

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

DANIELE DE SOUZA TERASSI

Níveis de déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos da cultura do
brócolis

Maringá
2020

DANIELE DE SOUZA TERASSI

Engenheira Agrícola

Níveis de déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos da cultura do
brócolis

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Agronomia da Universidade
Estadual de Maringá, como parte das exigências
para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Área de concentração: Produção Vegetal

Orientador: Dr. Roberto Rezende

Maringá

2020

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

T315n

Terassi, Daniele de Souza

Níveis de déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos da cultura do brócolis /
Daniele de Souza Terassi. -- Maringá, PR, 2020.
57 f.: il., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Rezende.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências
Agrárias, Departamento de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia,
2020.

1. Brócolis. 2. Irrigação por gotejamento. 3. Manejo de água. 4. Brassica oleracea var.
italica. I. Rezende, Roberto, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de
Ciências Agrárias. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em
Agronomia. III. Título.

CDD 23.ed. 631.584

Rosana de Souza Costa de Oliveira - 9/1366

FOLHA DE APROVAÇÃO

DANIELE DE SOUZA TERASSI

NÍVEIS DE DÉFICIT HÍDRICO EM DIFERENTES ESTÁDIOS FENOLÓGICOS DA CULTURA DO BRÓCOLIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Roberto Rezende

Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Prof. Dr. Reni Saath

Universidade Estadual de Maringá – UEM

Prof. Dr. André Ribeiro da Costa

Unicesumar - Maringá

Aprovada em: 20 de fevereiro de 2020.

Local da defesa: Anfiteatro II, Bloco J45, *campus* da Universidade Estadual de Maringá.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Neusa e Dionisio, à minha irmã,
Fernanda e ao meu sobrinho, João Arthur, pelo
apoio e amor incondicional

Com amor, dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus, que me deu força, saúde, que Esteve e Está comigo em todos os momentos.

Ao professor Dr. Roberto Rezende, meu orientador, que me deu a oportunidade do desenvolvimento dessa pesquisa, por toda paciência, compreensão e acima de tudo sua disposição em me orientar e ensinar. Exemplo de profissionalismo e dedicação, digno de toda minha admiração.

Aos meus pais, Neusa e Dionisio, que sempre fizeram tudo que estava ao alcance para me ajudar. Agradeço-os pelo imenso carinho, atenção, amor, por me ensinarem, me corrigirem, me incentivarem, são meus heróis, meus exemplos de vida, que tem a minha eterna admiração.

À minha irmã Fernanda, que sempre me ouviu, me aconselhou e incentivou, meu exemplo que amo muito.

À Universidade Estadual de Maringá (UEM), ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PGA) e ao Centro Técnico de Irrigação (CTI), pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

À professora Dra. Paula Toshimi Matumoto-Pintro por permitir a utilização do laboratório para realização das análises de pós-colheita.

À professora Dra. Reni Saath, por permitir a utilização do seu laboratório.

Às minhas amigas Claudia Lozano e Raphaela Cavalcante por todo companheirismo, paciência, apoio, compartilhamento de conhecimento durante todo o curso de mestrado.

Aos colegas do CTI, Álvaro Cândido, André Andreato, Cássio Seron, Daniel Nalin, Danielle Mangarotti, Fernando Santos, Gustavo Wenneck, Ítalo, Jean Rodrigues e Marcelo Lorenzoni.

A todos os professores e funcionários do CTI e PGA que contribuíram para minha formação.

EPÍGRAFE

“Everyone is fighting a battle you know nothing
about. Be kind. Always.”

(Desconhecido)

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise química do solo.....	16
Tabela 2. Valores médios dos coeficientes da cultura do brócolis (Kc) (Allen et al., 1998)...	18
Tabela 3. Início, final e duração dos estádios fenológicos do brócolis.....	22
Tabela 4. Resumo da análise de variância para os resultados de produtividade (PROD), massa fresca da cabeça (MFCC), massa fresca das folhas (MFF), massa fresca do caule (MFC), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), altura da cabeça (AC), diâmetro da cabeça (DCC), altura da planta (AP), área foliar (AF), massa seca da cabeça (MSCC), massa seca do caule (MSC) e massa seca das folhas (MSF) da cultura do brócolis em função do estágio fenológico e de lâminas de água, Maringá - PR.....	23
Tabela 5. Análise de variância do desdobramento lâmina em cada estágio fenológico referente a produtividade, Maringá-PR.....	26
Tabela 6. Análise de variância do desdobramento estágio fenológico em cada lâmina de água para a produtividade do brócolis, Maringá-PR.....	28
Tabela 7. Análise de variância do desdobramento lâmina em cada estágio fenológico referente à massa fresca da cabeça do brócolis, Maringá-PR.....	29
Tabela 8. Análise de variância do desdobramento estágio fenológico em cada lâmina de água para a massa fresca da cabeça do brocólis, Maringá-PR.....	30
Tabela 9. Análise de variância do desdobramento lâmina em cada estágio fenológico para a massa fresca das folhas do brócolis, Maringá-PR.....	30
Tabela 10. Análise de variância do desdobramento estágio fenológico em cada lâmina de água para a massa fresca das folhas do brócolis, Maringá-PR.....	32
Tabela 11. Análise de variância do desdobramento lâmina em cada estágio fenológico para a área foliar do brócolis, Maringá-PR.....	32
Tabela 12. Análise de variância do desdobramento estágio fenológico em cada lâmina de água para a área foliar do brócolis, Maringá-PR.....	34
Tabela 13. Resumo da análise de variância para os resultados de pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), ângulo Hue, luminosidade (L*), croma (C*) e firmeza, Maringá – PR.....	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Plantas de brócolis separadas em caule, folhas e inflorescência.	20
Figura 2. Produtividade (A), massa fresca da cabeça (B), massa fresca das folhas (C), diâmetro da cabeça (D), altura da planta (E), área foliar (F), massa seca da cabeça (G) e massa seca das folhas (H) para a cultura do brócolis em função das lâminas de água, Maringá-PR.	25
Figura 3. Queda da produtividade do brócolis em função das lâminas de água para os três estádios fenológicos, Maringá-PR.	27
Figura 4. Queda da massa fresca da cabeça do brócolis em função das lâminas de água para os três estádios fenológicos, Maringá-PR.	29
Figura 5. Queda da massa fresca das folhas do brócolis em função das lâminas de água para os três estádios fenológicos, Maringá-PR.	31
Figura 6. Queda da área foliar do brócolis em função das lâminas de água para dois estádios fenológicos, Maringá-PR.	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	3
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	5
2.1 Irrigação regulada por déficits.....	5
2.2 Importância do manejo de irrigação	8
2.3 Cultura do brócolis	11
2.4 Cultivo protegido.....	13
2.5 Microirrigação por gotejamento.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1 Caracterização da área experimental	16
3.2 Preparo da área experimental	16
3.3 Delineamento experimental	17
3.4 Condução da cultura	17
3.5 Avaliação dos componentes de produção.....	19
3.6 Avaliação dos componentes qualitativos.....	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1 Parâmetros físicos.....	22
4.2 Parâmetros qualitativos.....	35
5 CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS	39

RESUMO

TERASSI, D., S., Universidade Estadual de Maringá (UEM), fevereiro de 2020, **Níveis de déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos da cultura do brócolis**. Orientador: Prof. Dr. Roberto Rezende Jr.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes níveis de reposição de água no solo em diferentes estádios fenológicos do brócolis, cultivada em ambiente protegido. O experimento foi conduzido no período de maio a agosto de 2019 em ambiente protegido, localizado no Centro Técnico de Irrigação (CTI) do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá (UEM) situado no município de Maringá-PR. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com 12 tratamentos e quatro repetições, em um esquema fatorial 4x3, onde se avaliou quatro níveis de reposição de água (55%, 70%, 85% e 100% da evapotranspiração) aplicados em três estádios fenológicos: A) estágio inicial: do plantio até a planta possuir 7 a 10 folhas; B) estágio intermediário: de 7 a 10 folhas até o surgimento da inflorescência no meristema; C) estágio final: do surgimento da inflorescência até a colheita. A parcela experimental foi composta por 6 plantas espaçadas 0,5 m entre si. Foram coletadas duas plantas centrais de cada parcela para a avaliação dos componentes de produção e qualitativos da planta. Ressalta-se que a diferenciação das reposições aconteceu apenas dentro de cada fase. Quando não estavam no período de aplicação do respectivo tratamento era feita a irrigação plena. Foi utilizado o brócolis híbrido BRO 68 (Syngenta), que apresenta a cabeça ou inflorescência como o único componente de produção. Foram avaliados os componentes de produção do brócolis, como produtividade, massa fresca da cabeça, massa fresca das folhas, massa fresca do caule, número de folhas, diâmetro do caule, altura da cabeça, diâmetro da cabeça, altura da planta, área foliar, massa seca da cabeça, massa seca do caule e massa seca das folhas. Em relação aos componentes qualitativos do brócolis foram avaliados, pH, sólidos solúveis, acidez titulável, ângulo Hue, luminosidade, croma e firmeza. Os resultados demonstraram que diferentes reposições de água no solo distribuídas em diferentes estádios fenológicos na cultura do brócolis não alterou significativamente os parâmetros qualitativos avaliados. O déficit hídrico causou maiores perdas na produção de brócolis durante os dois primeiros estádios fenológicos, o estágio final foi considerado o menos crítico. Para o déficit de 30% da ETc no estágio C da cultura do brócolis houve uma queda de 7% da produtividade, e para o estágio A e B, houve queda de 30% e 23% respectivamente.

Palavras-chave: *Brassica oleracea* var. *itálica*. Manejo de água. Irrigação.

ABSTRACT

TERASSI, D., S., Maringá State University (UEM), February 2020, **Water deficit levels in different phenological stages of broccoli culture**. Adviser: Prof. Dr. Roberto Rezende.

The present work aimed to evaluate the effects of different levels of soil water replacement at different phenological stages of broccoli cultivated in protected environment. The experiment was conducted from May to August 2019 in a protected environment, located at the Technical Center of Irrigation (CTI) of the Department of Agronomy of the State University of Maringá (UEM) located in Maringá-PR. The experimental design was a randomized block design with 12 treatments and four replications, in a 4x3 factorial scheme, which evaluated four levels of water replacement (55%, 70%, 85% and 100% of evapotranspiration) applied in three. Phenological stages: A) initial stage: from planting until the plant has 7 to 10 leaves; B) intermediate stage: from 7 to 10 leaves until the appearance of inflorescence in the meristem; C) final stage: from inflorescence to harvest. The experimental plot consisted of 6 plants 0.5 m apart. Two central plants were collected from each plot for the evaluation of plant components. It is noteworthy that the differentiation of the replacements happened only within each phase. When not in the period of application of the respective treatment, full irrigation was performed. Hybrid broccoli BRO 68 (Syngenta) was used, which presents the head or inflorescence as the only production component. The physical characteristics of broccoli, such as yield, fresh head mass, fresh leaf mass, fresh stem mass, number of leaves, stem diameter, head height, head diameter, plant height, leaf area, leaf mass, were evaluated. head dry mass, stem dry mass and leaf dry mass. Regarding the qualitative parameters of broccoli, pH, soluble solids, titratable acidity, Hue angle, luminosity, chroma and firmness were evaluated. The results showed that different soil water replacements distributed in different phenological stages in broccoli culture did not significantly alter the evaluated qualitative parameters. Water deficit causes major losses in broccoli production during the first two phenological stages, stage C was considered the least critical. Shortfall of 30% of ETC in stage C of broccoli crop there was only a 7% drop in yield, while the same deficit in stage A and B, there was a drop of 30% and 23% respectively.

Keywords: *Brassica oleracea* var. *italica*. Water management. Irrigation.

1 INTRODUÇÃO

O brócolis (*Brassica oleracea* var. *italica*) é uma planta semelhante à couve-flor que apresenta inflorescências laterais (tipo ramoso), ou, uma inflorescência central compacta (cabeça única), ambas de coloração verde-escura (RODRIGUES et al., 2013). O brócolis é composto por 90,7% de água, rica em proteínas, cálcio e vitaminas A, B e C. No Brasil, o plantio do brócolis de cabeça única vem aumentando devido ao segmento de congelados (SCHIAVON JR, 2008).

A cultura do brócolis é muito exigente em água, se tornando necessário quantificá-la ao longo do ciclo para a obtenção de maior produtividade e qualidade do produto final, principalmente durante a formação da inflorescência (SCHIAVON et al., 2015).

O mundo atualmente vive um paradigma: a produção deverá aumentar para atender a demanda de uma população crescente, em contrapartida, os meios para esta produção (terra, água e insumos) vem se limitando a cada dia. Esse cenário estimula uma série de atitudes para racionalizar o uso dos recursos disponíveis, sem ter a produtividade prejudicada (VILLAS BOAS, 2003).

A irrigação regulada por déficits (*Regulated deficit irrigation* – RDI) foi identificada como uma das principais tecnologias de economia de água na agricultura (CHAI et al., 2014).

A RDI baseia-se no princípio de que a resposta das plantas cultivadas ao estresse hídrico varia em diferentes estádios de crescimento, e uma menor lâmina aplicada à cultura em estádios não críticos pode não reduzir a produção normal da planta (GARCÍA DEL MORAL et al., 2003). No entanto, faltam informações detalhadas sobre a definição, princípios científicos ou práticas específicas de RDI. Pouco se sabe sobre como essa tecnologia pode ser praticada efetivamente na agricultura do mundo real (CHAI et al., 2016).

Nesse contexto, fica evidente a importância do manejo da água na agricultura irrigada, visando o uso racional dos recursos hídricos e uma maior eficiência desse recurso ao longo do processo produtivo.

Considerando que a disponibilidade e a utilização da água têm sérias consequências socioeconômicas e políticas, é sugerido uma integração entre institutos de pesquisa e agricultores para desenvolver tecnologias com o foco em obter eficiência de distribuição de água, eficiência de cultivo e eficiência de aplicação no campo. Com a integração, o problema da escassez de água pode ser reduzido e até mitigado.

Diante da necessidade da utilização da água de forma eficiente, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes níveis de reposição de água no solo em diferentes estádios fenológicos do brócolis, cultivada em ambiente protegido.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Irrigação regulada por déficits

As previsões de retirada de água em escala global preveem aumentos acentuados na demanda futura para atender às necessidades dos setores urbano, industrial e ambiental. Isso se deve ao fato de mais de um bilhão de pessoas ainda não terem acesso a água encanada ou instalações sanitárias e também à atenção insuficiente prestada, até agora, para atender às necessidades de água dos ecossistemas naturais (FERERES; SORIANO, 2007).

Alimentos saudáveis produzidos de maneira sustentável a preços acessíveis são uma necessidade na sociedade contemporânea. Nesse contexto, são necessários estudos para planejar a quantidade mínima necessária de água para as culturas para o desenvolvimento, não apenas para economizar água e/ou energia, mas também para melhorar a aptidão das plantas para lidar com o estresse biótico e abiótico, mesmo após a colheita, e para melhorar propriedades nutricionais, funcionais e sensoriais dos alimentos (NORA et al., 2012).

A conscientização do crescente impacto do estresse ambiental levou a esforços mundiais na adaptação da produção agrícola a condições ambientais adversas, com foco na mitigação de perdas quantitativas de rendimento (GODFRAY et al., 2010). Muito menos atenção tem sido dedicada ao impacto de estresses ambientais abióticos na qualidade das culturas (WANG; FREI, 2011).

A agricultura irrigada é considerada o principal usuário de água globalmente, no entanto, a agricultura irrigada ainda é praticada em muitas áreas do mundo com total desconsideração dos princípios básicos de conservação e sustentabilidade de recursos. Portanto, a água de irrigação em uma época de escassez de água deverá ser utilizada com mais eficiência, visando economizar água e maximizar sua produtividade (FERERES; SORIANO, 2007).

Ao procurar estratégias e práticas de economia de água para a agricultura, é preciso determinar a relação entre disponibilidade de água, consumo de água, respostas e desempenho de uma cultura. A terminologia usada nos estudos de economia de água inclui a evapotranspiração (ET), consumo de água na lavoura, produtividade da água na lavoura e eficiência do uso da água (CHAI, 2014).

A evapotranspiração, ou seja, a água transferida para a atmosfera pelos processos de evaporação da superfície do solo e pela transpiração da planta, normalmente refere-se ao consumo de água de uma cultura (COELHO FILHO et al., 2011).

É sabido que a evaporação e a transpiração são os dois processos que ocorrem simultaneamente em um sistema de cultivo no solo (TURNER et al., 2001). A evaporação do solo é determinada principalmente pela disponibilidade de água no solo superficial e pela fração de radiação solar que atinge a superfície do solo (ALLEN et al., 1998). Quando uma cultura está no estágio inicial, a água da superfície do solo é predominantemente perdida pela evaporação do solo, pois uma grande proporção da superfície do solo é exposta à radiação solar. À medida que o dossel das culturas se fecha gradualmente com o desenvolvimento das culturas, a transpiração das plantas se torna o processo principal (CHAI, 2014). O método padronizado pela FAO para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) é o método Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998).

Pelo conhecimento do valor da evapotranspiração, o consumo hídrico de uma cultura é um parâmetro importante para estimar o desenvolvimento vegetativo e, principalmente, a produtividade (SOUZA; SILVA, 2013).

Na atualidade a estratégia paradigmática de irrigação era fornecer às áreas irrigadas água suficiente para que as culturas transpirassem em seu potencial máximo e que todos os requisitos de ET fossem atendidos ao longo do ciclo. Essa abordagem é cada vez mais desafiada em regiões onde a água é escassa, devido às grandes quantidades de água necessárias à irrigação e aos efeitos negativos que esses desvios e usos têm sobre a natureza. Com isso, está ocorrendo uma mudança estratégica no gerenciamento da irrigação, porém reduzir a ET sem penalidade na produção agrícola é muito difícil, pois a evaporação dos dosséis das culturas está fortemente associada à assimilação de carbono (STEDUTO et al., 2007).

A irrigação regulada por déficits (*Regulated deficit irrigation* – RDI) foi identificada como uma das principais tecnologias de economia de água na agricultura (CHAI et al., 2014). Em muitas culturas hortícolas, a RDI demonstrou melhorar não apenas a eficiência da utilização da água, mas também o lucro líquido dos agricultores (NORA et al., 2012).

A RDI é geralmente definida como uma prática de irrigação, na qual uma cultura é irrigada com uma quantidade de água abaixo do requisito completo para o crescimento ideal das plantas, isso é, reduzir a quantidade de água usada para irrigar as culturas, melhorar a resposta das plantas a um certo grau de déficit hídrico de maneira positiva e reduzir as quantidades de irrigação, e aumentar a eficiência na utilização da água (CHAI et al., 2016).

A irrigação por déficit com base em estádios é um método que consiste em aplicar a RDI em diferentes estádios do desenvolvimento da planta, com água aplicada para atender à evapotranspiração total das plantas nos estádios críticos de crescimento e menos aplicada nos estádios de crescimento não crítico (CHAI et al., 2016).

O princípio por trás dessa abordagem é que a resposta das plantas ao estresse hídrico induzido pela RDI varia com os estádios de crescimento e que menos irrigação aplicada às plantas em estádios não críticos pode não causar um impacto negativo significativo na produtividade das plantas, embora possa reduzir o crescimento normal das mesmas. O manejo da água da agricultura irrigada insere-se uma decisão a ser tomada com base no conhecimento das relações água-solo-planta-atmosfera. É necessário predeterminar as fases críticas de crescimento para uma espécie de cultura específica e avaliar a sensibilidade relativa das plantas cultivadas ao déficit hídrico em vários estádios em seu ciclo de vida, assim conhecendo os períodos quando a falta ou o excesso provocariam quedas de produção (CHAI et al., 2016).

É importante uma análise diferenciada do estresse por falta de água nos diferentes estádios de crescimento e desenvolvimento das plantas. O efeito do estresse hídrico é perceptível quando a existência de um sistema radicular pouco desenvolvido não permite a sobrevivência prolongada, e principalmente nas fases reprodutivas por causa das perdas na produtividade do vegetal (MAROUELLI; SOUSA, 2011).

O estresse hídrico pode gerar uma adaptação passiva das plantas a uma condição de escassez de água, mas um déficit regulado por meio de um tratamento de irrigação direcionado pode ser usado como um meio ativo de melhorar a qualidade da produção agrícola e a eficiência da utilização da água (DU et al., 2015).

Kuşçu et al. 2014, observaram que no tomate, a aplicação da irrigação total até o início do estágio de amadurecimento das frutas e a interrupção da irrigação após esse período podem ser recomendadas como ideais, pois alcançou uma economia de água de irrigação de 33%, aumento de 42% na eficiência na utilização da água para irrigação, um conteúdo satisfatório de sólidos solúveis em frutas e um lucro líquido aceitável com uma perda de rendimento de apenas aproximadamente 5% em comparação com a irrigação total.

Em um estudo de 5 anos com ameixa japonesa (*Prunus thibetica*), a aplicação de RDI na pós-colheita em 60 e 30% de água da testemunha (100%) ajudou a economizar 39 e 70%, respectivamente, em comparação com a testemunha, sem causar redução no rendimento ou na qualidade dos frutos (SAMPERIO et al. 2015).

Uma curta duração do déficit hídrico durante os estádios de plantio no milho (*Zea mays*) reduziu a produção de biomassa em 30% e a produção de grãos em até 40% (ÇAKIR, 2004). Nas planícies do sul dos Estados Unidos da América, o estresse hídrico reduziu o rendimento da soja (*Glycine max*) em 9 a 13% quando imposto durante a floração precoce até a fase de plena floração, em 46% quando imposto durante o desenvolvimento inicial da vagem e em 45% quando imposto no final do período de crescimento (ECK et al. 1987).

Em um clima mediterrâneo, o estágio de crescimento mais sensível do trigo (*Triticum aestivum*) está no alongamento e inicialização do caule, seguido de antese e enchimento de grãos (GARCÍA DEL MORAL et al., 2003).

Vários mecanismos são responsáveis pelo uso reduzido de água ou pelo aumento da eficiência do uso da água para as plantas sob estresse hídrico induzido por RDI. As plantas com déficit hídrico leve podem melhorar a rede de transdução de sinal de célula de guarda que controla a perda de água das folhas através da transpiração para a atmosfera (SCHROEDER et al. 2001), podem promover um ajuste osmótico mais alto, particularmente quando o estresse hídrico leve é aplicado nos estádios iniciais de crescimento (YACTAYO et al. 2013), podem permitir o desenvolvimento da resistência à seca por estímulos parciais à seca (XU et al. 2011) e também reduzir a perda de transpiração “luxuosa” sem ou com impacto mínimo na fotossíntese (YANG et al. 2012).

Os efeitos da RDI na qualidade final dos produtos variam de acordo com as espécies de cultivo ou com as características de qualidade avaliadas (CHAI et al., 2016).

No pêssogo (*Prunus persica L*), a RDI aplicada durante a parte tardia do crescimento dos frutos aumentou a razão entre o teor de sólidos solúveis e a acidez titulável com uma coloração mais avermelhada na pele das frutas, representando uma grande melhoria na qualidade das frutas (GELLY et al., 2004), nas uvas e no vinho Monastrell, o estresse hídrico imposto pela RDI diminuiu substancialmente a intensidade da cor, o teor de açúcar e a concentração de antocianina (ROMERO et al., 2013). Foi apresentado um exemplo de como a RDI pode ajudar a melhorar os atributos de qualidade, mas em outros casos, a prática de irrigação por déficit pode ter efeitos adversos na qualidade final em alguns produtos.

A resposta da RDI é muito dependente do momento e do grau de severidade dos déficits hídricos (MARSAL; GIRONA, 1997). Mais pesquisas são necessárias para elucidar a base das respostas observadas, tendo em vista as interações entre o estresse hídrico e a produtividade e qualidade da colheita (NAOR et al., 1999).

2.2 Importância do manejo de irrigação

Globalmente, as áreas irrigadas produzem mais de 40% dos alimentos, fibras e culturas bioenergéticas e utiliza menos de 20% da área terrestre dedicada à produção de alimentos (BORGHETTI et al., 2017).

O aumento da irrigação resulta, em geral, em aumento da utilização da água. Por outro lado, os investimentos neste setor resultam, também, em aumento substancial da produtividade

e do valor da produção, diminuindo a pressão pela incorporação de novas áreas para cultivo (ANA, 2017b).

No Brasil, em áreas irrigadas a produtividade média obtida é pelo menos 2,7 vezes maior que a obtida por meio da agricultura tradicional de sequeiro, que é dependente do regime irregular e inconstante de chuvas (BORGHETTI et al., 2017). O Brasil está entre os dez países com a maior área equipada para irrigação do mundo. China e a Índia são os líderes mundiais, com cerca de 70,0 milhões de hectares cada, seguidos dos EUA (26,7 milhões de hectares), do Paquistão (20,0 milhões de hectares) e do Irã (8,7 milhões de hectares). O Brasil aparece no grupo de países que possui área entre 4 e 7 milhões de hectares, que inclui Tailândia, México, Indonésia, Turquia, Bangladesh, Vietnã, Uzbequistão, Itália e Espanha. Entretanto, os países líderes em irrigação estão próximos do aproveitamento total do seu potencial estimado, já a irrigação no Brasil é considerada pequena frente ao potencial estimado, considerando a área agrícola total, a extensão territorial e ao conjunto de fatores físico-climáticos favoráveis, inclusive a boa disponibilidade hídrica (ANA, 2017b).

No passado a utilização da irrigação era uma opção técnica de aplicação de água que visava principalmente à luta contra a seca. Com mudanças ao longo do tempo a agricultura irrigada vem sendo uma importante estratégia para otimização da produção mundial de alimentos, possibilitando desenvolvimento sustentável no campo, com geração de empregos e renda de forma estável. Atualmente, mais da metade da população mundial depende de alimentos produzidos em áreas irrigadas (MANTOVANI et al., 2009).

Hortaliças e plantas que apresentam ciclo curto sofrem muito mais os efeitos de deficiência hídrica do que as espécies perenes (MAROUELLI; SOUSA, 2011). A deficiência de água é, normalmente, o fator mais limitante para a obtenção de produtividades elevadas e produtos de boa qualidade. A reposição de água ao solo através da irrigação, na quantidade e no momento oportuno, possibilita ganhos significativos de produtividade e receita líquida (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 1996).

A água é o insumo fundamental para a técnica da agricultura irrigada, é um recurso finito e tem sofrido crescente demanda, das mais diversas origens, em um cenário com visível escassez. O Brasil, possui aproximadamente 12% das águas doces superficiais do planeta, e pode ser considerado um dos principais celeiros da produção de alimentos, fibras e biocombustíveis, assim, tendo em vista seu papel significativo na produção agrícola mundial, não se pode dispensar o compromisso de produzir com responsabilidade e dentro dos preceitos de sustentabilidade (BORGHETTI et al., 2017).

A preocupação com a utilização eficiente da água na agricultura irrigada não deve estar somente no consumo de água pelas plantas, mas também no aumento da escassez de água de boa qualidade, agravando a competição entre os diversos setores que dela dependem (MAROUELLI et al., 2011).

Embora a agricultura irrigada seja, geralmente, associada a um elevado nível tecnológico, é consenso que a irrigação no Brasil é ainda praticada de forma inadequada. Estima-se que de toda água captada para fins de irrigação apenas 50% seja utilizada pelas plantas. O problema ocorre principalmente por não adotarem critérios técnicos para o manejo de irrigação e o uso de sistemas de irrigação com baixa eficiência de aplicação de água (MAROUELLI; SOUSA, 2011). Nas áreas irrigadas com olerícolas é comum observar a inexistência de manejo da irrigação, o que gera desperdício de água e energia, prejuízos na produção, lixiviação de nutrientes, incidência de pragas além de problemas socioambientais (OLIVEIRA, 2015).

A racionalização da utilização de água na agricultura irrigada, diferente do que é apresentado por muitos, não se faz apenas pela conversão ou adoção de sistemas de irrigação notoriamente mais eficientes, como o gotejamento, mas também pelo uso de estratégias racionais para o manejo de irrigação (quando e quanto irrigar), de programas eficientes de manutenção de sistemas de irrigação, de práticas de cultivo que minimizem as perdas de água por evaporação, escoamento superficial ou percolação profunda. Além de minimizar o desperdício de água e reduzir impactos ambientais, a adoção e o uso de tecnologias poupadoras de água proporcionam ganhos significativos de produtividades e, dessa forma, proporciona maior sustentabilidade econômica ao produtor (MAROUELLI; SOUSA, 2011).

O primeiro passo para ter o recurso da água utilizado com máxima eficiência, é a escolha do método e do sistema de irrigação, passando por uma avaliação incluindo a disponibilidade e a qualidade da água, e de componentes socioeconômicos e ambientais. Após a seleção de método e do sistema, a eficiência quali-quantitativa da utilização da água passa a ser função do manejo adequado das culturas (ANA, 2017a). Para o manejo adequado da água de irrigação é necessário o controle diário da evapotranspiração, durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura. O conhecimento de parâmetros relacionados às plantas, ao solo e ao clima é de extrema importância para determinar o momento apropriado para irrigar e o quanto de água aplicar (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 1996).

As questões sobre o momento de irrigar e a quantidade de água a aplicar são básicas no manejo da água de irrigação. O manejo deve ser feito visando a fornecer água as plantas em quantidade suficiente para prevenir o estresse hídrico, favorecendo incremento de

produtividade e qualidade da produção, e minimizar o desperdício de água, a lixiviação de nutrientes e a degradação do meio ambiente. Isso envolve a decisão de irrigar em quantidades que possam ser armazenadas no solo, na camada correspondente a zona radicular, e em intervalos suficientes para atender a demanda de água das plantas (MAROUELLI et al., 2011).

Embora seja difícil comparar os diferentes métodos de irrigação e práticas de manejo, existe na microirrigação grande potencial para aumentar a produtividade das culturas, uma vez que ela permite, com relativa facilidade, melhor controle da água e dos nutrientes na zona radicular (FRIZZONE et al., 2012).

Com isso, além de proporcionar ganhos significativos de produtividade e melhor qualidade na produção, irrigações adequadas realizadas a partir de métodos de manejo, reduzem impactos ambientais, permitindo minimizar o gasto de água, energia, perdas de nutrientes por lixiviação e a incidência de pragas, com conseqüente diminuição no uso de produtos para seu controle, dessa maneira proporcionando maior sustentabilidade econômica ao produtor (SCHIAVON et al., 2015).

2.3 Cultura do brócolis

O brócolis (*Brassica oleracea* var. *italica*) pertence à família Brassicaceae, da qual também fazem parte a couve-flor, o repolho, a couve e espécies distintas como a mostarda, o nabo, o rabanete, o agrião, entre outras (SCHIAVON et al., 2015). O centro de origem do gênero *Brassica* é a região do Mediterrâneo e sua expansão ocorreu pela Europa, onde vem sendo cultivado desde os tempos antigos (MELO, 2007).

Cada 100 g da inflorescência do brócolis contém: 3,8% de fibras; 29,4 Kcal 90,69% de água; 350 µg de vitamina A (retinol); 54 µg de vitamina B (tiamina); 350 µg de vitamina B2 (riboflavina); 1,681 µg de vitamina B5 ; 82,7 mg de vitamina C; 0,045 mg de cobre (Cu); 25 mg de magnésio (Mg); 0,229 mg 22 de manganês (Mn); 0,400 mg de zinco (Zn); 325 mg de potássio (K); 27 mg de sódio (Na); 400 mg de cálcio (Ca); 15 mg de ferro (Fe); 70 mg de fósforo (P) (SCHIAVON et al., 2015).

Hortaliças, especialmente as pertencentes à família Brassicaceae, se destaca por apresentar uma diversidade de compostos bioativos, como agentes antioxidantes que agem sobre os radicais livres produzidos no organismo humano, ajudando na prevenção de diversas doenças graves que atingem a população, como alguns tipos de cânceres (ARES et al., 2014).

Das hortaliças, a produção de brócolis e couve-flor foi estimada, no ano agrícola de 2017, em aproximadamente 26 milhões de toneladas no mundo, com o total de 1,4 milhões de

hectares de área cultivada, tendo uma produtividade média de 19 toneladas por hectare. Os países com maior representação no segmento são a China (40,21%), Índia (32,93%), Estados Unidos da América (5,03%), Espanha (2,65%) e México (2,64%) (FAOSTAT, 2019). A aceitação e a oferta dessa hortaliça aumentaram e o brócolis pode ser encontrado nos supermercados fresco, congelado ou minimamente processado.

O Brasil é o maior produtor de brócolis da América do Sul, com 48% do cultivo total de vegetais (TAGUSHI, 2017). No Brasil, a produção de brócolis foi, em 2017, de 272.008 toneladas. Os Estados que mais produzem brócolis são Rio Grande do Sul, São Paulo e Minas Gerais, tendo como maior produtor o Estado do Rio Grande do Sul, com 51% da produção nacional (IBGE, 2017).

São cultivados dois grupos de brócolis em função de seu hábito de crescimento (TREVISAN, 2013). Um é conhecido como ramoso, que apresenta várias pequenas inflorescências, desenvolve muitas brotações laterais com múltiplas colheitas e comercializadas com talos e maços. O outro é o de cabeça única, que apresenta uma inflorescência central grande, formada no ápice caulinar (SCHIAVON JÚNIOR, 2008).

O brócolis de cabeça única vem ganhando espaço com o crescimento de grandes redes de cozinhas industriais e de “fast food”, principalmente na forma congelada, o qual requer inflorescência compacta, para obter maior qualidade (SEABRA JÚNIOR, 2005).

Pesquisas em melhoramento genético com esse vegetal tem possibilitado a obtenção de novas cultivares adaptadas a clima quente. O produtor deve conhecer as características climáticas locais para permitir o correto manejo da cultura. Os fatores climáticos influenciam as características de desempenho da cultura, como duração do ciclo, precocidade da colheita, fitossanidade, produtividade, qualidade do produto e preço de mercado (FILGUEIRA, 2008). As temperaturas ótimas oscilam entre 20 a 24°C para a fase vegetativa e entre 15 a 18°C para a fase reprodutiva (SCHIAVON, 2015).

Em relação ao solo, o brócolis é uma hortaliça medianamente resistente à salinidade. O pH ótimo para seu desenvolvimento oscila entre 6,5 e 7,0. Valores menores aumentam as carências de molibdênio (Mb) e valores maiores aumentam as carências nutricionais, especialmente de elementos como manganês (Mn) e boro (B) (SCHIAVON, 2015).

Para atingir produtividade máxima e qualidade do produto final, a cultura do brócolis requer umidade no solo, principalmente durante a formação da inflorescência. A necessidade hídrica de uma cultura é dada pela evapotranspiração, ou seja, pela perda de água do solo (evaporação) e da planta (transpiração) para a atmosfera. É indispensável fazer a reposição dessa perda para que não prejudique a produção (SCHIAVON et al., 2015).

O déficit hídrico na cultura do brócolis ocasiona a formação de caule oco, doenças e também pode prejudicar a formação da inflorescência. Com isso, a irrigação é uma alternativa viável para melhorar a produção dessa hortaliça (RODRIGUES et al., 2013).

Existem vários métodos para determinar quando irrigar o solo e quanto de água aplicar. A determinação do consumo de água das culturas tem como base informações relacionadas nos componentes do sistema solo-planta-atmosfera. Nesse sistema a entrada de água ocorre por meio das irrigações e precipitações pluviais, já a saída ocorre principalmente por evapotranspiração e por percolação profunda (OLIVEIRA, 2014).

2.4 Cultivo protegido

O cultivo em ambiente protegido tem apresentado um conjunto de benefícios, tais como aumento de produtividade; controle total ou parcial dos fatores climáticos; melhoria na qualidade dos produtos; diminuição na sazonalidade da oferta, conferindo maior competitividade pela possibilidade de oferecer produtos de qualidade o ano todo; melhor aproveitamento dos fatores de produção, principalmente adubos, defensivos e água; fixação do homem no campo, diminuindo o êxodo rural e gerando empregos; melhoria nas condições do ambiente de trabalho; e opção de aumento da rentabilidade dos produtores (MARTINS, 2003). Contudo, apesar das vantagens anteriormente mencionadas, o manejo inadequado da irrigação e da adubação via água de irrigação constitui uma das principais causas de salinização nas condições de cultivo protegido (COELHO; OR; SOUSA, 2011).

O cultivo de hortaliças em ambiente protegido vem se expandindo entre produtores devido a exploração racional de pequenas áreas e à garantia de colheita, permitindo a obtenção de produções elevadas e de melhor qualidade (QUEIROZ; TESTEZLAF; MATSURA, 2004).

A evapotranspiração no cultivo em ambiente protegido é menor quando comparada ao cultivo a céu aberto, em geral, em torno de 60-80% da evapotranspiração verificada no ambiente externo. Este fato ocorre devido à parcial opacidade da cobertura plástica e a redução da ação dos ventos, que são os principais fatores da demanda evaporativa da atmosfera. Embora a temperatura e a umidade relativa do ar, em alguns momentos, possam atingir valores maiores no interior do ambiente protegido, com estreita dependência com as condições meteorológicas (SOARES, 2001).

De acordo com Santos e Pereira (2004), o manejo da irrigação permite o uso racional da água de irrigação e ganhos significativos de produtividade, e apesar da importância do cultivo em ambiente protegido para a olericultura brasileira, ainda faltam muitos resultados de

pesquisa que contribuam para o aproveitamento do potencial dessa tecnologia nas diferentes regiões climáticas do país, especialmente no que tange ao adequado manejo da irrigação.

2.5 Microirrigação por gotejamento

A microirrigação por gotejamento caracteriza-se por aplicar água no solo, de forma localizada, diretamente sobre a área de maior concentração do sistema radicular das plantas, em pequena intensidade, porém com alta frequência, gerando com isso uma zona com alto grau de umidade em um pequeno volume de solo e não ocasionando o molhamento do dossel vegetativo. A água é aplicada no solo em forma de pequenas gotas, utilizando-se geralmente baixa pressão de serviço, tendo menor demanda de energia e alta eficiência na utilização da água e fertilizantes, resultando em uma maior quantidade e qualidade do produto (BASTOS et al., 2011; FRIZZONE et al., 2012).

Na última década, tenta-se alcançar a otimização da produção agrícola por unidade de área, significando também o benefício, pela aplicação de novas tecnologias na agricultura.

A competição pela água entre consumidores agrícolas, industriais e urbanos cria a necessidade de melhoria contínua das práticas de irrigação na produção de vegetais no mundo. A utilização eficiente da água na por gotejamento pode contribuir substancialmente para a sua melhor utilização na agricultura, e eficácia da irrigação (SEZEN et al., 2006). Estudos anteriores mostraram que a irrigação por gotejamento é o método mais adequado para as hortaliças e é possível aumentar a eficiência da utilização da água por programas de irrigação bem programados, como brócolis (THOMPSON et al., 2002), pepino (YUAN et al. al., 2006), berinjela (AUJLA et al., 2007) e tomate (ÇETIN E UYGAN, 2008).

No Brasil, a microirrigação e a aspersão por pivô central, que são os grupos mais eficientes na utilização da água, representaram cerca de 70% do incremento de área irrigada entre 2006 e 2016. Para avaliar a eficiência de aplicação de água, uma pesquisa foi conduzida na bacia do rio São Francisco em 55 projetos, sendo 33 com microirrigação (gotejamento e microaspersão) e 22 em aspersão (convencional, canhão e pivô central). As eficiências médias foram, respectivamente, de 79,1% e 70,3%. O estudo destacou a baixa adequação das lâminas de água aplicadas em relação às requeridas pelas plantas, havendo lâminas de água superiores ou, na maioria dos casos, inferiores às requeridas (ANA, 2017a).

Um adequado sistema de irrigação deve ser capaz de fornecer ao produtor a possibilidade de fazer uso do recurso água com a máxima eficiência, aumentando a

produtividade das culturas, reduzindo os custos de produção e, conseqüentemente, maximizando o retorno dos investimentos (BASTOS et al., 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no período de maio a agosto de 2019 em ambiente protegido, localizado no Centro Técnico de Irrigação (CTI) do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá (UEM) situado no município de Maringá-PR, 23°25'S e 51°57'O e 542 m de altitude média. O clima, classificado segundo Koppen, é do tipo Cfa subtropical mesotérmico úmido, com média anual de precipitação de 1500 mm, mantendo a média anual de temperatura de 28 a 29 °C (CAVIGLIONE et al., 2000).

O ambiente protegido possui 25,0 m de comprimento, 7,0 m de largura e 3,5 m de pé direito, com teto em arco, revestido com filme de polietileno de baixa densidade (150 µm de espessura) e laterais protegidas com tela branca antiafídeo.

3.2 Preparo da área experimental

O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 2018). Coletou-se uma amostra composta na profundidade de 0 - 0,20 m e encaminhada para laboratório de análise de solo para caracterização química (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química do solo

pH CaCl ₂	pH SMP	M.O (g dm ³)	C (g dm ³)	P (mg dm ³)	K (cmol _c dm ³)	Ca ⁺² (cmol _c dm ³)
6,6	7,1	20,13	11,68	69,13	0,51	6,43
Mg ⁺² (cmol _c dm ³)	Al ⁺³ (cmol _c dm ³)	H ⁺ Al ⁺³ (cmol _c dm ³)	SB (cmol _c dm ³)	CTC (cmol _c dm ³)	V (%)	B (mg dm ³)
1,87	0,00	2,12	8,81	10,93	80,60	0,37
Cu (mg dm ³)	Zn (mg dm ³)	Fe (mg dm ³)	Mn (mg dm ³)			
14,34	9,36	78,42	119,10			

A análise textural do solo resultaram granulometria de 122,60 g kg⁻¹ de areia, 120,60 g kg⁻¹ de silte, 756,80 g kg⁻¹ de argila e densidade média do solo de 1,34 mg m⁻³ (TRINTINALHA, 2005).

Foram construídos no interior do ambiente 48 canteiros, no sentido transversal ao sentido da estufa, tendo 3,0 m de comprimento e 0,5 m de largura cada. A adubação de base foi

realizada com base na análise de solo e nas recomendações de Trani (1996). Foram aplicados via solo, nitrogênio (60 kg ha^{-1}), fósforo (200 kg ha^{-1}) e potássio (120 kg ha^{-1}), na forma de ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente.

Na instalação da cultura, utilizou-se o espaçamento de 1,0 m entre linhas 0,5 m entre plantas, e o sistema de irrigação utilizado foi de microirrigação por gotejamento, contendo em cada canteiro 10 gotejadores autocompensantes de vazão 4 L h^{-1} espaçados em 0,25 m e operando com pressão de 10 m.c.a.. Para o manejo de irrigação foi instalado no início de cada linha lateral um registro, possibilitando o controle das irrigações.

3.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com 12 tratamentos e quatro repetições, em um esquema fatorial 4×3 , onde se avaliou quatro níveis de reposição de água (55%, 70%, 85% e 100% da evapotranspiração) aplicados em três estádios fenológicos: A) estágio inicial: do plantio até a planta possuir 7 a 10 folhas; B) estágio intermediário: de 7 a 10 folhas até o surgimento da inflorescência no meristema; C) estágio final: do surgimento da inflorescência até a colheita, definidos de acordo com Allen et al. (1998). A parcela experimental foi composta por 6 plantas espaçadas 0,5 m entre si. Foram coletadas duas plantas centrais de cada parcela para a avaliação dos componentes da planta. Ressalta-se que a diferenciação das reposições aconteceu apenas dentro de cada fase. Quando não estavam no período de aplicação do respectivo tratamento era feita a irrigação plena.

3.4 Condução da cultura

Foi utilizado o brócolis híbrido BRO 68 (Syngenta), que apresenta a cabeça ou inflorescência como o único componente de produção. A empresa detentora de seu registro (SYNGENTA DO BRASIL, 2019) o caracteriza como uma planta aberta com pouca folha, altura média 50,80-55,90 cm, ausência de talo oco, peso da cabeça de 350 g, diâmetro de 12,70-20,30 cm, cabeça semiglobular, com ciclos de 80-85 dias no outono e 85-90 no inverno. Tem como finalidade o mercado fresco e para regiões de clima quente o cultivo é indicado nas épocas de outono e inverno.

As mudas foram produzidas em bandejas de poliestireno, de 200 células, com substrato de fibra de coco e abrigadas em casa de vegetação até o transplântio, que ocorreu dia 23 de maio de 2019, quando as mesmas apresentavam de três a quatro folhas definitivas.

A adubação de cobertura foi realizada aplicando ureia e cloreto de potássio, aos 15, 30, 45 e 60 dias após o transplântio (DAT). Além disso, 15, 30 e 45 DAT foi aplicado boro, via foliar, na forma de ácido bórico (1 g L^{-1}). Aos 15 DAT foi aplicado molibdênio, via foliar, na forma de molibdato de amônio ($0,5 \text{ g L}^{-1}$).

Durante o período do experimento não houve aparecimento de doenças. O controle de pragas foi realizado conforme necessidade da cultura considerando a incidência na área dos experimentos, quando identificadas, foram administradas doses de Decis 25 EC® para o controle, seguindo as recomendações do fabricante. O controle de plantas daninhas foi realizado por capina manual evitando que a interferência sobre a cultura pudesse ocasionar efeitos negativos no crescimento, desenvolvimento e produção da cultura.

O manejo da irrigação foi baseado nas condições do clima, através da evapotranspiração da cultura (ETc) que foi estimada de acordo com a Equação (1) (ALLEN et al., 1998), e tinha a frequência pré-estabelecida, sendo as irrigações iniciadas as 8:00 horas na segunda, quarta e sexta feira.

$$ETc = Kc.ETo \quad (1)$$

Em que:

ETc: evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1});

Kc: coeficiente de cultura, adimensional, apresentado na tabela 2;

ETo: evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}).

Tabela 2. Valores médios dos coeficientes da cultura do brócolis (Kc)

Estádio	Kc
Inicial	0,70
Intermediário	1,05
Final	0,95

Fonte: Allen et al., 1998.

Para a estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), foi utilizado o método Penman-Monteith, padronizado pela FAO (Equação 2) conforme Allen et al. (1998). No início do manejo, durante os 14 primeiros dias, a mesma lâmina de água foi aplicada em todos os tratamentos para o estabelecimento da cultura em campo. Os dados climáticos necessários para o método foram obtidos na estação meteorológica automática instalada no centro do ambiente protegido.

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)} \quad (2)$$

Em que:

ET_o : evapotranspiração de referência (mm dia^{-1});

R_n : saldo de radiação a superfície ($\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$)

T : Temperatura ($^{\circ}\text{C}$);

U_2 : Velocidade do vento (m s^{-1});

γ - Constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$);

e_a - pressão atual de vapor do ar (kPa);

e_s - pressão de saturação de vapor (kPa);

Δ - Declividade da curva de pressão de saturação de vapor ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

3.5 Avaliação dos componentes de produção

Quando as inflorescências estavam com o tamanho indicado para a cultivar, compactas e bem desenvolvidas, a altura, o diâmetro do caule e o número de folhas das plantas foram medidos à campo e na sequência seccionadas na altura do solo e levadas para laboratório para realizar as avaliações. No laboratório, inicialmente as plantas foram separadas em caule, folhas e inflorescências (Figura 1).



Figura 1. Plantas de brócolis separadas em caule, folhas e inflorescência.

As inflorescências foram inicialmente medidas quanto ao seu diâmetro e altura, utilizando para isso fita métrica graduada. Na sequência as inflorescências e o caule foram pesados, para mensuração da massa fresca da cabeça e massa fresca do caule. Em seguida, as cabeças foram cortadas em pedaços menores, e igualmente ao caule, foram colocadas em sacos de papel, e dispostos em estufa de circulação forçada de ar, até atingir peso constante. Após a secagem completa, os mesmos foram pesados para determinação da massa seca da cabeça e massa seca do caule.

Posteriormente foi pesada a massa fresca total das folhas e uma amostra de cinco folhas foi separada e pesada, para o conhecimento da massa fresca da amostra. Após a determinação da área foliar, que foi realizada com o auxílio do equipamento LI-COR modelo LI-3100, a amostra de folhas de massa fresca conhecida foi colocada em estufa de circulação forçada de ar, a $65 \pm 5^\circ\text{C}$, até atingir peso constante. Após a secagem completa das folhas, a amostra seca de folhas foi pesada e, com base neste dado, na massa fresca da amostra e na massa fresca total, foi estimada a massa seca total de folhas.

Após tabulados, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo que os efeitos individuais dos tratamentos e as interações entre os fatores foram comparados pelo teste de Tukey e análise de regressão ao nível de 5% de significância, utilizando o software estatístico SISVAR, versão 5.4 (FERREIRA, 2019).

3.6 Avaliação dos componentes qualitativos

A coloração das inflorescências foi medida utilizando um colorímetro Minolta (Chroma Meter CR-400, Minolta, USA). Na colorimetria de reflexão, o valor L^* representa a luminosidade, a^* representa a variação da cor verde à vermelha, e b^* indica a variação da cor do azul até a amarela. As coordenadas a^* e b^* foram usadas para calcular o ângulo Hue h° (ângulo da tonalidade) e o C^* (cromaticidade), a partir das seguintes equações: $h^\circ = \tan^{-1}(b^*/a^*)$ e $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$, respectivamente.

Foram destacados floretes de cada inflorescência e avaliados quanto à textura através do teste de compressão. Para isso, foi utilizado o texturômetro (CT3, Brookfield, USA), equipado com ponta de prova TA10, programado para trabalhar com uma distância de corte de 15 mm, com carga de trigger de 0,1 N e velocidade do teste de 5 mm/s, sendo a firmeza expressa em Newton (N).

As inflorescências foram colocadas em centrífuga de frutas, assim obtendo o extrato para a determinação do pH, sólidos solúveis e acidez titulável. O pH e o teor de sólidos solúveis foram medidos diretamente no extrato do suco. O conteúdo de sólidos solúveis totais foi determinado com um refratômetro digital portátil, e os resultados foram expressos em °Brix. O pH foi medido com pHmetro, após imersão direta do eletrodo na solução. A acidez titulável foi determinada em g de ácido málico/100 g de amostra, após diluição do extrato (10 mL) em 40 mL de água destilada e titulação potenciométrica com NaOH 0,1 N e pH de viragem de 8,2, conforme metodologia proposta pelo Instituto Adolfo Lutz (2008).

Após tabulados, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo que os efeitos individuais dos tratamentos e as interações entre os fatores foram comparados pelo teste de Tukey e análise de regressão ao nível de 5% de significância, utilizando o software estatístico SISVAR, versão 5.4 (FERREIRA, 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3, são apresentadas as épocas de início e final de cada etapa fenológica (em dias após transplante das mudas - DAT), bem como a sua duração. Observou-se que a etapa de maior duração foi o estágio A, resultando em maior exposição ao déficit hídrico.

Tabela 3. Início, final e duração dos estádios fenológicos do brócolis.

Estádio fenológico	Início (DAT)	Final (DAT)	Duração (dias)
A	15	40	25
B	41	61	20
C	62	81	19

4.1 Parâmetros físicos

A análise de variância das características de produção da cultura do brócolis está apresentada na Tabela 4. Verifica-se que houve interação entre os fatores lâmina de água e estágio fenológico da planta para as variáveis, produtividade, massa fresca da cabeça, massa fresca das folhas e área foliar. O fator lâmina de água quando estudado isoladamente apresentou efeito significativo para produtividade, massa fresca da cabeça, massa fresca das folhas, diâmetro da cabeça, altura da planta, área foliar, massa seca da cabeça e massa seca das folhas. Em relação ao fator estágio fenológico foi possível verificar significância para a produtividade, massa fresca da cabeça, massa fresca das folhas, diâmetro da cabeça, altura da planta e massa seca das folhas.

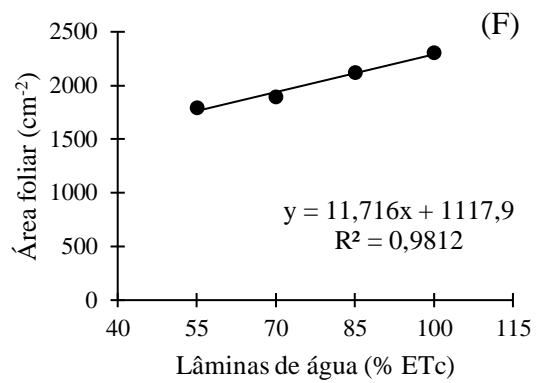
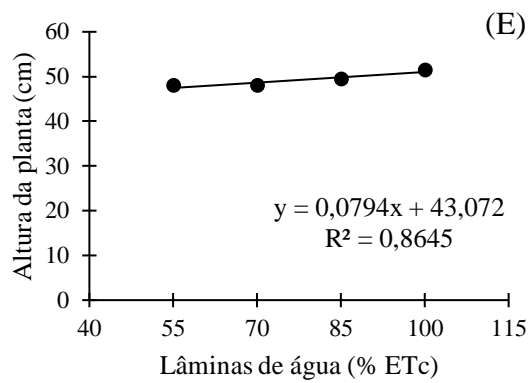
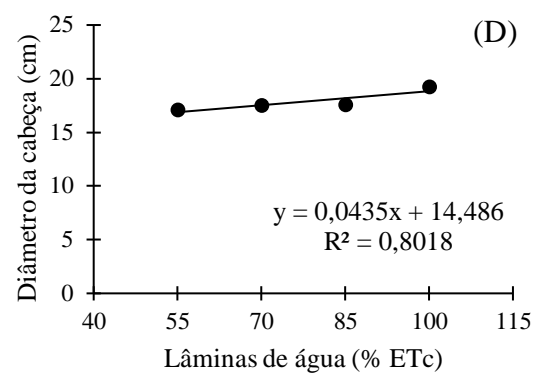
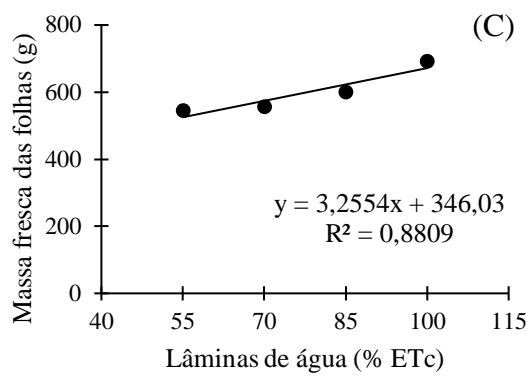
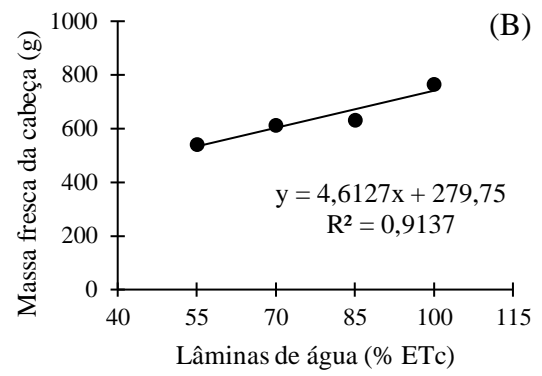
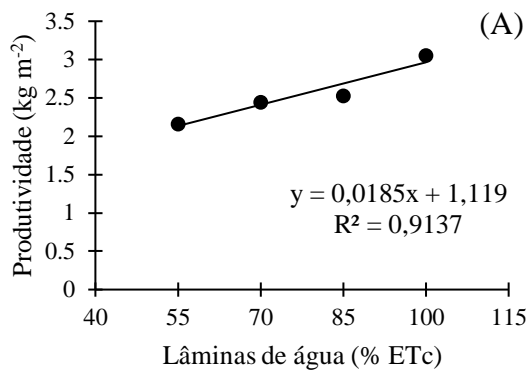
Tabela 4. Resumo da análise de variância para os resultados de produtividade (PROD), massa fresca da cabeça (MFCC), massa fresca das folhas (MFF), massa fresca do caule (MFC), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), altura da cabeça (AC), diâmetro da cabeça (DCC), altura da planta (AP), área foliar (AF), massa seca da cabeça (MSCC), massa seca do caule (MSC) e massa seca das folhas (MSF) da cultura do brócolis em função do estágio fenológico e de lâminas de água, Maringá – PR, 2020

Fonte de variação	GL	Pr>Fc						
		PROD (kg m ⁻²)	MFCC (g)	MFF (g)	MFC (g)	NF	DC (cm)	AC (cm)
Lâmina (A)	3	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,2663 ^{ns}	0,9777 ^{ns}	0,4020 ^{ns}	0,2359 ^{ns}
Estádio (B)	2	0,0069*	0,0069*	0,0300*	0,5697 ^{ns}	0,9303 ^{ns}	0,9493 ^{ns}	0,2069 ^{ns}
A*B	6	0,0447*	0,0447*	0,0108*	0,7030 ^{ns}	0,7923 ^{ns}	0,9936 ^{ns}	0,0566 ^{ns}
Bloco	3	0,9779 ^{ns}	0,9779 ^{ns}	0,9869 ^{ns}	0,1870 ^{ns}	0,0014*	0,0706 ^{ns}	0,0695 ^{ns}
CV (%)		9,63	9,63	6,92	16,28	8,11	6,64	8,21

Fonte de variação	GL	Pr>Fc					
		DCC (cm)	AP (cm)	AF (cm ²)	MSCC (g)	MSC (g)	MSF (g)
Lâmina (A)	3	0,0002*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,9975 ^{ns}	0,0000*
Estádio (B)	2	0,0080*	0,0128*	0,0942 ^{ns}	0,1110 ^{ns}	0,8719 ^{ns}	0,0013*
A*B	6	0,8920 ^{ns}	0,1281 ^{ns}	0,0326*	0,1836 ^{ns}	0,3044 ^{ns}	0,2561 ^{ns}
Bloco	3	0,1549 ^{ns}	0,1878 ^{ns}	0,4957 ^{ns}	0,1030 ^{ns}	0,5081 ^{ns}	0,9288 ^{ns}
CV (%)		6,14	3,15	9,34	15,24	43,79	11,66

*- significativo ao nível de 5%; NS - não significativo ao nível de 5%; GL - graus de liberdade; CV - coeficiente de variação.

As variáveis produtividade, massa fresca da cabeça, massa fresca das folhas, diâmetro da cabeça, altura da planta, área foliar, massa seca da cabeça e massa seca das folhas da cultura do brócolis foram influenciadas pelas lâminas de água aplicadas, sendo possível ajustar modelos de regressão linear crescente, significativo ao nível de 5% de probabilidade para cada uma delas, conforme apresentado nas Figuras 2 A, B, C, D, E, F e H respectivamente.



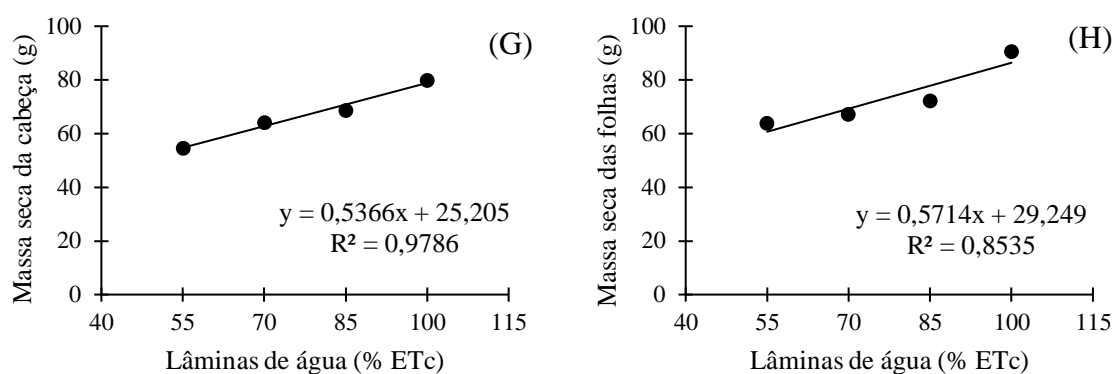


Figura 2. Produtividade (A), massa fresca da cabeça (B), massa fresca das folhas (C), diâmetro da cabeça (D), altura da planta (E), área foliar (F), massa seca da cabeça (G) e massa seca das folhas (H) para a cultura do brócolis em função das lâminas de água, Maringá-PR.

O aumento das lâminas de água proporcionou aumento linear da produtividade, massa fresca da cabeça, massa fresca das folhas, diâmetro da cabeça, altura da planta, área foliar, massa seca da cabeça e massa seca das folhas (Figura 2), ou seja, a cultura do brócolis mostrou-se dependente de um manejo correto da irrigação, sendo, portanto, sensível ao déficit hídrico.

De acordo com Taiz et al. (2017), a resposta mais proeminente das plantas ao déficit hídrico, consiste no decréscimo da produção da área foliar, no fechamento dos estômatos, na aceleração da senescência e da abscisão das folhas, culminando na redução de produção.

Com o aumento do déficit hídrico, a manutenção do turgor é o mecanismo principal de defesa nas plantas que ajuda a lidar com o estresse. Apesar de mecanismos, como a diminuição na condutância estomática auxiliarem na manutenção de turgor, eles acarretam a redução das trocas gasosas da planta, reduzindo as taxas fotossintéticas e, conseqüentemente, o acúmulo de matéria fresca e seca (NAWAZ et al., 2015).

O déficit hídrico pode afetar diferentemente as plantas durante os crescimentos vegetativo e reprodutivo. Quando as células vegetais ficam submetidas ao déficit hídrico, ocorre desidratação celular. O déficit hídrico também induz a acumulação de ácido abscísico (ABA), que promove o fechamento estomático, reduzindo as trocas gasosas e inibindo a fotossíntese. Como consequência do desacoplamento dos fotossistemas induzido pela desidratação, os elétrons livres produzidos pelos centros de reação não são transferidos para NADP⁺, levando a geração de espécies reativas de oxigênio (EROs). As EROs em excesso danificam o DNA, inibem a síntese de proteínas, oxidam os pigmentos fotossintéticos e causam a peroxidação de lipídeos de membrana (TAIZ et al., 2017).

Na Figura 2 A, pode-se observar que o maior valor de produtividade foi verificado quando irrigou-se com reposição de 100% da ETc (3,06 kg m⁻²) correspondendo ao incremento de 71% em relação a lâmina de 55% da ETc. Resultados semelhantes foram relatados por Ayas et al. (2011), quando aplicaram lâminas de irrigação de 100% e 75% da ETc na cultura do brócolis obtiveram valores de 2,92 e 2,75 kg m⁻² respectivamente. Tangune et al. (2016) observaram que o maior valor de rendimento da produção de brócolis de cabeça única foi de 2,65 kg m⁻² quando as irrigações foram realizadas na tensão de 15 kPa, à uma profundidade de 0,2 m.

Coelho (2005), estudando o manejo da irrigação na cultura de brócolis de cabeça única em ambiente protegido manejado com mini tanque, obteve produção máxima de 1,91 kg m⁻². Erdem et al. (2010) relataram um rendimento máximo comercializável de 0,81 kg m⁻² quando irrigação de brócolis com 50% da ETc e um intervalo de irrigação de 7 dias. Silveira et al. (2016) avaliando a produção de brócolis tipo ramoso submetido a diferentes níveis de reposição de água no solo, verificaram 0,46 kg m⁻² de máxima produtividade com reposição de 100% da ETc. Essas diferenças de rendimento podem ser atribuídas a diversos fatores, incluindo diferenças de cultivares, condições climáticas, métodos de manejo adotados e regiões.

A diferenciação de estádios fenológicos também influenciou a produtividade do brócolis, sendo possível observar que o estágio C apresentou valor médio de 2,70 kg m⁻² que foi significativamente superior ao estágio A (2,41 kg m⁻²) e ao estágio B (2,54 kg m⁻²). As fases A e B foram mais sensíveis quando submetida aos diferentes níveis de reposição. Isto fica evidente quando há desdobramento dos fatores. Na Tabela 5, apresenta-se a análise de variância do desdobramento da interação lâmina de água e estágio fenológico da cultura para estudar o comportamento das lâminas dentro de cada estágio referente a produtividade.

Tabela 5. Análise de variância do desdobramento lâmina em cada estágio fenológico referente a produtividade, Maringá-PR.

FV	Estádio	GL	SQ	QM	Pr>Fc
Lâmina	A	3	3,536	1,179	0,0000*
Lâmina	B	3	1,430	0,477	0,0004*
Lâmina	C	3	0,953	0,317	0,0043*
Resíduo		33	1,989	0,060	

Observa-se na Tabela 5 que há efeito significativo ($p < 0,05$) das lâminas de água para os três estádios fenológicos, sendo possível ajustar um modelo de regressão linear passando pela origem (Figura 4).

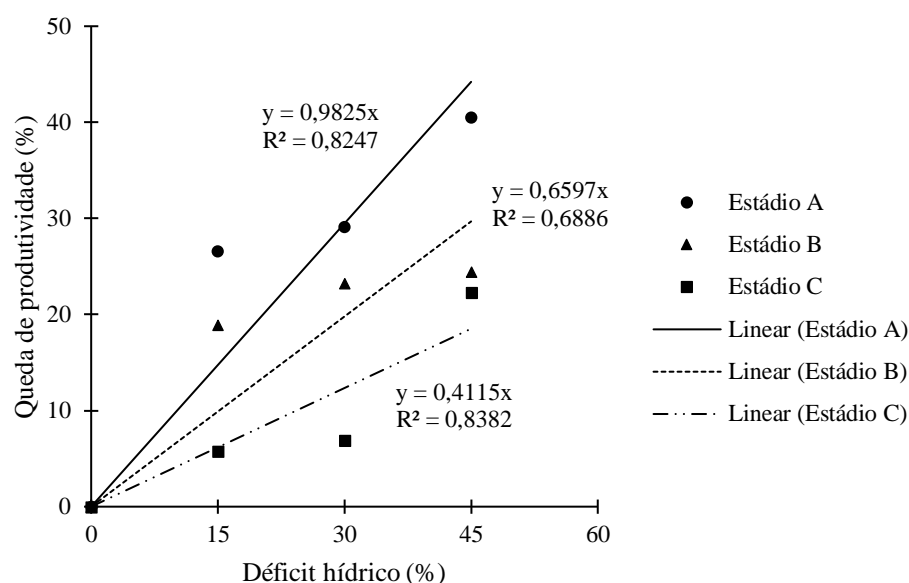


Figura 3. Queda da produtividade do brócolis em função das lâminas de água para os três estádios fenológicos, Maringá-PR.

Para a variável produtividade, com o aumento do déficit hídrico, foi constatado menor redução dos valores durante o estágio C (Figura 3). Pode-se observar que um déficit de 30% da ETC no estágio C da cultura do brócolis houve apenas uma queda de 7% da produtividade.

Kuşçu et al. 2014, observaram no tomate, que a interrupção da irrigação plena após o início do estágio de amadurecimento das frutas pode ser recomendada como ideal, pois alcançou uma economia de água de irrigação de 33% com uma perda de rendimento de apenas aproximadamente 5% em comparação com a irrigação total.

Os efeitos da irrigação por déficit no melão (*Cucumis melo L.*) também dependem do momento do tratamento. Ensaio com a cultivar pele-de-sapo mostraram que o rendimento foi particularmente reduzido quando déficits foram aplicados durante a floração (FABEIRO et al. 2002). No alho (*Allium sativum L.*), a irrigação por déficit teve seu efeito mais prejudicial sobre o rendimento quando aplicada durante o estágio de amadurecimento, mas quando aplicada no estágio de bulificação diminuiu o rendimento e a qualidade (tamanho do bulbo) (CORTÉS et al. 2003). Carvalho et al. (2004), mostraram que a berinjela quando submetida a diferentes reposições (100; 80; 60 e 40% da evapotranspiração) durante os estádios fenológicos apresentou menor produtividade na fase de formação de frutos. Com isso mostrando a importância de pesquisas para avaliar o comportamento do brócolis submetido ao RDI.

Segundo Santos e Carlesso (1998), a limitação na disponibilidade de água no solo durante o período de pre-florescimento afeta o desenvolvimento das estruturas vegetativas das plantas, reduzindo a capacidade de produção de fitomassa pela cultura.

A análise de variância do desdobramento da interação estágio e lâmina está apresentada na Tabela 6 para estudar o comportamento dos estádios fenológicos da cultura dentro de cada lâmina de água, referente a produtividade.

Tabela 6. Análise de variância do desdobramento estágio fenológico em cada lâmina de água para a produtividade do brócolis, Maringá-PR.

FV	LÂMINA	GL	SQ	QM	Pr>Fc
Estádio	55	2	0,461	0,231	0,0310*
Estádio	70	2	0,591	0,295	0,0132*
Estádio	85	2	0,449	0,224	0,0338*
Estádio	100	2	0,087	0,044	0,4881 ^{ns}
Resíduo		33	1,989	0,06	

Observa-se nas plantas efeito significativo do estágio fenológico para a reposição das lâminas de água de 55%, 70% e 85% da ETc (Tabela 6), onde o estágio C foi significativamente superior aos estádios A e B para as lâminas de água de 70% e 85%, enquanto na lâmina de água de 55% os estádios B e C foram significativamente maiores do que o estágio A. Essa constatação sugere que o estágio fenológico C foi o menos sensível ao déficit hídrico. Begg e Turner (1976) demonstraram que os efeitos causados pelo déficit hídrico nos tecidos mais jovens da planta são maiores que nos tecidos adultos, porém, quando se interrompe o déficit o desenvolvimento é recuperado somente nas folhas mais jovens.

A massa fresca da cabeça do brócolis aumentou com a elevação das lâminas de água (Figura 2 B). Na lâmina referente a 100% de ETc o valor médio da MFCC foi de 764,49 g. Resultado semelhante foi observado por Silva et al. (2019) ao avaliarem as características produtivas do brócolis fertirrigado com diferentes doses de nitrogênio.

O estágio fenológico também influenciou a MFCC do brócolis, sendo que o estágio C apresentou valor médio de 675,30 g sendo significativamente maior que os estádios A e B que apresentaram 601,49 g e 634,91 g, respectivamente.

A interação entre os fatores também foi significativa para a MFCC, indicando que os fatores lâminas de água e estágio fenológico agem de modo dependente. A análise de variância do desdobramento da interação lâmina e estágio para estudar o comportamento das lâminas de água dentro de cada estágio referente à MFCC estão apresentados na Tabela 7 a seguir.

Tabela 7. Análise de variância do desdobramento lâmina em cada estágio fenológico referente à massa fresca da cabeça do brócolis, Maringá-PR.

FV	Estádio	GL	SQ	QM	Pr>Fc
Lâmina	A	3	221010,841	73670,280	0,0000*
Lâmina	B	3	89397,608	29799,203	0,0004*
Lâmina	C	3	59544,149	19848,050	0,0043*
Resíduo		33	124325,983	3767,454	

Foi possível observar na Tabela 7 efeito significativo ($p < 0,05$) das lâminas de água para todos os estádios fenológicos estudados, sendo possível ajustar um modelo de regressão linear passando pela origem (Figura 4).

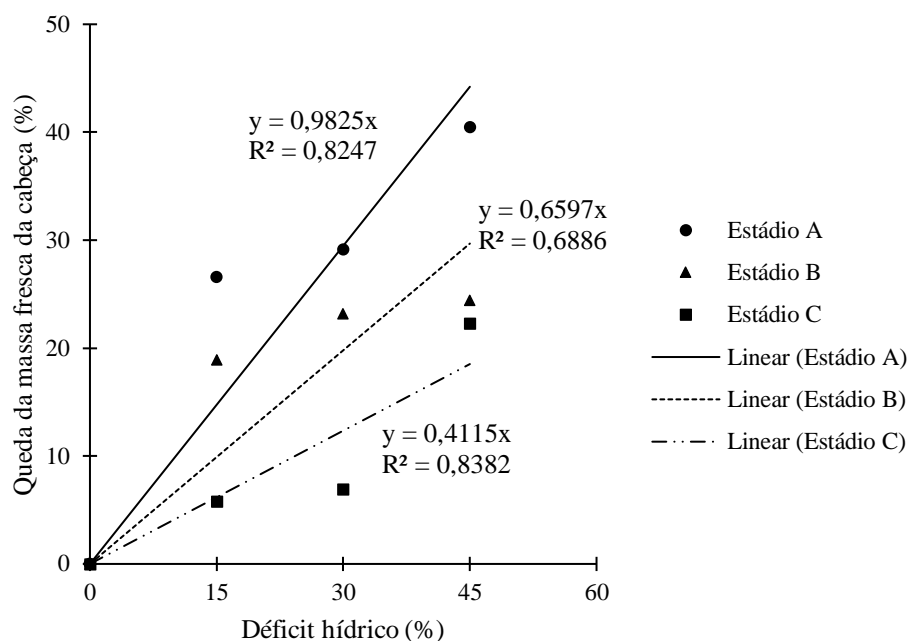


Figura 4. Queda da massa fresca da cabeça do brócolis em função das lâminas de água para os três estádios fenológicos, Maringá-PR.

Com o aumento do déficit hídrico, foi observado que nos estádios A e B promove-se uma perda da MFCC maior que no estágio C, onde com um déficit de 30% da ETc houve apenas uma queda de 7% da MFCC (Figura 4). Resultados semelhantes foram observados por Silveira et al. (2016) onde os maiores pesos das hastes florais do brócolis foram verificados quando houve diferenciação das reposições de água na fase da colheita. Miorini et al. (2011), avaliando a supressão de água em diferentes fases fenológicas do feijoeiro, confirmam a maior necessidade de água na fase vegetativa e de floração.

A análise de variância do desdobramento da interação estágio e lâmina está apresentada na Tabela 8 para estudar o comportamento dos estádios fenológicos dentro de cada lâmina de água, referente à MFCC.

Tabela 8. Análise de variância do desdobramento estágio fenológico em cada lâmina de água para a massa fresca da cabeça do brócolis, Maringá-PR.

FV	LÂMINA	GL	SQ	QM	Pr>Fc
Estádio	55	2	28848,261	14424,130	0,0310*
Estádio	70	2	36939,952	18469,976	0,0132*
Estádio	85	2	28038,883	14019,442	0,0338*
Estádio	100	2	5461,551	2730,775	0,4881 ^{ns}
Resíduo		33	124325,983	3767,454	

Nota-se na Tabela 8 efeito significativo do estágio fenológico para a todas as lâminas, exceto a de 100% da ETc, sendo que nas lâminas de 70% e 85% o estágio C foi significativamente maior do que os outros dois, e na lâmina de 55% os estádios B e C foram significativamente superiores ao estágio A, ou seja, as inflorescências do brócolis apresentaram melhor desenvolvimento quando a diferenciação das lâminas de água foram aplicadas no estágio C.

Quanto a massa fresca das folhas do brócolis, obteve-se o maior valor na lâmina de 100% da ETc (Figura 2 C). O MFF do brócolis também foi influenciado pelo estágio fenológico, o estágio C apresentou valor médio de 618,96 g que foi significativamente superior aos estádios A e B, com valor médio de 597,97 g e 578,02 g respectivamente.

A interação entre os fatores lâminas de água e estágio fenológico foi significativa para a MFF, indicando que os fatores agem de modo dependente sobre esta variável. Na Tabela 9, apresenta-se análise de variância do desdobramento da interação lâmina e estágio, para estudar o comportamento das lâminas de água dentro de cada estágio referente a MFF.

Tabela 9. Análise de variância do desdobramento lâmina em cada estágio fenológico para a massa fresca das folhas do brócolis, Maringá-PR.

FV	Estádio	GL	SQ	QM	Pr>Fc
Lâmina	A	3	57260,439	19086,813	0,0000*
Lâmina	B	3	121450,215	40483,405	0,0000*
Lâmina	C	3	18271,772	6090,590	0,0244*
Resíduo		33	56638,172	1719,308	

Verifica-se na Tabela 9 que há efeito significativo ($p < 0,05$) das lâminas de água para os três estádios, sendo possível ajustar um modelo de regressão linear passando pela origem ao nível de 5% de significância (Figura 5).

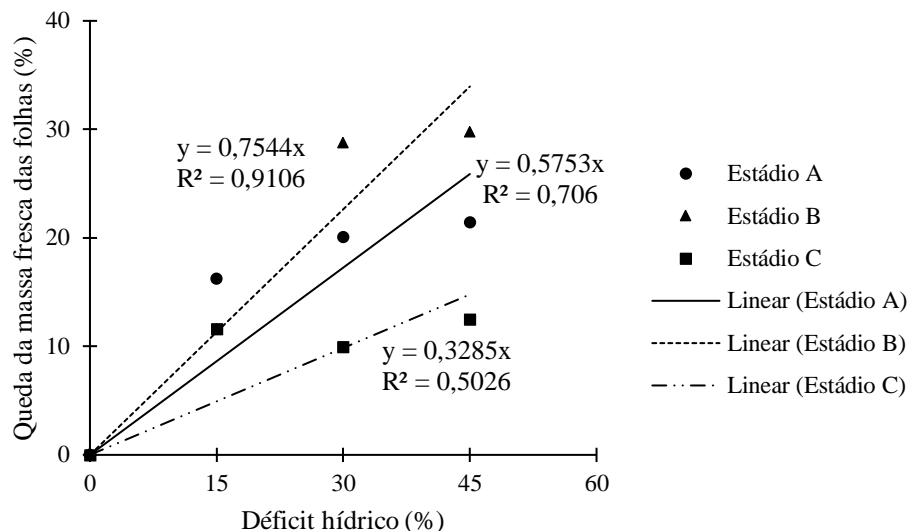


Figura 5. Queda da massa fresca das folhas do brócolis em função das lâminas de água para os três estádios fenológicos, Maringá-PR.

Observa-se na Figura 5 que o estágio B, de formação das cabeças, foi o que promoveu maior queda da massa fresca das folhas com o aumento do déficit hídrico. No estágio C com um déficit hídrico de 30% da ETc houve apenas uma queda de 10% da MFF.

As fases de floração e frutificação, para a maioria das culturas, são as que apresentam maiores consumos de água, sendo, portanto, consideradas como fases críticas (SANTOS; CARLESSO, 1998). Gava et al. (2016) estudando estratégias de manejo de déficit hídrico na irrigação da cultura da soja, observaram que a ocorrência de déficit moderado e severo nas fases de desenvolvimento vegetativo e floração ao início da frutificação, respectivamente, prejudicaram o crescimento das plantas, mas não afetaram a produtividade. Segundo Paiva et al. (2005), o decréscimo de água no solo promove o fechamento dos estômatos, o que bloqueia o fluxo de CO_2 para as folhas, além de reduzir a concentração desse elemento nos espaços intracelulares, afetando o acúmulo de fotoassimilados. Após a interrupção do déficit hídrico, esses parâmetros tendem a voltar ao normal, porém não em sua plenitude, pois a velocidade de recuperação é reduzida (LOPES et al., 1988).

A análise de variância do desdobramento da interação estágio e lâmina está apresentada na Tabela 10 para estudar o comportamento dos estádios fenológicos dentro de cada lâmina de água, referente a massa fresca das folhas.

Tabela 10. Análise de variância do desdobramento estágio fenológico em cada lâmina de água para a massa fresca das folhas do brócolis, Maringá-PR.

FV	LÂMINA	GL	SQ	QM	Pr>Fc
Estádio	55	2	20036,418	10018,209	0,0065*
Estádio	70	2	24106,231	12053,116	0,0027*
Estádio	85	2	2380,046	1190,023	0,5033 ^{ns}
Estádio	100	2	1470,886	735,443	0,6527 ^{ns}
Resíduo		33	56638,172	1719,308	

Observa-se na Tabela 10 efeito significativo do estágio fenológico somente para as lâminas de 55 e 70% da ETc, no qual os estádios A e C foram significativamente maiores que o estágio B para ambas as lâminas.

A variável área foliar (AF) apresentou diferença significativa pelo teste F ao nível de 5% para o fator lâmina de água e para interação entre os fatores, enquanto que para o fator isolado de estádios fenológicos não foi verificada diferença (Tabela 4). Como a interação dos fatores foi significativa, isso indica que os fatores lâmina e estágio agem de modo dependente sobre a área foliar do brócolis.

O aumento das lâminas de água proporcionou aumento linear da área foliar do brócolis (Figura 3 F). Na Tabela 11, apresenta-se a análise de variância do desdobramento da interação lâmina e estágio, para estudar o comportamento das lâminas dentro de cada estágio, referente a área foliar.

Tabela 11. Análise de variância do desdobramento lâmina em cada estágio fenológico para a área foliar do brócolis, Maringá-PR.

FV	Estádio	GL	SQ	QM	Pr>Fc
Lâmina	A	3	1384668,592	461556,197	0,0000*
Lâmina	B	3	1015064,950	338354,98	0,0001*
Lâmina	C	3	59314,225	19771,408	0,6493 ^{ns}
Resíduo		33	1182198,127	35824,186	

Verifica-se que há efeito significativo ($p < 0,05$) das lâminas para os estádios fenológicos A e B, sendo possível ajustar um modelo de regressão linear passando pela origem ao nível de 5% de significância (Figura 6).

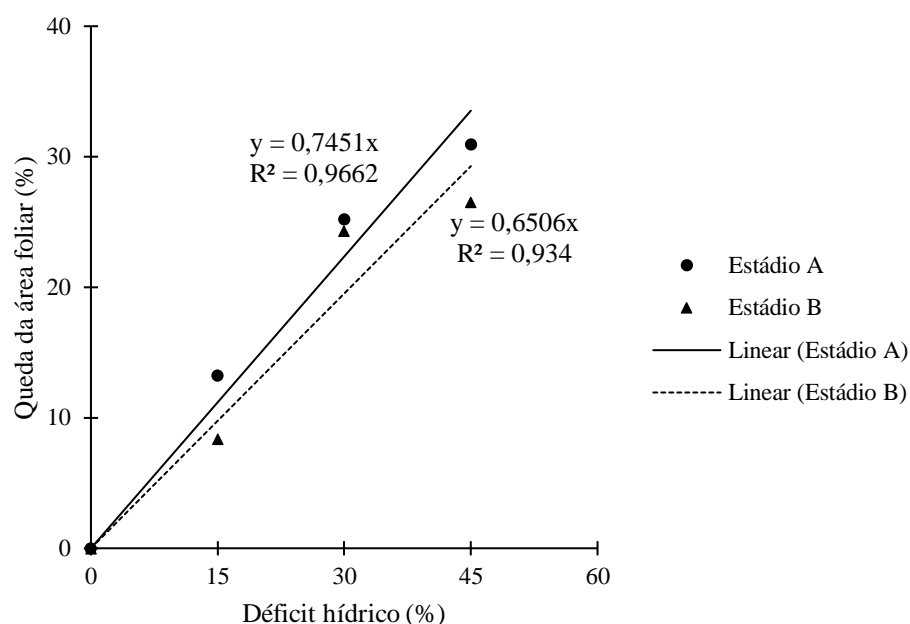


Figura 6. Queda da área foliar do brócolis em função das lâminas de água para dois estádios fenológicos, Maringá-PR.

Çakir (2004), estudando o efeito do estresse hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento no crescimento vegetativo e reprodutivo do milho, verificaram que durante o florescimento os valores de índice de área foliar diminuiriam significativamente.

Westgate e Boyer (1985) constataram que a ocorrência de déficit hídrico na cultura do milho durante a fase de enchimento de grãos altera todo o desenvolvimento da planta. A queda do rendimento dos grãos em decorrência do déficit hídrico ocorre devido à redução na expansão das folhas, à redução do aproveitamento dos nutrientes do solo e à redução na área fotossintética das plantas (CLAASSEN; SHAW, 1970).

A redução da área foliar poderá afetar a fotossíntese, resultando na redução do crescimento das plantas (HUANG, 2018). É evidente que as condições de restrição hídrica provocaram a redução da AF como forma de defesa e consequentemente diminuição na produção de massa seca das folhas (MSF) (Figura 2 H). A MSF também foi influenciada pelo estágio fenológico, sendo que o estágio C apresentou valor médio de 80,48 g sendo significativamente maior que o estágio A (68,77 g) e o estágio B (71,35 g).

A redução da expansão celular, em plantas sob deficiência hídrica, possivelmente está associada com a redução no potencial de turgescência, que causa diminuição da pressão da água sobre a parede celular, pressão esta que causa a expansão celular (VAN VOLKENBURGH; CLELAND 1984; ROSENTHAL et al. 1987) ou então, com alteração no balanço hormonal de

citocininas ou ácido abscísico, alterações estas que podem causar redução na extensibilidade da parede celular e, em consequência, no crescimento foliar (CHAPIN 1991; LARCHER, 2000).

O estudo de Levitt (1980) demonstrou que, durante um déficit hídrico, os diversos ajustamentos fisiológicos da planta determinam as respostas adaptativas de ordem anatômica e morfológica, porém essas respostas sofrem variações de acordo com a espécie, a cultivar, o estado de desenvolvimento das plantas e duração com a intensidade do déficit hídrico. Segundo o mesmo autor, as plantas têm capacidade de resistir a períodos de déficit hídrico, procurando utilizar mecanismos que reduzam a perda de água.

A análise de variância do desdobramento da interação estágio e lâmina está apresentada na Tabela 12, para estudar o comportamento dos estádios dentro de cada lâmina, referente a área foliar.

Tabela 12. Análise de variância do desdobramento estágio fenológico em cada lâmina de água para a área foliar do brócolis, Maringá-PR.

FV	LÂMINA	GL	SQ	QM	Pr>Fc
Estádio	55	2	233831,903	116915,951	0,0494*
Estádio	70	2	292924,963	146462,481	0,0251*
Estádio	85	2	7319,907	3659,954	0,9043 ^{ns}
Estádio	100	2	218463,906	109231,95	0,0593 ^{ns}
Resíduo		33	1182198,127	35824,186	

Nota-se na Tabela 12 efeito significativo do estágio fenológico somente para as lâminas de 55% e 70% da ETc, no qual o estágio C foi significativamente superior aos estádios A e B para ambas as lâminas. Aplicando-se um déficit de 15% da ETc nos diferentes estádios fenológicos, o mesmo não influencia na área foliar do brócolis.

O estágio fenológico influenciou o diâmetro da cabeça do brócolis, sendo que os estádios B (18,06 cm) e C (18,37 cm) foram significativamente superiores ao estágio A que apresentou valor médio de 17,13 cm.

A altura da planta (AP) também foi influenciada pelo estágio fenológico, sendo que o estágio C apresentou valor médio de 50,2 cm que foi significativamente superior aos estádios A e B que apresentaram 49 cm e 48,5 cm, respectivamente. Poorter (1999) refere uma maior razão raiz/parte aérea como aumento da capacidade para captação de água. Da mesma maneira, a redução do tamanho das plantas também tem um importante valor adaptativo, uma vez que, quanto menor a planta menor será a demanda de recursos.

4.2 Parâmetros qualitativos

A análise de variância dos parâmetros de qualidade estudados da cultura do brócolis está apresentada na Tabela 13. Verifica-se que não houve interação entre os fatores lâmina e estágio fenológico, bem como, quando analisados isoladamente os fatores não apresentaram significância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade para todas as variáveis estudadas.

Tabela 13. Resumo da análise de variância para os resultados de pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), ângulo Hue, luminosidade (L*), croma (C*) e firmeza, Maringá – PR.

Fonte de variação	Pr>Fc				
	GL	pH	SS (°Brix)	AT (% ác. málico)	Ângulo Hue
Lâmina (A)	3	0,1615 ^{ns}	0,8244 ^{ns}	0,2861 ^{ns}	0,1789 ^{ns}
Estádio (B)	2	0,2457 ^{ns}	0,1972 ^{ns}	0,1921 ^{ns}	0,1161 ^{ns}
A*B	6	0,6895 ^{ns}	0,9364 ^{ns}	0,4075 ^{ns}	0,7708 ^{ns}
Bloco	3	0,0920 ^{ns}	0,0086 ^{ns}	0,0054 ^{ns}	0,7970 ^{ns}
CV (%)		0,93	7,28	16,6	3,72

Fonte de variação	Pr>Fc			
	GL	(L*)	(C*)	Firmeza (N)
Lâmina (A)	3	0,2555 ^{ns}	0,5209 ^{ns}	0,1561 ^{ns}
Estádio (B)	2	0,4608 ^{ns}	0,2529 ^{ns}	0,3383 ^{ns}
A*B	6	0,8305 ^{ns}	0,8393 ^{ns}	0,9054 ^{ns}
Bloco	3	0,6862 ^{ns}	0,3750 ^{ns}	0,3324 ^{ns}
CV (%)		4,13	20,47	16,93

*- significativo ao nível de 5%; NS - não significativo ao nível de 5%; GL - graus de liberdade; CV - coeficiente de variação.

O valor médio de pH do extrato do brócolis foi 7,1, e o valor médio dos sólidos solúveis foi de 6,3 °Brix. Resultados semelhantes foram observados por Kano et al. (2010), com a brássica couve-flor cultivada com diferentes doses de nitrogênio, o pH variou de 6,9 a 7,1, e o teor de sólidos solúveis teve média de 6,9 °Brix. Di Gioia et al. (2018) encontraram valores de sólidos solúveis variando de 6,2 a 7,3 °Brix na cultura do brócolis. Schiavon et al. (2015) relatam que o pH ótimo para o desenvolvimento do brócolis oscila entre 6,5 e 7,0.

Os sólidos solúveis totais, são fundamentais para a avaliação de qualidade, eles representam uma medida da concentração de açúcares e outros sólidos diluídos nos sucos

extraídos dos produtos, e sua medida é indicada em graus °Brix. De acordo com Aziz et al. (2018) elevados teores de açúcares presentes na planta melhoram o crescimento sob condições de déficit hídrico e auxiliam na manutenção do turgor. Para o consumo “in natura” e também para o processamento industrial, o teor de sólidos solúveis é de grande importância, uma vez que elevados teores desses constituintes na matéria-prima implicam, redução da perda de água, menor gasto de energia e maior rendimento do produto, resultando em maior economia no processamento (AULAR; NATALE, 2013).

Como os valores de pH foram altos, a acidez foi baixa com média de 0,053%. A acidez em produtos hortícolas é atribuída, principalmente, aos ácidos orgânicos que se encontram dissolvidos nos vacúolos das células, tanto na forma livre, como combinada com sais, ésteres, glicosídeos, etc. Em alguns produtos, os ácidos orgânicos não só contribuem para a acidez, como também, para o aroma característico (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Em brócolis, esta contribuição é pequena, pois os teores de acidez são muito baixos quando comparado ao espinafre, por exemplo, que pode conter teores de 3% de ácido oxálico e ao tamarindo que apresenta 18% de ácido tartárico (BEZERRA, 2003). Comparando com outros autores, os valores foram semelhantes aos relatados por Artés, Vallejo e Martínez (2001) que encontraram uma média geral para a acidez titulável do brócolis no momento da colheita de 0,056%.

A diversidade de cores das hortaliças é responsável por grande parte da atração exercida nos consumidores. O ângulo Hue do brócolis apresentou valor médio de 133°. Tochetto (2018) observou para o brócolis de cabeça um ângulo Hue de 118°. O ângulo Hue (h°) é considerado o atributo qualitativo de cor com as cores definidas tradicionalmente como avermelhada, esverdeada, etc. (PATHARE et al., 2013). Graficamente consideramos o ângulo de 0° como a cor vermelha, o ângulo de 90°, amarelo, o ângulo de 180°, verde, e o ângulo de 270°, azul. A luminosidade (L^*) é a escala que varia do preto (0) ao branco (100). Foram observados valores médios de L^* de 50,82, resultados semelhantes foram encontrados por Tochetto (2018) onde a luminosidade do brócolis variou de 51,45 à 56,81.

O valor médio do croma encontrado para este trabalho foi de 13,62, resultado semelhante foi encontrado por Hachmann (2019) que observou um valor médio de 16,63 em couve-flor com a cultivar Viena. Quanto maior o croma maior a saturação das cores perceptíveis aos humanos.

A textura é um parâmetro importante para expressar a qualidade de vegetais através da firmeza dos tecidos, maiores valores podem proporcionar maior resistência ao transporte, visando que o produto pode ser transportado por longas distâncias para comercialização ou para processamento, e a qualidade do brócolis sofre alterações durante o período de pós colheita e o

seu transporte e manuseio influenciam tais alterações. No presente trabalho foi encontrado um valor médio 128,22 N.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, para as condições estudadas, metodologia e equipamentos utilizados, as análises permitem as seguintes conclusões:

O déficit hídrico causou maiores perdas na produção de brócolis durante os dois primeiros estádios fenológicos, o estágio C foi considerado o menos crítico.

Para o déficit de 30% da ETc no estágio C da cultura do brócolis houve uma queda de 7% da produtividade, e para o estágio A e B, houve queda de 30% e 23% respectivamente.

Diferentes reposições de água no solo distribuídas em diferentes estádios fenológicos na cultura do brócolis não alterou significativamente os parâmetros qualitativos avaliados, pH, sólidos solúveis, acidez titulável, ângulo Hue, luminosidade, croma e firmeza.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p.
- ANA, Agência Nacional de Águas (Brasil). **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2017a. 86 p.
- ANA, Agência Nacional de Águas (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2017b. 169 p.
- ARES, A. M.; NOZAL, M. J.; BERNAL, J. L.; BERNAL, J. Optimized extraction, separation and quantification of twelve intact glucosinolates in broccoli leaves. **Food Chemistry**, v. 152, p. 66-74, 2014.
- ARTÉS, F.; VALLEJO, F.; MARTÍNEZ, J. A. Quality of broccoli as influenced by film wrapping during shipment. **Eur Food Res Technol** (2001) 213:480–483.
- AUJLA, M. S.; THIND, H. S.; BUTTAR, G. S. (2007). Fruit yield and water use efficiency of eggplant (*Solanum melongema* L.) as influenced by different quantities of nitrogen and water applied through drip and furrow irrigation. **Scientia Horticulturae**, 112(2), 142–148. doi:10.1016/j.scienta.2006.12.020.
- AULAR, J.; NATALE W. Nutrição mineral e qualidade do fruto de algumas frutíferas tropicais: goiabeira, mangueira, bananeira e mamoeiro. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 35, n. 4, p. 1214-1231, 2013.
- AYAS, S. H.; ORTA, H.; YAZGAN, S. Deficit irrigation effects on broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *Monet*) yield in unheated greenhouse condition. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, Sofia, v. 17, n. 4, p. 551-559, 2011.
- AZIZ, A.; AKRAM, N. A.; ASHRAF, M. Influence of natural and synthetic vitamin C (ascorbic acid) on primary and secondary metabolites and associated metabolism in quinoa

(*Chenopodium quinoa* Willd.) plants under water deficit regimes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 123, n. 11, p. 192–203, 2018.

BASTOS, E.A.; NOGUEIRA, C.C.P.; VELOSO, M.E.C.; ANDRADE JUNIOR, A.S.A., SOUSA V.F.; PAZ, V.P.S. Métodos e sistemas de irrigação. In: SOUSA, V.F.; MAROUELLI, W.A.; COELHO, E.F.; PINTO, J.M.; COELHO FILHO, M.A. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011, 771p.

BEGG, J.E.; TURNER, N.C Crop water deficits. **Advances in Agronomy**, v.28, p.161-217, 1976.

BEZERRA, V. S. Tópicos em análise de alimentos. **Embrapa Amapá**. Documentos, 50. 2003.

BORGHETTI, J. R. et al. Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias. Brasília: FAO, 2017. 243 p.

ÇAKIR, R. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. **Field Crops Research**, v. 89, n. 1, p. 1-16, 2004.

CARVALHO, J.A.et al. Níveis de déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos da cultura da berinjela (*Solanum melongena* L.). **Revista Engenharia Agrícola**, 24: 320-327, 2004.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. Cartas climáticas do Paraná. Londrina: IAPAR, 2000. CD. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>>. Acesso em 22 de Fevereiro de 2017.

ÇETIN, O.; UYGAN, D. The effect of drip line spacing, irrigation regimes and planting geometries of tomato on yield, irrigation water use efficiency and net return. **Agricultural Water Management**, v.95, p.949-958, 2008.

CHAI Q.; GAN Y.; TURNER N.C.; ZHANG R.Z.; YANG C.; NIU Y.; SIDDIQUE K.H.M.; (2014) Water-saving innovations in Chinese agriculture. **Adv. Agron.** 126:147–197.

CHAI, Q., et al. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 36, n. 1, p. 3, 2016.

CHAPIN III, F.S.; BLOOM, A.J.; FIELD C.B.; WARING, R.H. 1987. Plant responses to multiple environmental factors: Physiological ecology provides tools for studying how interacting environmental resources control plant growth. **BioScience**, v.37, p. 49-57, 1987.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2. ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

CLAASSEN, M.M.; SHAW, R.H. Water deficit effects on corn. II Grain components. **Agronomy Journal**, Madison, n. 62, p. 652-655, 1970.

COELHO FILHO, M. A.; PEREIRA, F. A. C.; ANGELOCCI, L. R.; COELHO, E. F.; OLIVEIRA, G. X. S. O processo de evapotranspiração. In: SOUSA, V.F.; MAROUELLI, W.A.; COELHO, E.F.; PINTO, J.M.; COELHO FILHO, M.A. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011, 771p.

COELHO, E.F.; OR, D.; SOUSA, V.F. Aspectos básicos em fertirrigação. In: SOUSA, V.F.; MAROUELLI, W.A.; COELHO, E.F.; PINTO, J.M.; COELHO FILHO, M.A. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011, 771p.

COELHO, G. S. Manejo da irrigação na cultura de brócolis tipo “cabeça única” em ambiente protegido. 60 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de água) – Universidade Estadual de Lavras, Lavras, 2005.

CORTÉS, C.F.; MARTÍN DE SANTA OLALLA, F.; URREA R. L. Production of garlic (*Allium sativum* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. **Agricultural Water Management**. 59, 155–167, 2003.

DI GIOIA, F.; ROSSKOPF, E. N.; LEONARDI, C.; GIUFFRIDA, F. Effects of application timing of saline irrigation water on broccoli production and quality. **Agricultural Water Management**. p. 97–104, 2018.

DU, T., KANG, S.; ZHANG, J.; DAVIES, W. J. Deficit irrigation and sustainable water-resource strategies in agriculture for China's food security. **Journal of experimental botany**, vol. 66, n. 8, pp. 2253–2269, 2015.

ECK, H. V.; MATHERS, A. C.; MUSICK, J. T. Plant water stress at various growth stages and growth and yield of soybeans. **Field Crops Research**, v. 17, n. 1, p. 1-16, 1987.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5ª edição. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018, 356 p.

ERDEM, Y.; ARIN, L.; ERDEM, T.; POLAT, S.; DEVECI, M.; OKURSOY, H.; GÜLTAS, H. T. Crop water stress index for assesseing irrigation scheduling of drip irrigated broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, n. 2, p. 148-156, 2010.

FABEIRO, C.; MARTÍN DE SANTA OLALLA, F.; DE JUAN J. A. Production of muskmelon (*Cucumis melon* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. **Agricultural Water Management**. v. 54, 93–105, 2002.

FAOSTAT. Área colhida, rendimento e produção de couve-flor e brócolis no mundo. Online. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Consulta em 20 de ago. de 2019.

FERERES, E.; SORIANO, M. A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. **Journal of experimental botany**, v. 58, n. 2, p. 147-159, 2007.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3a ed. Rev. Ampl. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2008.

FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão**. Maringá: Eduem, 2012, 356p.

GARCÍA DEL MORAL, L.F.; GARCÍA DEL MORAL, M.B.; MOLINA-CANO, J.L.; SLAFER, G.A. 2003. Yield stability and development in two- and six-rowed winter barleys under Mediterranean conditions. **Field Crop. Res.** 81, 109–119.

GAVA, R.; FRIZZONE J. A.; SYNDER R. L.; DE ALMEIRA B. M.; DE FREITAS P. S. L.; REZENDE, R. Estratégias de manejo de déficit hídrico na irrigação da cultura da soja. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 10(3): 305-315, 2016.

GELLY M., RECASENS I., GIRONA J., MATA M., ARBONES A., RUFAT J., MARSAL J. (2004) Effects of stage II and postharvest deficit irrigation on peach quality during maturation and after cold storage. **J Sci Food Agric** 84:561–568. doi:10.1002/jsfa.1686.

GODFRAY, H.C.J., CRUTE, I.R., HADDAD, L., LAWRENCE, D., MUIR, J.F., NISBETT, N., PRETTY, J., ROBINSON, S., TOULMIN, C., WHITELEY, R. The future of the global food system. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 365, n. 1554, pp. 2769-2777, 2010.

HACHMANN, T. L. **Manejo da irrigação e aplicação de selênio na cultura da couve-flor**. 2019. 136f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Maringá. Maringá – PR.

HUANG, R. D. Research progress on plant tolerance to soil salinity and alkalinity in sorghum. **Journal of Integrative Agriculture**, v.17, p. 739–746, 2018.

IBGE, Censo Agropecuário 2017 - Resultados preliminares. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6619#resultado>>. Acesso em: 04 jun. 2019.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. Brasília: Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1018p.

KANO, C.; SALATA, A. C.; HIGUTI A. R. O.; GODOY A. R.; CARDOSO A. I. I.; EVANGELISTA R. M. Produção e qualidade de couve-flor cultivar Teresópolis Gigante em função de doses de nitrogênio. n. 1978, p. 453–457, 2010.

KUŞÇU, H.; TURHAN, A.; DEMIR, A. O. The response of processing tomato to deficit irrigation at various phenological stages in a sub-humid environment. **Agricultural Water Management**, v. 133, p. 92-103, 2014.

LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos, Rima Artes e Textos. 531p., 2000.

LEVITT, J. Response of plants to environmental stress. II: Water radiation, salt and other stress. New York: **Academic Press**, 1980. 606p.

LOPES, B. F.; SETER, T. L.; Mc DAVID, C. R. Photosynthesis and water vapor exchange of pigeonpea leaves in response to water deficit and recovery. **Crop Science**, Madison, v.28, p.141-145, 1988.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3 ed. Viçosa: Ed. UFV, 2009.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Manejo da irrigação em hortaliças**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças. 5 ed. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996, 72p.

MARQUELLI, W. A.; SOUSA, V. F. Irrigação e Fertirrigação. In: SOUSA, V. F.; MARQUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011, 771p.

MARQUELLI, W.A.; OLIVEIRA, A.S.; COELHO, E.F.; NOGUEIRA, L.C.; SOUSA, V.F. Manejo da água de irrigação. In: SOUSA, V.F.; MARQUELLI, W.A.; COELHO, E.F.; PINTO, J.M.; COELHO FILHO, M.A. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011, 771p.

MARSAL, J.; GIRONA J. 1997. Relationship between leaf water potential and gas exchange activity at different phenological stages and fruit loads in peach trees. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 3:415-421.

MARTINS, G. Cultivo em ambiente protegido: o desafio da plasticultura. In: Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa, MG: UFV, 2003. p. 139-150.

MELO, R. A. de C e. **Produtividade e rentabilidade de brócolos de inflorescência única em sistema Plantio Direto**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2007, 56 p. Dissertação de Mestrado.

MIORINI, T. J. J.; SAAD, J. C. C.; MENEGALE, M. L. Supressão de água em diferentes fases fenológicas do feijoeiro. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 4, p. 360-368, 2011.

NAOR, A. 1999. **Water stress and crop level interactions in relation to nectarine yield, fruit size distribution, and water potentials**. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 2:189-193.

NAWAZ, F.; AHMAD, R.; ASHRAF, M.Y.; WARAICH, E.A.; KHAN, S.Z. Ecotoxicology and Environmental Safety Effect of selenium foliar spray on physiological and biochemical processes and chemical constituents of wheat under drought stress. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 113, n. 1, p. 191–200, 2015.

NORA, L. et al. Controlled water stress to improve fruit and vegetable postharvest quality. **Water Stress**, p. 59-72, 2012.

OLIVEIRA, E. M. de. **Produtividade do cafeeiro conilon vitória submetido a diferentes lâminas de irrigação**. 2014. 96f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa.

OLIVEIRA, M. R. **Produção das culturas do brócolis e da couve-flor com diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio**. 2015, 83 f, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D.; TURCO, J. E. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.161-169, 2005.

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. **Food Bioprocess Technol.** v. 6, p. 36–60, 2013.

POORTER, L. 1999. Growth responses of fifteen rain forest tree species to a light gradient: the relative importance of morphological and physiological traits. **Funct. Ecol.**,13: 396-410.

QUEIROZ, S. O. P.; TESTEZLAF,R.; MATSURA, E. F. Avaliação de equipamentos para a determinação da condutividade elétrica do solo. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 3, p. 279-287, 2004.

RODRIGUES, R. R. et al. Desenvolvimento inicial de brócolis em diferentes disponibilidades hídricas. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 10-41, 2013.

ROMERO P., GIL-MUÑOZ R., DEL AMOR F.M., VALDÉS E., FERNÁNDEZ J.I., MARTINEZ-CUTILLAS A. (2013) Regulated deficit irrigation based upon optimum water status improves phenolic composition in Monastrell grapes and wines. **Agrc. Water. Manag.** 121:85–101. doi:10.1016/j. agwat.2013.01.007

ROSENTHAL, W.D.; ARKIN, G.F.; SHOUSE, P.J.; JORDAN, W.R. 1987. Water Deficit Effects on Transpiration and Leaf Growth. **Agron. J.**, 79: 1019-1026.

SAMPERIO A., PRIETO M.H., BLANCO-CIPOLLONE F., VIVAS A., MOÑINO M.J. (2015) Effects of post-harvest deficit irrigation in ‘Red Beaut’ Japanese plum: tree water status, vegetative growth, fruit yield, quality and economic return. **Agrc. Water Manag.** 150:92–102. doi:10. 1016/j.agwat.2014.12.006

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

SANTOS, S. R.; PEREIRA, G. M. Comportamento da alface americana sob diferentes tensões da água no solo, em ambiente protegido. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p.569-577, 2004.

SCHIAVON JR, A. A. **Produtividade e qualidade de brócolos em função da adubação e espaçamento entre plantas**. Jaboticabal. 2008, 67p, Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal.

SCHIAVON, A. et al. A cultura dos Brócolis. 74. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2015. 153p.

SCHROEDER J.I., KWAK J.M., ALLEN G.J. (2001) Guard cell abscisic acid signalling and engineering drought hardiness in plants. *Nature* 410:327– 330. doi:10.1038/35066500.

SEABRA JR, S. **Influência de doses de nitrogênio e potássio na severidade à podridão negra e na produtividade de brócolis tipo inflorescência tipo única**. 2005, 90 f, Tese (Doutorado), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu.

SEZEN, S. M.; YAZAR, A.; EKER, S. Effect of drip irrigation regimes on yield and quality of field grown bell pepper. **Agricultural Water Management**, v. 81, n. 1-2, p. 115-131, 2006.

SILVA, P. A.; BISCARO, G. A.; OLIVEIRA, G. Q., SCHWERZ, F.; DREHMER, K. K. B. Fertirrigação com nitrogênio na cultura do brócolis. **Engenharia na Agricultura**, v.27, n.5, p. 472-480, 2019.

SILVEIRA, A. L.; SANTANA M. J.; CAMARGOS, A. E. V.; SOUZA JÚNIOR, M. N. Reposição de água no solo em diferentes estádios fenológicos da cultura do brócolis. **Nucleus**, v.13, n.2 , 2016.

SOARES, A.J. Efeitos de três lâminas de irrigação e de quatro doses de potássio via fertirrigação no meloeiro em ambiente protegido. 2001. 81 p. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.

SOUZA, I.F.; SILVA, B. B. Monitoramento do tempo para cômputo da evapotranspiração. In: AGUIAR NETTO, A. O.; BASTOS, E.A (Editores Técnicos). **Princípios agronômicos de irrigação. Brasília.** Embrapa, 2013.

STEDUTO P., HSIAO T.C., FERERES E. 2007. On the conservative behavior of biomass water productivity. **Irrigation Science** (in press).

SYNGENTA DO BRASIL. Brócolos híbrido BRO 68. Disponível em:<<https://www.syngenta.com.br/frutas-legumes-e-verduras>>. Acesso em: 04 jun. 2019.

TAGUSHI, V. 2017. Brasil lidera produção de brócolis, mas consumo ainda tem muito a crescer. Available at: <http://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/noticia/2017/08/brasil-lidera-producao-debrocolis-mas-consumo-ainda-tem-muitocrescer.html>. Accessed October , 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6 Ed. Porto Alegre: Artmed, 858 p., 2017.

TANGUNE, B. F.; PEREIRA, G. M.; SOUSA, R. J.; GATTO, R. F. Produção de brócolis irrigado por gotejamento, sob diferentes tensões de água no solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 37, n. 1, p. 7-16, 2016.

THOMPSON, T. L.; DOERGE, T. A.; GODIN, R. E. Subsurface drip irrigation and fertigation of broccoli: I., yield, quality and nitrogen uptake. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 66, n. 2, p. 186-192, apr. 2002.

TOCHETTO, N. R. **Eficiência do processamento térmico *sous vide* em brócolis (*brassica oleracea*) tratados com cloreto de cálcio.** 2018, 43 f, Dissertação (Mestrado), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Morrinhos - GO.

TRANI, P.E. et al. Hortaliças. In: RAIJ, B. van. et al. (Ed). Recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo/ Fundação IAC, 1996. p.175. (Boletim técnico, 100).

TREVISAN, J. N. **Crescimento, desenvolvimento e produção de brócolis de cabeça única.** 2013, 105 f, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

TRINTINALHA, M.A. Distribuição espacial e estabilidade temporal do armazenamento de água em um Nitossolo, medido utilizando-se a técnica de tdr. 2005. 126f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR.

TURNER, N.C., WRIGHT, G.C., SIDDIQUE, K.H.M., 2001. Adaptation of grain legumes (pulses) to water-limited environments. **Adv. Agron.** 71, 193–231.

VAN VOLKENBURGH, E.; CLELAND, R. E. Control of leaf growth by changes in cell wall properties. **What's new in plant physiology (USA)**, 1984.

VILLAS BOAS, R. L. **Minicurso: Manejo da fertirrigação de hortaliças em condições de campo e em ambiente protegido.** Minicurso desenvolvido em 12/11/2003, carga horária: 03 horas, dentro da programação do I Congresso Brasileiro de Fertirrigação e I Mostra de Equipamentos e Produtos Utilizados na Irrigação e Fertirrigação, em João Pessoa, Paraíba..2003. (Curso de curta duração ministrado/Outra).

WANG, Y.; FREI, M. (2011). Stressed food - The impact of abiotic environmental stresses on crop quality. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Vol. 141, No. 3-4, pp. 271-286.

WESTGATE, M.E.; BOYER, J.S. Carboidrate reserves and reproductive development at low leaf water potentials in maize. **Crop Science**, Madison, v.25, p.762-769, 1985.

XU H.L., QIN F., XU Q., TAN J., LIU G. (2011) Applications of xerophytophysiology in plant production—the potato crop improved by partial root zone drying of early season but not whole season. **Sci Hort** 129:528–534. doi:10.1016/j. scienta.2011.04.016.

YACTAYO W., RAMÍREZ D.A., GUTIÉRREZ R., MARES V., POSADAS A., QUIROZ R. (2013) Effect of partial root-zone drying irrigation timing on potato tuberyieldandwater use efficiency. **Agrc. Water. Manag.** 123:65–70. doi:10.1016/j.agwat.2013.03.009.

YANG L, QU H, ZHANG Y, LI F (2012) Effects of partial root-zone irrigation on physiology, fruit yield and quality and water use efficiency of tomato under different calcium levels. **Agrc Water Manag** 104:89– 94. doi:10.1016/j.agwat.2011.12.001.

YUAN, B.-Z.; SUN, J., KANG, Y.; NISHIYAMA, S. (2006). Response of cucumber to drip irrigation water under a rainshelter. **Agricultural Water Management**, 81(1-2), 145–158. doi:10.1016/j.agwat.2005.03.002.