e menor número de irrigações durante o ciclo da cultura, foi obtida quando as irrigações foram realizadas com 60% de água disponível no solo.

Na maioria das vezes, o aumento da EUA pode ser obtido devido ao decréscimo da quantidade de água aplicada (LETEY, 1993; RITSCHER *et al.*, 1994). No presente trabalho, como a evapotranspiração não foi um parâmetro medido para cada tratamento e,

sim, estimado a partir da ETo e do coeficiente de cultivo por fases da cultura, a maior eficiência do uso da água obtida com lâmina de irrigação, em torno de 25% da ETc, foi devido à sua maximização, como mencionaram Letey (1993), Richards *et al.* (1993) e Howell *et al.* (1998), e não pelo aumento da produtividade.

Tabela 8 – Eficiência do uso da água em função do volume total de água aplicado por hectare.

Tratamento	Lâmina de água (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Eficiência de uso da água	
		(kg m <sup>-3</sup> )	(R\$ m <sup>-3</sup> )
25% da ETc	1.967,5	0,741	1,22
50% da ETc	3.935,0	0,388	0,64
75% da ETc	5.902,5	0,334	0,55
100% da ETc	7.870,0	0,252	0,42
125% da ETc	9.837,5	0,220	0,36
150% da ETc	11.805,0	0,243	0,40

Fonte: Autor.

#### 4.2 Experimento 2: supressão da irrigação

De acordo com as Tabelas 9 e 10, apenas o número de vagem por planta (NVP) respondeu significativamente aos tratamentos com supressões da irrigação.

Tabela 9 – Resumo da análise de variância para: altura da planta (AP), altura da primeira vagem (AV), diâmetro do colmo (DC), massa fresca da parte aérea (MF), massa seca da parte aérea (MS) e produtividade dos grãos (PROD) de soja, em função dos tratamentos com supressões de irrigação, Fortaleza, Ceará, 2017.

FV	GL	Quadrado Médio						
		AP (cm)	APV (cm)	DC (mm)	NVP (unid.)	MF (kg)	MS (kg)	PROD (kg ha <sup>-1</sup> )
Blocos	3	412,63 <sup>ns</sup>	21,78 <sup>ns</sup>	1,78 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	0,015 <sup>ns</sup>	0,0033 <sup>ns</sup>	29.489 <sup>ns</sup>
Tratamentos	5	136,95 <sup>ns</sup>	10,53 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	38,10 <sup>**</sup>	0,019 <sup>ns</sup>	0,0036 <sup>ns</sup>	30.140 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	151,70	6,23	0,51	2,03	0,018	0,0036	24.653
Total	23	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	17,52	8,84	16,22	11,33	130,19	117,53	9,89
Média	-	70,30	28,25	4,41	12,60	0,104	0,051	1587,3

Fonte: Autor.

\*\* significativo a 1% pelo teste F; (ns) não significativo pelo teste F. FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade.

Tabela 10 – Valores médios das variáveis: altura da planta (AP), altura da primeira vagem (AV), diâmetro do colmo (DC), massa fresca da parte aérea (MF), massa seca da parte aérea (MS) e produtividade dos grãos (PROD) da soja, em função dos tratamentos com supressões de irrigação, Fortaleza, Ceará, 2017.

Tratamento	Variáveis						
	AP (cm)	APV (cm)	DC (mm)	NVP (unid.)	MF (kg)	MS (kg)	PROD (kg $ha^{-1}$ )
T1 – 50 DAS	67,25a	29,00 a	4,44a	9,00 b	0,068 a	0,038 a	2.354 a
T2 – 60 DAS	61,72 a	28,62 a	4,29a	10,37 b	0,066 a	0,033 a	2.123 a
T3 – 70 DAS	76,50 a	26,00 a	4,42 a	16,00 a	0,228 a	0,105 a	2.059 a
T4 – 80 DAS	73,87 a	27,37 a	4,13 a	15,50 a	0,077a	0,041 a	2.298 a
T5 – 90 DAS	71,12 a	30,25 a	4,78 a	12,12a	0,078 a	0,037 a	2.449 a

Fonte: Autor.

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo Teste Scott Knott (1974) a 5%.

A variável altura da planta não apresentou diferença significativa nos tratamentos. A altura média a planta, estimada em 70 cm, foi aproximadamente 16% inferior à altura média de 84 cm, observada nas plantas de soja cultivadas na Bahia (EMBRAPA, 2010).

Não só para alta produtividade, mas também para elevado rendimento operacional da colhedora, preconiza-se que as cultivares modernas de soja apresentem altura final de planta entre 60 cm e 110 cm (SHIGIHARA; HAMAWAKI, 2005). Entretanto, Sedyama *et al.* (1996) consideraram que em solos planos e bem preparados, pode-se efetuar uma boa colheita em plantas com 50 cm a 60 cm de altura.

No Brasil, variedades comerciais normalmente apresentam altura média de 60 a 120 cm (BORÉM, 2000). A altura de planta é uma característica fundamental na determinação da cultivar a ser introduzida em uma região, uma vez que se relaciona com o rendimento de grãos, controle de plantas daninhas e com as perdas durante a colheita mecanizada. As variações na altura das plantas podem ser influenciadas por época de semeadura, espaçamento entre e dentro das fileiras, suprimento de umidade, temperatura, fertilidade do solo, resposta fotoperiódica da cultivar e outras condições do ambiente.

A altura de inserção da primeira vagem apresentou, em média, 28 cm. Esse valor está 86% acima do mínimo recomendado para que não haja perda na colheita pela barra de corte. A altura de inserção da primeira vagem de soja é uma característica agrônômica importante para a operação de colheita mecânica dos grãos (GAVA, 2014). Segundo Sedyama *et al.* (2009), a altura mínima da primeira vagem deve ser de 10 a 12 centímetros em solos de topografia plana e de aproximadamente 15 centímetros em terrenos mais inclinados, para que não haja perda na colheita pela barra de corte.

O diâmetro do caule não sofreu influência dos tratamentos, e apresentou um valor médio de 4,3 mm.

A massa fresca da parte aérea não foi influenciada pelos tratamentos, apresentando um valor médio de 100 g. A massa seca da parte aérea também não diferiu entre os tratamentos, e apresentou um valor médio de 50 g. Com base nesses resultados, observa-se que a água presente na planta de soja representa 50% da massa total.

O número de vagens por planta foi afetado positivamente pelo aumento do tempo em que a cultura recebeu irrigação, ou seja, quando a supressão foi mais tardia.

O maior número de vagens por planta foi estimado em 14,54 unidades, resultado da média nos tratamentos 70, 80 e 90 DAS. Esse valor, quando comparado ao valor médio observado nos tratamentos 50 e 60 DAS, estimado em 9,7 unidades, representou um incremento de 25% no número de vagens por planta.

Esses resultados estão relacionados diretamente com disponibilidade hídrica, que favorece o desenvolvimento vegetativo e retarda a floração. Thomas e Costa (1994), testando os efeitos do déficit hídrico na soja, constataram que, a partir do estágio R6, o tratamento com irrigação suplementar levou 26 dias para atingir a maturação fisiológica, enquanto o não irrigado chegou a esse estágio em 10 dias.

O número de vagem por planta não apresentou uma correlação positiva com a produtividade, tendo em vista que os tratamentos não foram significativos para essa cultivar. Souza, Carvalho e Souza (2012), condições edafoclimáticas semelhantes, concluíram que o número de vagens por planta para a cultura do amendoim também foi afetado positivamente com o aumento do tempo em que a cultura recebeu irrigação. Lima *et al.* (2010) concluíram que a suspensão hídrica aos 70 DAS reduziu significativamente o número de fruto por planta na cultura da mamona. Bilibio *et al.* (2011), trabalhando com a canola em casa de vegetação, encontraram reduções nessa variável quando anteciparam os déficits hídrico sobre a cultura.

De acordo com Santos e Carlesso (1998), a limitação de água no solo durante o período de pré-florescimento afeta o desenvolvimento das estruturas vegetativas das plantas, reduzindo a capacidade de produção de fitomassa pela cultura.

Resultados semelhantes foram encontrados por Stone e Moreira (2001), no trabalho sobre resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura sob diferentes lâminas de irrigação. Os autores concluíram que a resposta do número de vagens por planta e do número de grãos por vagem é maior, caso a planta sofra um estresse hídrico de pequena intensidade na fase vegetativa. Weaver *et al.* (1984) também observaram redução nesses componentes de rendimento em condições de deficiência hídrica. De acordo com Jordan (1983), o déficit hídrico pode afetar a utilização de carboidratos, por alterar a eficiência com que os foto assimilados são convertidos para o desenvolvimento de novas partes na planta.

#### 4.2.1 Eficiência de uso da água

Na Tabela 11, constam os valores médios de eficiência de uso da água, expressos em  $\text{kg m}^{-3}$  e  $\text{R\$ m}^{-3}$ , considerando, em junho de 2016, a cotação de R\$ 82,70 para a saca de soja na cidade de Sorriso (MT) (CONAB, 2017).

A máxima produtividade da água, estimada em  $0,31 \text{ kgm}^{-3}$  ou  $0,52 \text{ R\$m}^{-3}$ , foi proporcionada pelo tratamento 50 DAS. O tratamento de supressão que apresentou o menor valor da produtividade da água, estimada em  $0,20 \text{ kg m}^{-3}$  ou  $0,33 \text{ R\$ m}^{-3}$ , foi proporcionado pelo tratamento sem supressão. Na comparação entre esses tratamentos, pode-se constatar um incremento de 55% na produtividade da água em  $\text{kgm}^{-3}$ . Estes valores obtidos traduzem a importância da adoção criteriosa do método de irrigação, pois os mesmos mostram perda na eficiência ao se aumentar o volume de água aplicado.

Tabela 11 – Eficiência do uso da água em função do volume total de água aplicado por hectare.

Lâmina de água ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ )	Eficiência de uso da água		
	( $\text{kg m}^{-3}$ )	( $\text{R\$ m}^{-3}$ )	
50 DAS	4.928	0,31	0,52
60 DAS	5.847	0,29	0,48
70 DAS	7.284	0,21	0,35
80 DAS	7.652	0,19	0,32
90 DAS	7.870	0,20	0,33

Fonte: Autor.

De acordo com Fageria, Santos e Cutrim (1989), Carlesso (1995) e Fioreze *et al.* (2011), o déficit hídrico nas plantas provoca um aumento progressivo no valor total dos carboidratos solúveis como o sorbitol, sacarose e amido, que são extremamente solúveis e permeáveis, sendo acumulados em células e, desta forma, melhoram a resistência das plantas. Tal efeito é caracterizado como adaptação da cultura ao déficit hídrico e estudado em diversas culturas. O nível de sacarose é aumentado progressivamente nas plantas sob estresse hídrico, devido a biossíntese de sacarose. Este aumento provavelmente é promovido pelo consequente aumento da atividade da enzima sacarose fosfato sintase, que atua na célula fotossintética citosol, com a função de proteger a integridade de membranas e proteínas (HOEKSTRA; GOLOVINA; BUITINK, 2001), em condições de deficiência hídrica.

Borrmann (2009), estudando o efeito do déficit hídrico nas características químicas da cultura da soja, observou que houve diferenças entre as cultivares estudadas para os teores de proteínas em plantas recém-colhidas. Este autor mostrou que algumas cultivares de soja apresentaram maior tolerância à seca do que outras.

A cultura da soja apresenta tanto características de “evitamento” como de “tolerância” à desidratação. Sendo assim, observa-se que essa cultivar é bastante resistente ao estresse hídrico, favorecendo um melhor uso eficiente da água.

### 4.3 Experimento 3: frequência de fertirrigação potássica

De acordo com as Tabelas 12 e 13, as variáveis altura da primeira vagem (APV), massa fresca da parte aérea (MF) e massa seca da parte aérea (MS) responderam significativamente aos tratamentos.

Tabela 12 – Resumo da análise de variância para: altura da planta (AP), altura da primeira vagem (AV), diâmetro do colmo (DC), massa fresca da parte aérea (MF), massa seca da parte aérea (MS) e produtividade dos grãos (PROD) de soja, em função dos tratamentos com frequências de fertirrigação potássica, Fortaleza, Ceará, 2017.

FV	GL	Quadrado médio						
		AP (cm)	APV (cm)	DC (mm)	NVP (unid.)	MF (kg)	MS (kg)	PROD (kg $ha^{-1}$ )
Blocos	3	36,90 <sup>ns</sup>	8,71 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>	104,77 <sup>ns</sup>	0,0015 <sup>ns</sup>	0,00012 <sup>ns</sup>	3.286.306 <sup>ns</sup>
Tratamentos	5	83,84 <sup>ns</sup>	51,15*	0,49 <sup>ns</sup>	42,30 <sup>ns</sup>	0,0016*	0,00017*	739.493 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	29,45	10,09	0,23	40,30	0,0004	0,00003	1.102.991
Total	23	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	7,98	17,53	10,3	33,11	16,90	13,49	40,00
Média	-	68,00	18,12	4,87	19,17	0,111	0,046	2.625

Fonte: Autor.

\* significativo a 5% pelo teste F; \*\* significativo a 1% pelo teste F; (ns) não significativo pelo teste F. FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade.

Tabela 13 – Valores médios das variáveis: altura da planta (AP), altura da primeira vagem (AV), diâmetro do colmo (DC), massa fresca da parte aérea (MF), massa seca da parte aérea (MS) e produtividade dos grãos (PROD) de soja, em função dos tratamentos com frequências de fertirrigação potássica, Fortaleza, Ceará, 2017.

Tratamento	Variáveis						
	AP (cm)	APV (cm)	DC (mm)	NVP (unid.)	MF (kg)	MS (kg)	PROD (kg $ha^{-1}$ )
2 fertirrigações por ciclo	65,25 a	16,12 b	4,81 a	23,12 a	0,102b	0,042 b	3.178 a
4 fertirrigações por ciclo	62,00 a	14,25 b	4,53a	18,25 a	0,088 b	0,041 b	2.783 a
8 fertirrigações por ciclo	67,25 a	19,62a	4,54 a	14,75 a	0,098 b	0,041b	2.006 a
16 fertirrigações por ciclo	72,62a	23,50 a	5,29 a	18,25 a	0,130 a	0,052 a	2.478 a
32 fertirrigações por ciclo	72,50 a	17,12 b	5,16 a	21,50 a	0,135 a	0,055 a	2.681 a

Fonte: Autor.

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo Teste Scott Knott (1974) a 5%.

A altura da planta não apresentou diferença entre tratamentos e seu valor médio foi de 67 cm. Esse valor foi aproximadamente 20% inferior ao valor médio de 84 cm, observado das plantas de soja cultivadas na Bahia (EMBRAPA, 2010).

Não só para alta produtividade, mas também para elevado rendimento operacional da colhedora, preconiza-se que as cultivares modernas de soja apresentem altura final de planta entre 60 cm e 110 cm (SHIGIHARA; HAMAWAKI, 2005). Entretanto, Sedyama *et al.* (1996) consideraram que em solos planos e bem preparados, pode-se efetuar uma boa colheita em plantas com 50 cm a 60 cm de altura.

No Brasil, variedades comerciais normalmente apresentam altura média de 60 a 120 cm (BORÉM, 2000). A altura de planta é uma característica fundamental na determinação da cultivar a ser introduzida em uma região, uma vez que se relaciona com o rendimento de grãos, controle de plantas daninhas e com as perdas durante a colheita mecanizada. As variações na altura das plantas podem ser influenciadas por época de semeadura, espaçamento entre e dentro das fileiras, suprimento de umidade, temperatura, fertilidade do solo, resposta fotoperiódica da cultivar e outras condições do ambiente.

A altura de inserção da primeira vagem foi influenciada pelos tratamentos. As maiores alturas da primeira vagem ocorreram nas frequências de fertirrigação potássica de 8 e 16 vezes por ciclo. Esses tratamentos superaram os demais em 36%. Apesar desses resultados, todas as plantas apresentaram valores de altura da primeira vagem próximos e acima de 15 centímetros.

A altura de inserção da primeira vagem de soja é uma característica agrônômica importante para a operação de colheita mecânica dos grãos (GAVA, 2014). Segundo Sedyama (2009), a altura mínima da primeira vagem deve ser de 10 a 12 centímetros em solos de topografia plana e de aproximadamente 15 centímetros em terrenos mais inclinados, para que não haja perda na colheita pela barra de corte.

O diâmetro do colmo não sofreu a influência dos tratamentos, apresentando um valor médio de 4,8 mm.

O número de vagens por planta não foi influenciado pelos tratamentos. Nesse caso, independentemente da frequência de fertirrigação potássica, cada planta produziu, em média, 19 unidades vagens.

Rosolem, Bessa e Pereira (1993) também observaram ausência de resposta do número de vagens por planta em relação à adubação potássica. Resultados divergentes foram encontrados por Venturoso *et al.* (2009), ao constatarem que a dose de 165 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O

proporcionou o aumento de 83% no número de vagens por planta, quando comparada ao tratamento testemunha, em solo com teor baixo de K.

Os maiores valores de massas frescas e secas da parte aérea foram proporcionados pelos dois maiores parcelamentos da fertirrigação potássica. Os incrementos nas massas fresca e seca, proporcionados por esses tratamentos, em relação aos demais, foram de 38% e 29%, respectivamente.

A possibilidade de reduzir a quantidade de adubo aplicado via fertirrigação, em comparação com a adubação convencional, foi citada por vários autores, como Srinivas (1997), na Índia, Stewart *et al.* (1998), na Austrália, e Hagin e Tucker (1982), em Berlim. Todos os autores creditaram essa redução ao maior aproveitamento dos fertilizantes, quando aplicados junto com a irrigação.

A produtividade dos grãos não foi influenciada pelos tratamentos, e apresentou um valor médio de 2.625 kg ha<sup>-1</sup>.

No estudo de Pedroso Neto e Rezende (2005), a aplicação de potássio no plantio e parcelado proporcionou um aumento de 15,38% (356 kg ha<sup>-1</sup>) e 13,26% (307 kg ha<sup>-1</sup>), respectivamente, em relação à aplicação em cobertura, na produtividade de grãos de soja.

Em Uberaba, verificou-se efeito significativo da adubação com K em cobertura. A aplicação de K, independente das doses ou dos modos, influenciou a produtividade de grãos e proteína e os teores de óleo e proteína e o vigor de sementes de soja (PEDROSO NETO; REZENDE, 2005).

Em Lavras, a produtividade de grãos de soja foi influenciada pelos modos de aplicação, com destaque para aplicação no plantio e parcelado. O vigor de sementes foi influenciado pela aplicação de K, independente das doses ou dos modos de aplicação (PEDROSO NETO; REZENDE, 2005).

Os teores de K verificados nesse trabalho, pela análise de solo, foram superiores aos encontrados por Barbosa (2009), ao trabalharem com soja em sucessão ao milho. Sabendo-se da necessidade de manutenção do bom teor de K no solo, justifica-se a aplicação de K, mesmo em solo com teor mais elevado.

## 5 CONCLUSÕES

As maiores lâminas de irrigação proporcionam plantas de soja de porte inferior, mas com produtividades dos grãos mais elevadas.

A supressão da irrigação nos estádios de pós-floração da soja não interfere de modo negativo nos componentes de rendimento, apesar de reduzir o número de vagens por planta, quando aplicado o déficit hídrico antecipado.

A frequência de fertirrigação potássica não interfere de modo negativo nos componentes de rendimento da soja. Entretanto, os tratamentos com o maior parcelamento do potássio promovem o maior desenvolvimento vegetativo da cultura.

Com base no exposto, pode-se utilizar a lâmina correspondente a 150% da ETC, aplicar a supressão de irrigação somente a partir dos 70 dias após semeadura, e promover um maior parcelamento do potássio, com objetivo de se obter os melhores rendimentos de grãos da cultura da soja.

## REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, L. P. *et al.* Teores de óleo, proteínas e produtividade de soja em função da antecipação da semeadura na região oeste do Paraná. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 865-873, 2008.
- ALLEN, R. G. *et al.* **Evapotranspiração do cultivo**: guias para a determinação dos requerimentos de água dos cultivos. Roma: FAO, 2006.
- ALVARENGA, M. A. R. **Crescimento, teor e acúmulo de nutrientes em alface-americana (*Lactuca sativa* L.) sob doses de nitrogênio aplicadas no solo e de níveis de cálcio aplicado via foliar**. 1999. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.
- ANA (Brasil). **A água no Brasil e no mundo**. Brasília, DF: ANA, 2014. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2014/AAguaNoBrasilENoMundo2014.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2016.
- ANA (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: 2013. Brasília, DF: ANA, 2013.
- AZEVEDO, D. M. P. de. *et al.* Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo e distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes sistemas de preparo no cerrado maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 1, p. 32-40, 2007.
- BARBOSA, C. E. M. **Culturas de cobertura em região de inverno seco para semeadura direta da soja**. 2009. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.
- BARRETO, C. de A. Os impactos socioambientais do cultivo da soja no Brasil. *In*: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE, 2., 2004, Indaiatuba. [**Anais...**]. Indaiatuba: ANPPAS, 2004.
- BATAGLIA, O. C.; MASCARENHAS, H. A. A.; MIYASAKA, S. Nutrição mineral da soja. *In*: FUNDAÇÃO CARGILL. **A soja no Brasil central**. Campinas: Fundação Cargill, 1977. p. 55-84.
- BERGAMASCHI, H. *et al.* Déficit hídrico e produtividade da cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 2, p. 243-249, 2006.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006.
- BERTRAND, J.; LAURENT, C.; LECLERCQ, V. **O mundo da soja**. São Paulo: HUCITEC, 1987.
- BEVILACQUA, P. D.; BASTOS, R. K. X.; LANNA, E. A. T. Uso de esgotos tratados para produção animal. *In*: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. Tratamento e utilização de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

BEZERRA, F. M. L. *et al.* Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 34, n. 1, p. 5-10, 2003.

BILIBIO, C. *et al.* Desenvolvimento vegetativo e produtivo da berinjela submetida a diferentes tensões de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 7, p. 730-735, 2010.

BILIBIO, C. *et al.* Effect of different levels of water deficit on rapeseed (*Brassica napus* L.) crop. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 672-684, 2011.

BORÉM, A. Escape gênico: os riscos do escape gênico da soja no Brasil. **Biociência e Desenvolvimento**, Brasília, DF, v. 10, p. 101-107, 2000.

BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2005.

BORKERT, C. M. *et al.* Seja o doutor da sua soja. **Informações Agronômicas**, n. 66, p. 1-17, jun. 1994. (Arquivo do agrônomo, 5).

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

BOYER, J. S. Recovery of photosynthesis in sunflower after a period of low leaf water potential. **Plant Physiology**, [s. l.], v. 47, p. 816-820, 1971.

BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R. **Biodiesel sem a agricultura familiar?** Brasília, DF: Ciasoja, 2008. Disponível em: <http://www.cisoja.com.br/index.php?p=artigo&idA=87>. Acesso em: 11 set. 2015.

BURTON, J. W. Breeding soybeans for improved protein quantity and quality. *In*: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 3. 1984, Ames. **Proceedings...** Boulder: Westview, 1985. p. 361-367.

BUTTERY, B. R. *et al.* Stomatal numbers of soybean and response to water stress. **Plant and Soil**, [s. l.], v. 149, n. 2, p. 283-288, 1993.

CÂMARA, G. M. de S. Fixação biológica de nitrogênio em soja. **Informações Agronômicas**, n. 147, p. 1-9, set. 2014.

CÂMARA, G. M. S.; HEIFFIG, L. S. Fisiologia, ambiente e rendimento da cultura da soja. *In*: CÂMARA, G. M. (ed.). **Soja: tecnologias da produção II**. Piracicaba: ESALQ/LPV, 2000. p. 81-120.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 183-188, 1995.

CARLSON, J. B.; LERSTEN, N. R. Reproductive morphology. *In*: BOERMA, R.; SPECHT, J. E. (ed.). **Soybeans: improvement, production, and uses**. 3rd. ed. Madison: Soil Science Society of America, 2004. p. 59-95.

- CHAVES FILHO, J. T.; STACCIARINI-SERAPHIN, E. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 199-204, 2001.
- CHRISTOFIDIS, D. Água: um desafio para a sustentabilidade do setor agropecuário. *In*: INSTITUTO FNP. **Agriannual2007**: Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: FNP, 2007. p. 37-42.
- COELHO, A. M. Fertirrigação em culturas anuais produtoras de grãos. **Item**, Brasília, DF, n. 58, p. 44-54, 2003.
- COELHO, A. M. O potássio na cultura do milho. *In*: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: [s. n.], 2005. p. 613-652.
- CONAB. (Brasil). **Acompanhamento de safra brasileira**: grãos, v. 2, Safra 2016/17, n. 6. Brasília: Conab, 2017.
- CONAB. (Brasil). **Acompanhamento de safra brasileira**: grãos, v. 2, maio 2014. Safra 2014/2015 - Brasília: Conab, 2015.
- CONFALONE, A.; NAVARRO DUJMOVICH, M. Influência do “déficit” hídrico sobre a eficiência da radiação solar em soja. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 5 n. 3, p. 195-198, 1999.
- COSTA, E. D. **Arranjo de plantas, características agronômicas e produtividade de soja**. 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2013.
- COSTA, E. F.; BRITO, R. A. L. Métodos de aplicação de produtos químicos e biológicos na irrigação pressurizada. *In*: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 85-109.
- COSTA, E. F.; FRANÇA, G. E.; ALVES, V. M. C. Aplicação de fertilizante via água de irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 139, p. 63-68, 1986.
- COSTA, J. R.; PINHO, J. L. N.; PARRY, M. M. Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 443–450, 2008.
- COUTO, L.; SANS, L. M. A. **Requerimento de água das culturas**. Sete Lagoas: Embrapa, 2002. (Circular Técnica, 20).
- CUNHA, J. P. A. R. **Irrigação: água e químicos**. [S. l.: s. n.], 2001. Disponível em: <http://www.grupocultivar.com.br/artigo.asp?id=252>. Acesso em: 2 mar. 2015.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB/FAO, 1994.

DORNELES, L. M. C. *et al.* Produtividade de grãos e óleo em linhagens de soja semiprecoce no estado de Goiás, safra 2009/2010. **Revista Verde**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 38-42, 2011.

DURIGON, A. **Soil-plant-atmosphere water transfer mechanisms and their relation to crop water stress**. 2011. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

EMBRAPA. **Considerações sobre florescimento precoce**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2010. Disponível em: [http://www.cnpso.embrapa.br/alerta/ver\\_alerta.php?cod\\_pagina\\_sa=214&cultura=1](http://www.cnpso.embrapa.br/alerta/ver_alerta.php?cod_pagina_sa=214&cultura=1). Acesso em: 16 jun. 2015.

EMBRAPA. **Tecnologias de produções de soja**: região central do Brasil. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008.

FAGERIA, N. K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: EMBRAPA-CNPAF, 1989.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. dos; CUTRIM, V. dos A. Nitrogen uptake and its association with grain yield in lowland rice genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, [s. l.], v. 32, n. 11, p. 1965-1974, 2009.

FARIAS, J. R. B. *et al.* Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n.3, p. 415-421, 2001.

FERERES, E.; SORIANO, M. A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. **Journal Experimental Botany**, [s. l.], v. 58, n. 2, p. 147-159, 2007.

FERREIRA, L. G. R. **Fisiologia vegetal**: relações hídricas. 1. ed. Fortaleza: Edições UFC, 1992.

FIGUEIREDO, S. L. *et al.* Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 58, n. 3, p. 342-349, 2011.

FONTANA, D. C. *et al.* Modelo de estimativa de rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 3, p. 399-403, 2001.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. Alterações micrometeorológicas na cultura da soja submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 27, n. 5, p. 661-669, 1992.

FRANÇA, B. H. C. **Cultivo e processamento do tomate**. Rio de Janeiro (Estado): SBRT, 2007.

GAVA, R. **Os efeitos do estresse hídrico na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. 2014. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

GINESTAR, C.; CASTEL, J. R. Responses of Young clementine citrus trees to water stress during different phenological periods. **Journal of Horticultural Science**, [s. l.], v. 71, n. 4, p. 551-559, 1996.

GONÇALVES, C. A. *et al.* Influência da temperatura no acúmulo de proteínas em sementes de soja. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 1038-1040, 2007.

GONDIM, R. S.; AGUIAR, J. V. de.; COSTA, R. N. T. Estratégias de manejo de água em caupi irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 14-18, 2000.

GRIEU, P. *et al.* Améliorer la tolérance à la sécheresse du tournesol: apports de l'écophysiologie et de la génétique. **Revue Innovations Agronomiques**, [s. l.], v. 2, p. 37-51, 2008.

HAGIN, J.; TUCKER, B. **Fertilization of dryland and irrigated soils**. Berlin: Springer-Verlag, 1982.

HAMDY, A.; RAGAB, R.; SCARASCIA-MUGNOZZA, E. Coping with water scarcity: Water saving and increasing water productivity. **Irrigation and Drainage**, [s. l.], v. 52, n. 1, p. 3-20, 2003.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Economic considerations of deficit irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineerin**, New York, v. 110, n. 4, p. 343-358, 1984.

HOEKSTRA, F. A.; GOLOVINA, E. A.; BUITINK, J. Mechanism of plant desiccation tolerance. **Trends in Plant Science**, [s. l.], v. 6, n. 9, p. 431-438, 2001.

HOWELL, T. A. *et al.* Evapotranspiration, yield, and water use efficiency of corn hybrids differing in maturity. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, n. 1, p. 3-9, 1998.

HUFFAKER, R. C. *et al.* Effects of mild water stress on enzymes of nitrate assimilation and of the carboxylative phase of photosynthesis in barley. **Crop Science**, Madison, v. 10, n. 5, p. 471-474, 1970.

JENSEN, M. E. **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1980.

JONG VAN LIER, Q. de *et al.* Macroscopic root water uptake distribution using a matric flux potential approach. **Vadose Zone Journal**, Madison, v. 7, n. 3, p. 1065-1078, 2008.

JORDAN, W. R. Whole plant response to water deficits: an overview. *In*: TAYLOR, H. M., JORDAN, W. R., SINCLAIR, T. R. **Limitations to efficient water use in crop production**. Madison: ASA, 1983. p. 289-317.

KIIHL, R. A. S.; CALVO, E. S. A soja no Brasil: mais de 100 anos de história, quatro décadas de sucesso. *In*: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. da. **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas: produção e produtividade**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 1. p. 199-218.

- KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. New York: Academic Press, 1995.
- KRON, A. P.; SOUZA, G. M.; RIBEIRO, R. V. Water deficiency at different developmental stages of *Glycine max* can improve drought tolerance. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 43-49, 2008.
- KUSS, R. C. R. *et al.* Populações de plantas e estratégias de manejo de irrigação na cultura da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1133-1137, 2008.
- LAWN, R. J.; LIKOSWE, A. A. Genotypic differences in leaf area maintenance contribute to differences in recovery from water stress in soybean. **Australian Journal of Agricultural Research**, [s. l.], v. 59, n. 12, p. 1075-1085, 2008.
- LEON NEW, L. I. Introduction: why chemigate? *In*: LEON NEW, L. *et al.* **Chemigation**:workbook. Texas: Agriculture Extension Service, 1990.
- LETEY, J. Relationship between salinity and efficient water use. **Irrigation Science**, New York, v. 14, n. 2, p. 75-84, 1993.
- LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stress**. New York: Academic Press, 1972.
- LIMA, A. D. *et al.* Efeitos de diferentes épocas de estresse hídrico sobre a cultura da mamoneira. **Agropecuária Técnica**, v. 31, n. 1, p. 41-48, 2010.
- LIMA, F. Z. *et al.* Efeito do estresse de luz e água na cultura da soja (*Glycine Max* (L.) Merrill). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, São José dos Campos, v. 12, n. 1, p. 1-7, 2004.
- LIZANA, C. *et al.* Differential adaptation of two varieties of common bean to abiotic stress: I. Effects of drought on yield and photosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, [s. l.], v. 57, n. 3, p. 685-697, 2006.
- LOBATO, F. A. O. *et al.* Sazonalidade na qualidade da água de irrigação do Distrito Irrigado Baixo Acaraú, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 167-172, 2008.
- LOBO, J. V. **Respostas moleculares fisiológicas de dois genótipos de cafeeiros submetidos a diferentes períodos de restrição hídrica**. 2013. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- LOMBARDI NETO, F., DRUGOWICH, M. I. **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1994. v. 2.
- LOPES, A. S. Reserva de minerais potássicos e produção de fertilizantes potássicos no Brasil. *In*: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2005. p. 21-32.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. rev. atual. Piracicaba: POTAFÓS, 1997.
- MANCUSO P. C. S.; SANTOS H. F. **Reuso de água**. 1. ed. São Paulo: USP, 2003.
- MANTOVANI, C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa, MG: UFV, 2006.
- MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2005.
- MARTORANO, L. G. **Padrões de resposta da soja a condições hídricas do sistema solo-planta-atmosfera, observados no campo e simulados no sistema de suporte à decisão DSSAT**. 2007. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
- MASCARENHAS, H. A. A. *et al.* Deficiência de potássio em soja no estado de São Paulo: melhor entendimento e possíveis soluções. **O Agrônomo**, Campinas, v. 40, n. 1, p. 34-43, 1988.
- MELLO, J. L. P. *et al.* **Evaporação e evapotranspiração**. Viçosa, MG: UFV. 1996.
- MENEGATTI, A. L. A. **Custo de produção para soja convencional e transgênica a luz das metodologias utilizadas pelos órgãos públicos no Brasil e nos Estados Unidos: um estudo para o Mato Grosso do Sul**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- MITTLER, R. Abiotic stress, the field environment and stress combination. **Trends in Plant Science**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 15-19, 2006.
- MONTEIRO, R. O. C. *et al.* Função de resposta do meloeiro a diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Recife, v. 24, n. 4, p. 455-459, 2006.
- MONTENEGRO, A. A. T.; BEZERRA, F. M. L.; LIMA, R. N. de. Evapotranspiração e coeficientes de cultura do mamoeiro para a região litorânea do Ceará. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 464-472, maio/ago. 2004.
- MORAES, R. M. A. de *et al.* Caracterização bioquímica de linhagens de soja com alto teor de proteína. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 5, p. 725-729, 2006.
- MOREIRA, M. A. Programa de melhoramento genético da qualidade de óleo e proteína da soja desenvolvido na UFV. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1., 1999, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 1999. p. 99-104.
- MÜLLER, L. **Taxonomia e morfologia**. *In*: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. A soja no Brasil. 1. ed. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1981. p. 65-104.
- MUNDSTOCK, Claudio M.; THOMAS, André Luiz. **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: Evangraf, 2005.

NEPOMUCENO, A. L. *et al.* Tolerância à seca em plantas: mecanismos fisiológicos e moleculares. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, [s. l.], v. 4, n. 23, p. 12-18, 2001.

NEVES, J. A. **Desempenho agrônômico de genótipos de soja sob condições de baixa latitude em Teresina-PI**. 2011. Tese (Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

NOBRE, J. G. A. **Respostas da mamona à irrigação e à aplicação de potássio em argissolo vermelho-amarelo**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

NOGUEIRA, S. dos S. S.; NAGAI, V. Deficiência hídrica simulada nos diferentes estádios de desenvolvimento de um cultivar precoce de soja. **Bragantia**, Campinas, v. 47, n. 1, p. 9-14, 1988.

NUNES, A. C. **Aspectos agrônômicos e produtividade de soja submetida a manejo de irrigação**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

PAZ, V. P. da S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 465-473, 2000.

PEDROSO NETO, J. C.; REZENDE, P. M. Doses de modos de aplicação de potássio na produtividade de grãos e qualidade de sementes de soja (*Glycine max* (L), MERRILL). **FAZU em Revista**, Uberaba, v. 1, n. 2, p. 27- 36, 2005.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997.

PEREIRA, G. M. *et al.* Efeitos de diferentes níveis de déficit hídrico aplicados em três fases do ciclo fenológico do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) c.v. carioca-MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p. 187-189.

PEREIRA, S.; MELO, B. **Fertirrigação, adubação e nutrição das culturas do abacaxizeiro e maracujazeiro**. [S. l.: s. n.], 2003. Disponível em: [http://www.fruticultura.iciag.Ufu.br/fertirrigacao.htm\\_Toc44500129](http://www.fruticultura.iciag.Ufu.br/fertirrigacao.htm_Toc44500129). Acesso em: 15 maio 2015.

PEREIRA, W. A. *et al.* Fluxo gênico recíproco entre cultivares de soja convencional e geneticamente modificada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 2, p. 227-236, 2012.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica, RJ: Edur. 2004.

PINTO, J. M.; FEITOSA FILHO, J. C. Fertirrigação na fruticultura. **Item**, Brasília, DF, n. 55, p. 70-74, 2002.

PITTELLA, L. C. Fertilização. In: **BONSAI Cube Morro Velho**, [s. l.], setembro de 2003. Disponível em: [http://www.bonsaimorrovelho.com.br/bcmv\\_mt\\_fertilizacao.html](http://www.bonsaimorrovelho.com.br/bcmv_mt_fertilizacao.html). Acesso em: 2 mar. 2010.

RAMOS, M. L. G.; PARSONS, R.; SPRENT, J. I. Differences in ureide and amino acid content of water stressed soybean inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* and *B. elkanii*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 5, p. 453-458, 2005.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990.

RICCI, dos S. R. Irrigação como alternativa de sustentabilidade agrícola e ambiental. **Revista Multidisciplinar da Uniesp Saber Acadêmico**, São Paulo, n 10, p. 68-76, 2010.

RICHARDS, R. A. *et al.* Improving the efficiency of water use by plant breeding and molecular biology. **Irrigation Science**, New York, v. 14, n. 2, p. 93-104, 1993.

RITSCHER, P. S. *et al.* Efeito da época de suspensão da irrigação na produtividade do meloeiro (*Cucumis melo* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 10., 1994, Salvador. **Anais...** Salvador: ABID, 1994. p. 135-142.

RODRIGUES, J. I. da S. *et al.* Mapeamento de QTL para conteúdos de proteína e óleo em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, n. 5, p. 472-480, 2010.

ROSOLEM, C. A.; BESSA, A. M.; PEREIRA, H. F. M. Dinâmica do potássio no solo e nutrição potássica da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 9, p. 1045-1054, 1993.

RUVIARO, C. *et al.* Comportamento da soja submetida a diferentes regimes hídrico e viabilidade da irrigação suplementar na região do Vale do Jaguari-RS. **Perspectiva**, Erechim, v. 35, n. 131, p. 79-90, 2011.

SANTANA, M. J. *et al.* Viabilidade técnica e econômica da aplicação de água na cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus Vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 532-538, 2009.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SEDIYAMA, G. C. *et al.* Determinação dos parâmetros da distribuição de grama, em função das alturas mensais de precipitação dos dias chuvosos. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 43, n. 274, p. 254-266, 1996.

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenaz, 2009.

SHIGIHARA, D; HAMAWAKI, O. T. Seleção de Genótipos para Juvenwilde em Progênies de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Revista Eletrônica da Universidade Federal de Uberlândia**, Uberlândia, 2005, p. 1-26.

- SILVA, A. R. A. da *et al.* Morfologia e fitomassa do girassol cultivado com déficits hídricos em diferentes estádios de desenvolvimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 959-968, 2012.
- SILVA, E. F.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; NESS, R. L. L. A qualidade da água de irrigação e atributos físicos do solo: o caso de um neossolo flúvico. *In*: MENDONÇA, E. S. *et al.* **Solo e água: aspectos de uso e manejo com ênfase no semi-árido nordestino**. Fortaleza: UFC, 2004. p. 274-297.
- SINCLAIR, T. R.; LUDLOW, M. M. Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 13, n. 3, p. 319-340, 1986.
- SOARES, T. C. B. **Mapeamento de locais, que controlam o conteúdo de proteína em soja**. 2004. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.
- SOUSA, M. A. de.; LIMA, M. D. B. Influência da supressão da irrigação em estádios de desenvolvimento do feijoeiro cv. carioca comum. **Biosciences Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 4, p. 550-557, 2010.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. *In*: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília, DF: Embrapa, 2004. P. 129-145.
- SOUZA, F. V. D.; CARVALHO, A. C. P. P. de.; SOUZA, E. H. de. O abacaxi ornamental. *In*: PAIVA, P. D. de O.; ALMEIDA, E. F. A. C. (org.). **Produção de flores de corte**. Lavras: UFLA, 2012. p. 18-39.
- SOUZA, L. C. F. de *et al.* Teor de proteína e de óleo nos grãos de soja em função do tratamento de sementes e aplicação de micronutrientes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 6, p. 1586-1593, 2009.
- SRINIVAS, K. Growth, yield, and quality of banana in relation to N fertigation. **Tropical Agriculture**, Trinidad and Tobago, v.74, n.4, p. 260-264, 1997.
- STEWART, L. *et al.* **Tropical banana information kit**. Nambour: Queensland Department of Primary Industries, 1998.
- STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 3, p. 473-481, 2001.
- STRAUSS, M. Reuse of wastewater in urban agriculture. *In*: BRUINSMA, W.; HERTOOG, W. **Annotated bibliography on urban agriculture**. The Netherlands: ETC Urban Agriculture Programme, 2001. p. 479-510.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

- TAVARES, L. C. *et al.* Desempenho de sementes de soja sob deficiência hídrica: rendimento e qualidade fisiológica da geração F1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 8, p. 1357-1363, 2013.
- TERUEL, D. A. *et al.* Alterações estruturais do sistema radicular de soja em resposta á disponibilidade de fósforo no solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 55-60, 2001.
- THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 9, p. 1389-1396, 1994.
- TOUREIRO, C. M.; SERRALHEIRO, R. P.; OLIVEIRA, M. R. Resposta das culturas do girassol e do milho a diferentes cenários de rega deficitária. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 30, n. 1, p. 33-47, 2007.
- TRZECIAK, M. B. **Formação de sementes de soja**: aspectos físicos, fisiológicos e bioquímicos. 2012. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Ciências do Solo. Laboratório de Solos/Água. **Resultados da análise do solo**. Fortaleza: [s. n.], 2015.
- VALARINI, J. P.; KUWAHARA M. Y. O mercado da soja: evolução da commodity frente aos mercados internacional e doméstico. **Jovens Pesquisadores**, [s. l.], v. 4, n. 1, 2007.
- VEDELAGO, A. **Adubação para a soja em terras baixas drenadas no Rio Grande do Sul**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- VENTUROSOSO, L. R. *et al.* Avaliação de duas cultivares de soja sob diferentes doses de potássio, no município de Rolim de Moura, RO. **Agrarian**, Dourados, v. 2, n. 4, p. 17-29, 2009.
- VIANA, T. V. A. *et al.* Lâminas de irrigação e coberturas do solo na cultura do girassol, sob condições semiáridas. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 2, p. 126-136, 2012.
- VIVAN, G. A. *et al.* Rendimento relativo da cultura da soja em função da lâmina de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 2, p. 282-292, 2013.
- WEAVER, M. L. *et al.* Effect of soil moisture tension on pos retention and seed yield of bean. **Horticultural Science**, Geneva, v. 19, p. 567-572, 1984.
- WENDLING, A. **Recomendação de nitrogênio e potássio para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

ZANON, G. D. **Teor de proteína e de óleo em grãos de soja obtidos sob diferentes tipos de manejo**. 2007. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2007.

ZHANG, J. Z.; CREELMAN, R. A.; ZHU, J-K. From Laboratory to field. Using information from arabidopsis to engineer salt, cold, and drought tolerance in crops. **Plant Physiology**, California, v. 135, n. 2, p. 1-7, 2004.