





**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

O48p  
2020

Oliveira, Lucas Allan Almeida, 1991-  
Produtividade e superbrotamento na cultura do alho roxo  
nobre influenciados pelo manejo de irrigação / Lucas Allan  
Almeida Oliveira. – Viçosa, MG, 2020.  
94 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Rubens Alves de Oliveira.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 84-90.

1. Alho - Irrigação. 2. Deficit hídrico. 3. Água - Uso -  
Eficiência. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de  
Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 635.2687

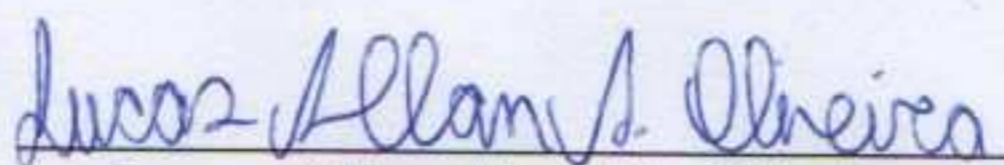
**LUCAS ALLAN ALMEIDA OLIVEIRA**

**PRODUTIVIDADE E SUPERBROTAMENTO NA CULTURA  
DO ALHO ROXO NOBRE INFLUENCIADOS PELO MANEJO  
DA IRRIGAÇÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

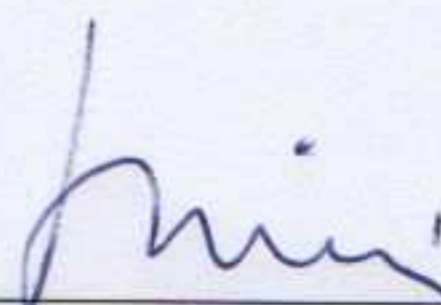
APROVADA: 20 de julho 2020.

Assentimento:



Lucas Allan Almeida Oliveira

Autor



Rubens Alves de Oliveira

Orientador

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Fabiana e Allan, por todo o incentivo e apoio durante a minha vida.

Aos meus familiares, que sempre se interessaram e me ajudaram a concluir este trabalho, em especial ao meu tio Aley, que foi de fundamental importância quando eu iniciei meu trajeto na vida acadêmica.

Ao meu companheiro, Bruno, que sempre me incentivou, foi paciente e me deu força para continuar mesmo quando eu queria desistir.

Ao meu orientador, Prof. Rubens, pelo apoio e pela confiança, sempre me dando suporte para que eu continuasse meu trabalho.

À minha coorientadora durante o meu estágio no exterior, Prof. Elena Bresci, pela oportunidade que me deu, pela confiança no meu trabalho e pela amizade.

Aos meus companheiros de pesquisa, Nina, Jardel e Job, pelo empenho e dedicação na condução do experimento.

Aos meus amigos, Ligia, Lommez, Diogo, Josi, Priscila, Najara, Rayssa, Tarcila, Arnaldo, Izabella, Felipe, Ana Marcia, Simone, Patrícia e Gabriel, pela amizade, pelos momentos de descontração, por sempre me colocarem para cima e acreditarem em mim.

Ao Prof. Leonardo Aquino, pela ajuda durante a minha estadia em Rio Paranaíba e pela fundamental contribuição na definição do tema.

À minha amiga Natalia, pelo carinho e por toda ajuda em me conectar com pessoas que foram fundamentais para que eu implantasse meu experimento.

À Gabriela, que me recebeu prontamente em sua casa e me deu todo o suporte necessário quando eu precisei ficar em São Gotardo.

Ao técnico da empresa Nativa, Remon, pelos conhecimentos compartilhados e todo o apoio durante a condução do experimento.

Ao Marcilio, por ter me cedido as melhores sementes de alho que ele tinha na sua fazenda, além dos insumos de que eu precisava.

Ao técnico da área experimental, Jose Antônio, pela ajuda e pela amizade.

Ao pesquisador da EPAMIG, Sanzio, pela ajuda e por ter compartilhado o seu conhecimento e equipamentos.

À CAPES e ao CNPq pelo auxílio financeiro, pois o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Enfim, a todos que participaram de alguma forma na condução deste trabalho, o meu muito obrigado!

## RESUMO

OLIVEIRA, Lucas Allan Almeida, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2020. **Produtividade e superbrotamento na cultura do alho roxo nobre influenciados pelo manejo da irrigação.** Orientador: Rubens Alves de Oliveira. Coorientadores: Mario Puiatti e Paulo Roberto Cecon.

Boa parte da demanda de alho do Brasil é suprida pela importação, especialmente da China. A produção de alho roxo nobre contribui para fortalecer o mercado interno. Variedades do grupo roxo nobre se destacam pelo aroma mais acentuado e pela coloração arroxeada, o que confere maior valor comercial e culinário. Entre as práticas de cultivo, a irrigação tem impacto direto na produtividade e na qualidade. O manejo de irrigação no cultivo de alho nobre interfere na ocorrência do distúrbio fisiológico denominado superbrotamento, que pode ser provocado pelo excesso de água na fase de diferenciação dos bulbilhos. Esse distúrbio, que consiste na formação de folhas onde deveriam ser formados os bulbilhos, faz com que haja redução do valor comercial. Assim, o correto manejo de irrigação na cultura do alho permite o uso racional de água e redução da ocorrência do superbrotamento. O objetivo, neste trabalho, foi avaliar o efeito do manejo da irrigação na produtividade, na eficiência de uso de água e no superbrotamento da cultura do alho. Dois experimentos foram instalados para o cultivo de alho Ito do grupo roxo nobre. No primeiro experimento, foi avaliado o efeito de estratégias de irrigação a partir do início da fase de diferenciação dos bulbilhos, combinado com a fertirrigação nitrogenada durante a referida fase. As estratégias de irrigações foram com Déficit Hídrico Controlado (*Regulated Deficit Irrigation* – RDI) nos níveis de 20% e 40% de déficit. Quanto à fertirrigação com nitrogênio durante a diferenciação dos bulbilhos, testaram-se: com fertirrigação, com irrigação e sem irrigação/fertirrigação. A utilização de déficit hídrico de 40% após a diferenciação dos bulbilhos não alterou a produtividade de forma significativa e promoveu economia de água, aumentando a eficiência de seu uso. Com relação à fertirrigação nitrogenada, é recomendado que esta seja suspensa completamente durante o período de diferenciação dos bulbilhos, assim como a irrigação, para diminuir a incidência de superbrotamento. No segundo experimento, foram avaliados três métodos de manejo de irrigação (monitoramento por clima, solo e Irrigâmetro) combinados com quatro tipos de cobertura de solo (Sem Cobertura, Cobertura Morta, Papel kraft e Plástico). Não houve diferenças significativas nas lâminas de irrigação calculadas com base em dados meteorológicos e pelo Irrigâmetro, atestando a alta eficiência desse equipamento. O manejo da irrigação por meio da umidade do solo não foi eficiente, pois a dificuldade de inserção do sensor no solo e a alta variabilidade de leituras impediu a condução do manejo de irrigação de forma

eficiente. Os métodos de manejo não influenciaram a produtividade potencial. O manejo adotando solo como referência promoveu aumento no superbrotamento, o que reduziu a produtividade comercial. A utilização de cobertura do solo reduziu a produtividade comercial por incrementar o índice de bulbos com superbrotamento.

Palavras-Chave: RDI. Déficit hídrico. Eficiência de uso da água.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Lucas Allan Almeida, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2020. **Yield and over budding on noble purple garlic cultivation influenced by irrigation management.** Advisor: Rubens Alves de Oliveira. Co-advisers: Mario Puiatti and Paulo Roberto Cecon.

A significant part of the garlic's demand in Brazil is supplied by importation, mainly from China. The production of purple garlic could contribute to strengthen the internal market. Several varieties of purple garlic stand out because their sharp aroma e their purple color, which increases the commercial and culinary value. Among the cultivation practices, the irrigation has a significant and straight impact on the garlic's cultivation. The irrigation management on noble garlic's cultivation interfere on the occurrence of a physiological disturb known as over budding, which may be caused by the excess of water applied during the bulbil's differentiation phase. This disturb consist on the growing of anormal leaves where the bulbils should be formed, impacting negatively on the commercial value. Thus, the correct irrigation management on the garlic's cultivation allows the rational use of water and promotes the decrease of over budding occurrence. The aim of this work was evaluating the irrigation management effect on the yield, water use efficiency and over budding on garlic's crop. Two experiments were conducted using the noble variety of purple garlic, 'Ito'. On the first trial it was measured the effect of irrigation management strategies after the beginning of the bulbil's differentiation phase, combined with fertigation with nitrogen on the referred phase. The irrigation management strategies were with regulated deficit irrigation on the levels of 20% and 40%. Regarding the fertigation with nitrogen during the bulbil's differentiation, three conditions were teste: with fertigation; with irrigation; without irrigation/fertigation. The using of 40% water deficit after the bulbil's differentiation did not impair the commercial productivity, therefore water was saved increasing the water use efficiency. Regarding the fertigation with nitrogen, it is recommended its full suspension during this phase, as well as the irrigation, to decrease the incidence of over budding. On the second trial three methods of irrigation management (monitoring by climate; by soil; using the Irrigmetro) and four kinds of soil coverage (without soil cover; dead coverage; kraft paper; plastic cover) were evaluated. There was not significant variation among the irrigation quantity calculated with the Irrigmetro and by the monitoring of the climate, attesting the high efficiency of this equipment. The irrigation management by soil moisture information was not efficient, since it was very difficult inserting the probe on the soil and the high variation between the readings. The irrigation management methods did not interfere on the potential productivity. The irrigation management

using soil information promoted the increasing on the over budding occurrence. The using of soil coverage decreased the commercial productivity by causing high incidence of over budding.

Keywords: RDI. Water deficit. Water use efficiency.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>12</b>
1. A cultura do alho .....	12
1.1. Superbrotamento .....	13
1.2. Cultivo com cobertura do solo.....	17
2. Manejo de Irrigação .....	19
2.1. Manejo Via Solo .....	20
2.2. Manejo Via Clima.....	23
2.3. Manejo Via Planta .....	25
2.4. Irrigação com déficit hídrico controlado.....	26
<b>CAPÍTULO II – PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DO ALHO ROXO NOBRE INFLUENCIADAS PELA IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT HÍDRICO CONTROLADO .....</b>	<b>30</b>
1. Introdução .....	30
2. Material e Métodos .....	32
3. Resultados e Discussão .....	41
4. Conclusões .....	64
<b>CAPÍTULO III – INFLUENCIA DA COBERTURA DO SOLO E DE TÉCNICAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO NA PRODUTIVIDADE E NO SUPERBROTAMENTO DE ALHO ROXO NOBRE .....</b>	<b>65</b>
1. Introdução .....	65
2. Material e Métodos .....	67
3. Resultados e Discussão .....	70
4. Considerações Finais.....	83
5. Conclusões .....	83
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>84</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>91</b>

## INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura é, atualmente, a principal utilizadora de recursos hídricos no Brasil, sendo responsável por 49,8% do total da captação de água (ANA, 2019). Com isso, soluções para reduzir o consumo hídrico são importantes e exigidas pela sociedade. Contudo, se por um lado a agricultura é grande requeredora de recursos hídricos; por outro, ela é encarregada de atender a demanda por alimentos, que é crescente no mundo. A irrigação promove aumentos consideráveis na produção de alimentos, dessa forma, a racionalização do uso da água contribui tanto para a preservação ambiental como para a produção farta de alimentos para a população.

A condução de um correto manejo de irrigação é uma alternativa eficaz para diminuir o consumo de água pela agricultura, pois além de diminuir o desperdício em virtude da aplicação em excesso, também evita que seja aplicada água inferior ao necessário, o que promoveria estresse hídrico na cultura e, conseqüentemente, decréscimo de produtividade (BERNARDO *et al.*, 2019).

O manejo de irrigação pode ser feito utilizando diversos equipamentos e tecnologias, baseados no clima, solo, planta ou em uma combinação destes (PIRES *et al.*, 2001). Atualmente, no Brasil, o método mais comumente utilizado se baseia no clima, empregando a evapotranspiração de referência e coeficientes de cultura. No entanto, a cada dia novas tecnologias são lançadas no mercado, o que pode mudar o cenário do manejo de irrigação no futuro.

Existem algumas técnicas que podem ser utilizadas para diminuir o consumo de água sem afetar a produtividade. Um exemplo disso é a irrigação com déficit hídrico controlado (*Regulated Deficit Irrigation – RDI*), na qual, em uma determinada fase da cultura, a irrigação não é feita de forma plena, resultando em um moderado estresse hídrico, de forma a diminuir o consumo de água, mas sem afetar a produtividade (CHAI *et al.*, 2016).

A cobertura do solo também é uma alternativa para diminuir a demanda de água. A proteção do solo exposto diminui a incidência de raios solares e, conseqüentemente, a evaporação direta de água do solo (NEGREIROS *et al.*, 2005). Outra vantagem do uso de cobertura é o controle de plantas daninhas, que não conseguem se desenvolver sem a incidência de radiação solar (GONÇALVEZ *et al.*, 2005).

Mas no que se refere à irrigação de alho, existe um fator que aumenta a complexidade do manejo de irrigação nessa cultura. Isso porque o excesso de água e de nitrogênio, na fase de diferenciação dos bulbilhos, pode promover um distúrbio fisiológico denominado superbrotamento, que em situações mais graves promove a perda de toda a lavoura (RESENDE

*et al.*, 2015). Sendo assim, o manejo de irrigação deve levar em consideração esse fator, de forma a controlar a aplicação de água nas fases mais sensíveis ao superbrotamento (MAROUELLI *et al.*, 2011).

Dentro desse contexto, é necessário que sejam conduzidas pesquisas com a cultura do alho, tanto para diminuir o consumo de água pela cultura quanto para definir técnicas de manejo de irrigação que diminuam a incidência de superbrotamento.

## CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA

### 1. A cultura do alho

O alho é um condimento muito apreciado pela população brasileira, em que o consumo per capita gira em torno de 1,5 kg habitante<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. No final dos anos 1980, a produção de alho no Brasil abastecia cerca de 90% do mercado nacional, contudo, com a abertura do MERCOSUL e o início da importação do alho chinês, o alho nacional perdeu espaço. Em 2007, a produção nacional foi responsável por abastecer apenas cerca de 30% do mercado interno (RESENDE *et al.*, 2015).

É importante diminuir a importação de alho para fortalecer o mercado interno, mas existem diversos fatores que dificultam o aumento da produção no Brasil. Para aumentar a produção de alho, ou de qualquer outra cultura agrícola, existem basicamente duas alternativas: aumento da produtividade das áreas atualmente cultivadas ou expansão das áreas de cultivo. O aumento da produtividade é uma opção pertinente, mas sozinho não conseguiria atender toda a demanda devido ao grande déficit de produção, sendo necessário expandir as áreas de plantio no país.

Para implementar a cultura do alho em novas áreas é necessário atentar-se às suas exigências climáticas, pois caso a planta seja cultivada em uma região não apta, a produção pode ser inviável. O alho necessita de dias longos e baixas temperaturas para produzir bulbos, de modo que, em situações nas quais o fotoperíodo não atende às exigências da cultura, esta entra em estado vegetativo, com intenso crescimento foliar, sem desenvolvimento de bulbos. Isso restringe as áreas para plantio no Brasil, mas existe uma técnica que pode ser utilizada para contornar essa limitação de temperatura e fotoperíodo, a vernalização (RESENDE *et al.*, 2015).

A vernalização permite que o alho seja cultivado mesmo quando as exigências de fotoperíodo e temperatura não são compatíveis. Essa técnica consiste basicamente em expor os bulbos-semente a temperaturas baixas (3 a 5°C) durante 40 a 60 dias, o que faz com que ocorra uma alteração no balanço hormonal dos bulbilhos promovendo o aumento de giberelinas livres e citocininas. Essas duas substâncias estão relacionadas com a superação de dormência e diferenciação de tecidos (MACÊDO *et al.*, 2011).

A vernalização é bastante eficiente para diminuir a exigência de temperatura e fotoperíodo da cultura do alho (além de diminuir o ciclo da cultura), mas a utilização dessa técnica facilita a ocorrência de um distúrbio fisiológico denominado superbrotamento ou pseudoperfilhamento (RESENDE *et al.*, 2015; BURBA, 1983).

### 1.1. Superbrotamento

O superbrotamento é uma anormalidade genético-fisiológica do alho, em que ocorre o crescimento de folhas anormais, que são oriundas das folhas de proteção dos bulbilhos que se alongam e emergem do solo. As plantas alteram suas características naturais e assumem um aspecto de touceira, produzindo bulbos abertos, sem envolto foliar. Essa anormalidade pode atingir toda a lavoura em algumas situações e reduzir drasticamente o valor comercial dos bulbos produzidos (SOUZA; CASALI, 1986).

A utilização de cultivares nobres de alho, a irrigação, a vernalização e a adubação nitrogenada são fatores que aumentam a produtividade da planta (RESENDE *et al.*, 2015). No entanto, o excesso de nitrogênio (BULL *et al.*, 2002), utilização de cultivares não compatíveis com a região (SOUZA; MACEDO, 2004) e a irrigação em excesso (GARCIA, 1964) causam maior incidência de superbrotamento. Dessa forma, é necessário encontrar a cultivar mais adaptada para a região, bem como o ponto máximo de adubação e irrigação para que a cultura alcance o seu potencial produtivo sem afetar a qualidade do produto.

Tabela 1 - Características produtivas das principais cultivares de alho cultivadas no Brasil

Tipo	Cultivar	Nº Bulbilhos por Bulbo	Exigência por fotoperíodo e temperatura	Superbrotamento
Comum	Juréia	20 – 25	Baixa	Suscetível
	Cajuru	20 – 25		
	Branco Mineiro	26 – 30		
	Cateto Roxo	20 – 25		
	Amarante	8 – 12	Mediana	Resistente
	BRS Hozan	8 – 15		Suscetível
	Chinês Real	8 – 12		Resistente
	Caturra	8 - 12		Resistente
	Gigante	8 – 15		Eventual
	Chonan	7 – 9		Alta
Caçador	7 – 9			
Quitéria	7 – 12			
Ito	7 – 10			
San Valentin	8 - 12			
	Roxo Pérola de Caçador	7 – 10		

Fonte: Adaptado de: Menezes Sobrinho (1997); Marouelli *et al.* (2014).

Cada uma das cultivares plantadas no Brasil possui uma sensibilidade diferente ao superbrotamento (SOUZA; MACEDO, 2004). Algumas cultivares de alho comum como

Amarante, Chinês Real e Caturra são bastante resistentes ao superbrotamento, mas possuem um valor comercial menor que as cultivares de alho nobre (Tabela 1).

A escolha da cultivar de alho é o primeiro fator que influencia na qualidade da produção, uma vez que algumas cultivares possuem características genéticas que originam um produto com características mais apreciadas pelo mercado consumidor (SOUZA; MACEDO, 2004). Na Tabela 1 são apresentadas algumas das principais cultivares de alho utilizadas no Brasil, em que se destacam as variedades do tipo Nobre, que possuem maior valor econômico. No entanto, vale ressaltar que as cultivares nobres são mais exigentes em fotoperíodo e temperatura baixa para ‘bulbificar’, sendo obrigatória a utilização de vernalização em boa parte das regiões do país, o que as torna mais suscetíveis ao superbrotamento (BURBA, 1983).

Na Tabela 2 é apresentada a classificação do alho de acordo com o diâmetro transversal do bulbo, em milímetro (mm), segundo a Comissão Técnica de Normas e Padrões do Ministério da Agricultura (1992). Quanto maior for a classe dos bulbos, maior é o valor comercial do alho. Dentro desse contexto, é possível perceber a importância da produtividade atrelada às características do produto que definem a sua qualidade. A esse respeito, cabe salientar que o diâmetro transversal dos bulbos e o número de bulbilhos por bulbo são os principais indicativos de qualidade do alho (CHITARRA; CHITARRA, 2005) e são características prejudicadas pelo superbrotamento.

Tabela 2 - Parâmetro de classificação da qualidade do alho

Classe	Nomenclatura	Diâmetro transversal (mm)
7	-	> 56
6	Florão	47 – 56
5	Graúdo	42 – 47
4	Médio	37 – 42
3	Pequeno	32 - 37

Fonte: Comissão Técnica de Normas e Padrões do Ministério da Agricultura (1992)

O que torna o manejo da cultura do alho ainda mais complexo é a interação dos fatores que influenciam na qualidade do produto. Cada variedade de alho pode se comportar de uma forma diferente, dependendo de fatores como: a região onde foi cultivado, características de manejo da cultura (irrigação, adubação, vernalização), tipo de solo etc. Tendo isso em vista, Resende *et al.* (2013), conduziram um experimento em Guarapuava-PR, com o objetivo de avaliar o rendimento econômico e a qualidade de bulbos de 20 cultivares de alho. Os autores

utilizaram 12 cultivares de alho seminobre e 8 cultivares de alho nobre. Foram realizadas avaliações de produtividade total, produção comercial, classificação comercial dos bulbos e incidência de superbrotamento. Os autores constataram que as cultivares do grupo nobre apresentaram produtividade total superior às cultivares do grupo seminobre, porém, não houve diferença com relação à produtividade comercial — embora as cultivares do grupo nobre tenham apresentado maior porcentagem de bulbos enquadrados nas classes 6 e 7, enquanto no grupo seminobre a maioria dos bulbos tenha sido categorizado nas classes 3, 4 e 5.

Quando os autores supracitados avaliaram a incidência de superbrotamento, algumas variedades do grupo nobre tiveram uma incidência de quase 100%, sendo que, dentro das variedades nobres, a São Valentim teve a menor incidência (16,2%). Os autores relacionaram as altas taxas de superbrotamento com a pluviosidade que se manteve acima da média durante a condução do experimento. Essa ocorrência, aliada aos fatores de fotoperíodo e temperatura inadequados podem ter sido responsáveis pela diminuição na qualidade da produção da maioria das variedades nobres.

A cultivar escolhida influencia diretamente na qualidade do produto, sendo que, em cada região, uma cultivar pode se destacar em relação às outras. Dessa forma, deve ser feito um estudo preliminar com a maior quantidade possível de cultivares de alho para definir qual é a mais adaptada para as condições da região (RESENDE *et al.*, 2005).

A extrapolação de resultados de estudos sobre produção e qualidade de alho é complexa, visto que a mudança de um fator pode alterar completamente o comportamento da cultura. Como já foi mencionado, a vernalização é um processo que permite o cultivo de alho em áreas inicialmente inaptas ao cultivo, mas quanto maior o tempo de vernalização, maior a probabilidade de a planta apresentar sintomas de superbrotamento. Assim sendo, a cultivar escolhida interage com o tempo de vernalização, alterando a qualidade do produto. Dentro desse contexto, Silva *et al.* (2000) avaliaram o efeito de cinco tempos de vernalização, em cinco variedades de alho nobre, na cidade de Lavras-MG, e constataram que houve um aumento considerável no número de bulbos superbrotados das cultivares em função do aumento do período de vernalização.

A cultivar é um fator chave na qualidade da produção, mas o local de plantio também pode alterar o comportamento das cultivares. Lopes *et al.* (2016) conduziram um experimento com o objetivo de avaliar os efeitos de diferentes períodos de vernalização e épocas de plantio sobre a produção do alho Roxo Pérola de Caçador, na cidade de Baraúna-RN. Os autores supracitados não constataram a incidência de superbrotamento em nenhum dos tratamentos e atribuíram essa característica às altas temperaturas da época de cultivo, o que corrobora com

afirmações feitas por Carmo (1984) que, em um estudo com alho cultivado em duas altitudes diferentes, observou que quando o plantio foi realizado em região com altitude de 20 m e temperatura média do ar de 21,9 °C não houve incidência do superbrotamento. Por outro lado, na segunda região, onde a altitude era de 950 m e a temperatura média do ar era de 14,4 °C, constatou-se uma incidência significativa dessa anormalidade, ainda que utilizando a mesma cultivar e os mesmos tratos culturais. As temperaturas do ar e do solo ao longo do ciclo da cultura do alho estão diretamente relacionadas à ocorrência do superbrotamento, sendo que em condições de baixas temperaturas pode ocorrer uma incidência mais significativa desse distúrbio fisiológico.

A imposição de déficit hídrico moderado às plantas é uma estratégia de controle do superbrotamento no alho e consiste basicamente em paralisar temporariamente a irrigação assim que a planta inicia a diferenciação dos bulbilhos. O tempo e a intensidade do estresse variam de acordo com as condições climáticas e do solo, podendo variar em torno de 1 a 4 semanas (MAROUELLI; LUCINI, 2014).

Macêdo *et al.* (2006), conduziram um experimento na cidade de Lavras-MG para verificar o efeito do início da paralisação e do tempo de paralisação da irrigação sobre a produtividade e qualidade do cultivar Roxo Pérola de Caçador vernalizado. Os autores testaram quatro épocas de suspensão da irrigação (50, 55, 60 e 65 DAP), com quatro períodos de déficit hídrico (8, 12, 16 e 20 dias). Eles puderam constatar que o aumento no período de déficit hídrico promoveu um decréscimo linear nas taxas de superbrotamento, bem como um aumento da produção e da qualidade de bulbos comerciais. Vale ressaltar que o experimento supracitado foi implantado em um Latossolo Vermelho Distroférico, que é um solo com alta capacidade de armazenamento de água, logo, é necessário maior tempo sem irrigação para induzir as plantas ao estresse hídrico moderado. Outro ponto a ser explorado é o início do estresse, pois a mesma variedade pode ter um comportamento fenológico diferente dependendo da região de cultivo. Portanto, o termo DAP não permite muita extrapolação, e a definição visual do início do desenvolvimento dos bulbilhos pode ser um método mais efetivo para definir o início de aplicação do estresse hídrico.

Algumas regiões do Brasil apresentam alto índice de pluviosidade que pode ser impeditivo à aplicação da restrição hídrica na fase de diferenciação dos bulbilhos. Uma alternativa nessas áreas pode ser a imposição de um estresse pela aplicação de herbicidas. Assis (2016) conduziu um experimento para verificar o efeito da utilização de cinco herbicidas sobre a qualidade, produtividade e superbrotamento no alho. O autor utilizou a cultivar Quitéria e aplicou herbicidas em diferentes razões (0; 10; 15; 20 e 25%) da menor dose usual recomendada

para controle de plantas daninhas. A aplicação ocorreu 50 dias após o plantio. Alguns tipos de herbicidas promoveram a morte das plantas, mas a utilização de Glifosato na dose de 15% diminuiu a incidência de superbrotamento de aproximadamente 39% para 4%, sem afetar a produtividade, quando comparado com o tratamento testemunha.

Embora a imposição de estresse hídrico durante a diferenciação dos bulbilhos ou a utilização de herbicida possam ser efetivas no controle do superbrotamento, outro fator que deve ser considerado é a adubação, principalmente a nitrogenada. O excesso de N pode provocar alta considerável na incidência de superbrotamento. Para avaliar o efeito de doses de N sobre a produtividade e características comerciais na cultura do alho Roxo Pérola de Caçador vernalizado, Lima *et al.* (2008) conduziram estudo com aplicação de sete doses de N. Os autores constataram que houve um aumento linear da porcentagem de bulbos superbrotados em função do aumento das doses de N. Trani *et al.* (2008) também estudaram o efeito do N no superbrotamento do alho e corroboraram com os autores supracitados com relação ao nitrogênio. Entretanto, também avaliaram o efeito do K e houve diminuição do superbrotamento nos tratamentos que receberam maiores doses desse nutriente. Dessa forma, é possível afirmar que mesmo o N sendo nutriente essencial na produção de alho nobre, as doses utilizadas não devem ultrapassar os níveis definidos para a cultivar, de forma a evitar a incidência do superbrotamento.

A qualidade do alho cultivado está diretamente relacionada com o retorno econômico do cultivo. Aspectos como diâmetro do bulbo, quantidade de bulbilhos por bulbo e qualidade do envolto foliar do bulbo são os principais fatores que influenciam no preço de venda do alho. As cultivares de alho nobre vernalizado, quando cultivadas sob irrigação e com adubação nitrogenada, dão origem a um produto de melhor qualidade. No entanto, existe divergência nessa relação, uma vez que as cultivares que possuem esses aspectos produtivos são mais sensíveis à ocorrência de superbrotamento. Sendo assim, é preciso encontrar o ponto ótimo de irrigação e fertilização com nitrogênio, no qual a interação de todos os fatores de cultivo promova um desenvolvimento satisfatório da cultura com alta produção e qualidade do alho.

## 1.2. Cultivo com cobertura do solo

A utilização de práticas para cobrir o solo possui diversas vantagens. Uma das principais delas é a diminuição da necessidade de água pela planta, devido à proteção da superfície do solo que faz com que ocorra diminuição da evaporação (NEGREIROS *et al.*, 2005). Uma vantagem secundária está atrelada ao controle das plantas invasoras, pois há uma

menor necessidade no uso de herbicidas, gerando economia na compra de insumos e aumentando a qualidade do produto (GONÇALVEZ *et al.*, 2005).

Existem diversos tipos de materiais que podem ser utilizados para cobrir o solo, como cobertura morta, cobertura plástica ou cobertura de papel kraft e semi kraft.

A utilização de cobertura plástica no solo, comumente conhecida como *mulching*, promove a diminuição na evaporação direta da água presente no solo, sobretudo em sistemas por gotejamento, haja vista que os gotejadores são posicionados normalmente abaixo da cobertura. A evapotranspiração da cultura diminui entre 5 e 30% quando esse tipo de cobertura do solo é utilizada, em comparação a um cultivo sem cobertura, diminuindo o coeficiente de cultura ( $K_c$ ) entre 10 e 30%, podendo gerar economia na aplicação de água e aumentando a produtividade (ALLEN *et al.*, 2007). Amayreh e Al-Abed (2005) utilizaram lisímetros para estimar o efeito da utilização do *mulching* em um cultivo de tomate, no coeficiente de cultura. Os autores indicaram que o  $K_c$  dos cultivos com *mulching* foi de 31 a 40% menores do que os coeficientes fornecidos pela FAO, confirmando que a cobertura plástica promove uma diminuição na evapotranspiração da cultura.

Mesmo com todas as vantagens, cabe citar o principal problema com a utilização de coberturas plásticas: a quantidade de resíduo que é gerada. A reciclagem desse plástico é mais complexa devido ao excesso de resíduos aderidos, como solo e restos vegetais. Dessa forma, muitas vezes após o uso do *mulching* plástico, este é enviado para aterros sanitários, queimados ou jogados em áreas irregulares (HEMPHILL, 1993). *Mulchings* feitos de alguns tipos de papel podem ser uma alternativa, pois muitos trabalhos têm indicado que seus efeitos são similares aos efeitos do *mulching* plástico. Munn (1992) utilizou folhas de jornal como *mulching* no cultivo de milho e soja e constatou que o jornal pode ser uma boa alternativa ao plástico. Sanchez *et al.* (2008) também utilizaram folhas de jornal no cultivo de pepino e concluíram que seu uso foi efetivo no controle de plantas invasoras. Mendes *et al.* (2018) utilizaram papel kraft para cobrir o solo no cultivo da alface e concluíram que o uso de papel produziu efeitos semelhantes ao uso de cobertura plástica, sendo efetivo no controle de plantas invasoras.

Alguns pesquisadores testaram os efeitos da utilização de cobertura na produtividade do alho, mas o efeito sobre o superbrotamento em cultivares suscetíveis a esse distúrbio ainda é incerto. Com o objetivo de testar o efeito de três tipos de cobertura (plástico branco opaco, haste de arroz e sem cobertura) no plantio de alho, Nunes (1986) conduziu um experimento em Rio Branco-AC e constatou que houve um aumento na produtividade, assim como na qualidade do alho nos tratamentos com cobertura, sendo a cobertura plástica mais eficiente do que a casca

de arroz. A autora não indicou o índice de superbrotamento, mas em regiões quentes, como é o caso de Rio Branco, há menor ou incipiente ocorrência desse distúrbio fisiológico.

Correa *et al.* (2003) testaram três épocas de aplicação de adubos e o efeito do uso de cobertura morta na cultura do alho. Com relação à utilização de cobertura morta, os autores concluíram que a utilização dessa técnica foi bastante positiva, tendo em vista que os tratamentos que receberam cobertura alcançaram maior produtividade comercial, não havendo incidência de superbrotamento. Mas vale ressaltar que nesse experimento os autores utilizaram uma variedade de alho seminobre, Gravata, que não necessita de vernalização e é resistente a ocorrência de superbrotamento.

Silva *et al.* (2007) compararam a produtividade do alho cv. Cateto Roxo sem utilizar cobertura, empregando cinco tipos de cobertura morta, e concluíram que a utilização de cobertura foi bastante benéfica, pois a produtividade dos tratamentos com cobertura foi maior, quando comparada com a produtividade do tratamento sem cobertura. Os autores não indicaram se houve superbrotamento.

Na cultura do alho normalmente não é utilizada a cobertura do solo em plantios comerciais, sendo mais comum em plantios de menor escala. O uso de cobertura do solo possui diversas vantagens, uma vez que mantém a umidade do solo, além de atuar como uma barreira física protetiva contra a erosão durante eventos de precipitação e no controle de plantas invasoras. No alho, alguns trabalhos têm demonstrado que o seu uso é bastante vantajoso, mas não há nenhum estudo sobre o uso de cobertura no cultivo de cultivares nobres de alho, que são mais sensíveis em relação à incidência de superbrotamento, sendo esse distúrbio fisiológico muitas vezes causado pela umidade inadequada do solo.

## **2. Manejo de Irrigação**

A irrigação visa, principalmente, fornecer água às plantas. O momento e a quantidade de água que deve ser aplicada são informações primordiais durante a condução e operação de um sistema de irrigação. Caso haja diminuição excessiva da umidade do solo, a cultura entra em estado de estresse hídrico, o que pode afetar negativamente a produtividade, uma vez que ocorre uma interrupção do crescimento e da multiplicação das células vegetais (TESTEZLAF, 2017).

Além do momento certo de acionar o sistema de irrigação, é fundamental a atenção à quantidade de água que deve ser aplicada. Caso seja aplicada quantidade de água inferior à necessária, o solo não atingirá a umidade ideal na zona de raízes ativas, fazendo com que ocorra

estresse induzido pela falta de água. O excesso também é prejudicial, pois além de haver desperdício de água e de energia (em sistemas com bombeamento), há também uma lixiviação de nutrientes, na qual o adubo aplicado será carregado para camadas do solo onde a planta não consegue explorar, podendo, inclusive, contaminar o lençol freático (BERNARDO *et al.*, 2019).

O excesso de irrigação pode provocar outras situações adversas, por exemplo, o aumento da incidência de doenças fúngicas e bacterianas. Em solos mais rasos, o excesso de água pode elevar o lençol freático e provocar situações de alagamento e salinização (TESTEZLAF, 2017).

O manejo de irrigação visa determinar o momento e a quantidade de água que deve ser aplicada para atender à necessidade hídrica da cultura, sendo dependente de diversos elementos que afetam a interação solo-planta-atmosfera (BERNARDO *et al.*, 2019). Existem basicamente três maneiras de conduzir o manejo de irrigação: Via Clima, Via Solo e Via Planta (PIRES *et al.*, 2005), as quais serão abordadas a seguir.

## 2.1. Manejo Via Solo

Nesse tipo de manejo de irrigação, a umidade do solo é utilizada como o parâmetro de controle para determinar o momento, a quantidade de água a ser aplicada e o tempo que o sistema de irrigação deve permanecer acionado. Com o valor de umidade atual do solo é muito simples determinar a lâmina de irrigação, bastando informações sobre as características físicas dele, profundidade efetiva das raízes da cultura e intensidade de aplicação de água do sistema de irrigação para efetuar os cálculos (BERNARDO *et al.*, 2019).

Quando se fala em manejo de irrigação Via Solo é necessário se atentar à definição dos processos que definem a armazenagem de água no solo. O solo é um sistema trifásico, composto por uma parte sólida (composta basicamente por silte, argila, areia e matéria orgânica), uma parte líquida (solução do solo) e uma parte gasosa (ar do solo). As partes líquida e gasosa ocupam a parte livre do solo, os poros, sendo as suas quantidades bastante dinâmicas, enquanto que a parte sólida tende a ser mais estática (BERNARDO *et al.*, 2019).

Os poros do solo são classificados em macro e microporos. Os macroporos possuem diâmetro maior que 0,1 mm, o que faz com que a água não permaneça nesses espaços por muito tempo devido à ação da gravidade. Os microporos, por sua vez, possuem diâmetros menores que 0,05 mm (KLEIN; LIBARDI, 2002), o que permite que haja uma ação da força capilar da água, que aumenta a capacidade de aderência da água ao solo (HILLEL, 1972). As plantas

conseguem extrair água de poros entre 0,05 e 0,0002 mm, sendo que em poros menores do que 0,0002 mm a ação da força capilar é maior do que a capacidade das plantas de retirar água (OTHMER *et al.*, 1991).

A quantidade de água presente no solo pode ser classificada em três limites: saturação, quando todos os poros, inclusive os macroporos, estão preenchidos com água; capacidade de campo (CC), que é o limite máximo de água que o solo pode armazenar sem que ocorra perdas por percolação; e, por fim, ponto de murcha permanente (PMP), que é o limite mínimo de água no qual a planta consegue utilizar a água presente no solo — abaixo desse ponto a planta não consegue extrair a água devido à grande força de retenção (REICHARDT, 1988; SOUZA; REICHARDT, 1996).

A água contida no solo entre os limites da CC e o PMP é denominada capacidade de água disponível (CAD). No entanto, mesmo dentro da CAD existe um limite antes do PMP, em que a planta começa a entrar em situação de estresse para absorver água, sendo essa faixa denominada água disponível (AD), e a faixa compreendida entre este ponto e o PMP, denominada reserva. Todos esses limites descritos acima podem ser relacionados com um valor de umidade do solo, que nada mais é do que a quantidade de água em relação à quantidade de sólidos e de gás (BERNARDO *et al.*, 2019).

Na condução de um cultivo, é interessante que a planta não seja exposta a um solo com baixa umidade, o que pode comprometer a produtividade. É necessário manter a umidade do solo sempre dentro da faixa da AD. Para tanto, é preciso determinar essa umidade, pois dessa forma é possível verificar se ela está dentro da faixa de AD, e quanto de água é necessário aplicar para que o solo atinja a CC novamente (BERNARDO *et al.*, 2019).

A determinação da umidade do solo pelo método padrão de estufa é um processo relativamente simples. Nesse método, amostras de solo são colocadas em uma estufa com ventilação forçada de ar a uma temperatura de 105~110°C por 24~48 horas, em que esse tempo de secagem varia, principalmente de acordo com a textura do solo e umidade inicial da amostra. Com a diferença de peso do solo seco e do peso úmido é possível calcular a umidade (EMBRAPA, 1997). Esse é um método preciso e confiável, mas o grande trabalho na amostragem do solo, sobretudo em grandes áreas irrigadas, bem como o alto tempo do ensaio, fazem com que essa metodologia não seja a mais adequada para utilização em manejo de irrigação.

Uma alternativa ao método padrão é a utilização de métodos indiretos para estimativa da umidade do solo. Esses métodos se baseiam na aferição de alguma variável do solo que esteja em função da umidade, permitindo que sejam feitas estimativas do conteúdo de água com

um tempo reduzido e com a possibilidade de repetição de leituras no mesmo ponto, uma vez que tais métodos em geral não são do tipo destrutivo (DOBRIYAL *et al.*, 2012).

O método do tensiômetro fundamenta-se na variação do potencial matricial em função da quantidade de água presente no solo. Contudo, uma de suas grandes desvantagens é a imprecisão, haja vista que são necessários vários tensiômetros para o cálculo de uma média confiável. Outro grande problema é a pequena faixa de medição, pois caso haja um secamento do solo abaixo do limite operacional, o tensiômetro perde a escorva, ou seja, sai do equilíbrio de potencial com o solo, em que é necessário retirar o tensiômetro e refazer o processo de escorva (DIENE; MAHLER, 2007).

A técnica da capacitância é a base de funcionamento de alguns sensores eletrônicos utilizados para estimar a umidade do solo. O Enviroscan, produzido pela empresa australiana Sentek, é um sensor de umidade do solo que se alicerça na técnica da capacitância, também chamada de Reflectometria em Domínio da Frequência (*Frequency Domain Reflectometry-FDR*). Esse sensor é formado por uma sonda, constituída por uma haste com múltiplos sensores conectados com espaçamento de 10 cm, sendo que, para fins agrícolas, o usuário pode avaliar até a camada de 2 metros de profundidade. Essa sonda permanece instalada no interior de um tubo de PVC hermeticamente fechado, ficando conectada a uma estação central que armazena os dados e fornece energia para o funcionamento dos sensores (SENTEK, 2011).

Os sensores Hidrofarm e FarmLink são produzidos pela empresa brasileira Falker. Esses sensores também têm como princípio de funcionamento a reflectometria em domínio da frequência. Segundo o fabricante, sensores Hidrofarm e FarmLink estimam a umidade volumétrica da maioria dos solos minerais sem a necessidade de calibração, com uma variação de  $\pm 3\%$ . Para a leitura dos valores de umidade com os sensores Hidrofarm deve-se inserir uma haste no solo e acoplá-la a um console que controla o equipamento e estima a umidade daquele ponto — o raio de alcance do sinal é de 20 cm. Os sensores FarmLink possuem a mesma base do Hidrofarm, mas eles ficam instalados no campo continuamente e enviam as leituras de umidade em um sinal de rádio para uma estação central (FALKER, 2010).

Um dos principais problemas da utilização desse tipo de tecnologia para conduzir um manejo de irrigação está relacionado com a repetibilidade. Como a determinação de umidade do solo pelo sensor é pontual, existe a necessidade de repetir a medida em diversos pontos da área de cultivo para obter uma média confiável. O sensor Hidrofarm não fica instalado no campo continuamente, logo, seria necessário percorrer toda a área coletando dados de umidade, o que é inviável em grandes cultivos, sendo possível apenas em pequenas propriedades.

O tipo de sistema de irrigação adotado pode influenciar na condução de um manejo Via Solo. Em áreas extensas, como pivô central, é necessária a utilização de vários sensores para abranger toda a área. Em sistemas localizados deve-se atentar ao local de instalação dos sensores, porque caso a instalação seja feita em uma região que não está recebendo água, pode haver uma superestimativa da lâmina que deve ser aplicada.

## 2.2. Manejo Via Clima

O manejo de irrigação Via Clima consiste na utilização de informações climáticas para definir o momento de acionamento e a quantidade de água que deve ser aplicada em um cultivo irrigado. Esse método de manejo de irrigação é acompanhado pelo balanço hídrico do solo, em que as entradas e saídas de água são contabilizadas de modo que seja possível estimar a quantidade de água que deve ser repostada (PIRES *et al*, 2001).

Ao se fazer uma simplificação do balanço hídrico do solo considera-se a irrigação e a precipitação como as entradas de água no sistema, e a evaporação do solo e a transpiração da planta como saídas. Entretanto, devido às dificuldades de se estimar separadamente os dois componentes de saída, é utilizado o termo evapotranspiração para denominar a soma dos processos de evaporação da água do solo e transpiração da planta (PEREIRA, 2005; THORNTHWAITE; MATHER, 1957).

A entrada de água advinda de precipitação pode ser determinada com a utilização de um pluviômetro e a entrada advinda de irrigação pode ser controlada de acordo com o tempo de irrigação, eficiência do sistema e intensidade de aplicação (BERNARDO *et al.*, 2019). Para estimar a saída de água do sistema é necessário determinar a evapotranspiração, sendo essa uma variável de relativa complexidade de aquisição (FAO, 1998).

Existem diversos métodos para estimar a evapotranspiração, por exemplo, a utilização de modelos matemáticos, tanque classe A, evaporímetro de Piché etc. Esses métodos têm o propósito de estimar a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e, posteriormente, a estimativa da evapotranspiração da cultura com a utilização de coeficientes de cultura (K<sub>c</sub>). Os modelos matemáticos são mais comumente utilizados para estimativa da ET<sub>o</sub>, nos quais as variáveis de entrada são informações climáticas e a evapotranspiração é a variável de saída (TESTEZLAF, 2017).

A equação de Penman-Montieth FAO 56 é considerada o método padrão para estimativa de evapotranspiração de referência, tratando-se de um modelo físico que correlaciona informações meteorológicas com a ET<sub>o</sub>. Para a utilização da equação de Penman-

Montieth FAO 56 são necessários dados de temperatura do ar (T), velocidade do vento a 2 m de altura (U2), umidade relativa do ar (UR) e do saldo de radiação (Rn), dessa forma, torna-se fundamental a presença de uma estação meteorológica para coletar todas as informações climáticas para a aplicação do modelo (FAO, 1998).

A ETo é um parâmetro climático, correspondente à evapotranspiração (ET) de uma cultura hipotética, com 0,12 m de altura, albedo de 0,23, resistência do dossel de  $70 \text{ s m}^{-1}$  e em pleno desenvolvimento vegetativo, e sob condições ideais de umidade do solo (FAO, 1998). A evapotranspiração da cultura (ETc) pode ser obtida através do valor estimado da ETo multiplicado pelo coeficiente da cultura (Kc). Esse coeficiente pode ser obtido em estudos com lisímetros, em que a ETc é medida diretamente e, depois, correlacionada com os valores de ETo (BERNARDO *et al.*, 2019).

O manejo de irrigação Via Clima com estação meteorológica tem sido muito utilizado, pois com uma única estação é possível conduzir o manejo para várias culturas em qualquer fase de desenvolvimento, bastando ter as informações de Kc para cada cultura e fase correspondente. As principais desvantagens desse tipo de manejo estão relacionadas à qualidade das estimativas de ETo, assim como a disponibilidade de coeficientes de cultura calibrados para o local de cultivo. Por se tratar de um modelo, a estimativa da ETo pela equação de Penman-Montieth está sujeita a erros devido à falha na operação da estação e utilização de sensores descalibrados.

### 2.2.1. Irrigâmetro

O Irrigâmetro é um equipamento evapopluiométrico utilizado no manejo da irrigação, que foi desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa (TAGLIAFERRE, 2006). A principal vantagem desse equipamento está relacionada com a simplicidade de uso e a rápida resposta sobre a quantidade de água que deve ser aplicada em cada evento de irrigação. Não há necessidade de conhecimentos complexos ou teóricos para utilizá-lo, bastando saber a ordem de abertura e fechamento das válvulas do equipamento. A precisão do Irrigâmetro é da ordem de um décimo de milímetro, sendo uma precisão suficiente para a condução de um correto manejo de irrigação.

Oliveira *et al.* (2008) avaliaram o desempenho do Irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), de forma a validar a eficiência e precisão do equipamento. Os autores verificaram uma alta correlação entre os valores medidos com o Irrigâmetro e os calculados pelo método de Penman-Montieth FAO 56, sendo este o método considerado padrão na estimativa ETo, com erro padrão iguais a 0,40, 0,35 e 0,28  $\text{mm d}^{-1}$  e

coeficientes de ajustamento iguais a 0,93, 0,94 e 0,97, para as escalas de 3, 5 e 7 dias, respectivamente. Dessa forma, concluiu-se que o Irrigâmetro apresentou um desempenho satisfatório para estimar a ETo.

Devido a essa grande precisão e acurácia, o Irrigâmetro já foi utilizado em diversas pesquisas na condução de manejo de irrigação. Oliveira *et al.* (2011) utilizaram o Irrigâmetro na cultura do girassol com o objetivo de avaliar o desempenho no manejo de irrigação e concluíram que esse equipamento foi bastante preciso quando comparado com o manejo utilizando uma estação meteorológica, sendo assim, os autores recomendam seu uso. Contin (2008) comparou a utilização do Irrigâmetro com a utilização do Tanque Classe A e estação meteorológica na condução do manejo de irrigação na cultura do feijoeiro e constatou que o uso do aparelho não alterou as lâminas de irrigação de forma significativa.

Tendo em vista isso, pode-se concluir que o Irrigâmetro é um equipamento confiável e a sua facilidade de operação faz com que esse aparelho seja uma alternativa viável para condução de manejo de irrigação.

### 2.3. Manejo Via Planta

O manejo de irrigação Via Planta é, teoricamente, a forma mais precisa de determinar o momento certo de acionar o sistema de irrigação. Os sensores de monitoramento do status hídrico vegetal se baseiam em alguma característica fisiológica da planta que é influenciada diretamente pela quantidade de água disponível no solo ou substrato. Todavia, na prática, esse método é ainda pouco utilizado em manejo de irrigação, sendo aplicado basicamente em pesquisas (PIRES *et al.*, 2001).

O monitoramento do estado hídrico das plantas é muito subjetivo, uma vez que os sintomas são dependentes da interação de vários fatores, além da umidade do solo e aspectos climáticos. A espécie vegetal, idade das plantas, aspectos químicos e físicos do solo, posição de tomada das medidas, horário de medição etc., podem afetar a resposta fisiológica avaliada, tornando esse método complexo e laborioso (HSIAO, 1973).

As principais manifestações da disponibilidade de água para as plantas estão relacionadas à turgescência, potencial hídrico, temperatura, mudança de coloração e posição das folhas, além da alteração do crescimento de algumas estruturas vegetais e fluxo de seiva. A maioria desses sintomas, por sua vez, estão relacionados com a abertura e fechamento dos estômatos, que são estruturas foliares responsáveis pelo controle das trocas gasosas da planta com o ambiente (SANTOS; CARLESSO, 1998).

Sensores baseados na aferição da pressão de turgor foliar, comumente chamados de sensores Zim ou LPCP (*leaf patch clamp pressure*), são equipamentos baseados na planta, de caráter não destrutivo, e que podem ser mantidos na folha realizando análises no mesmo ponto de avaliação em uma alta frequência de aquisição de dados. Essa tecnologia fundamenta-se na pressão entre duas placas atraídas eletromagneticamente, sendo a folha disposta entre elas. Quanto maior for o turgor foliar, ou seja, a quantidade de água presente nos tecidos vegetais, menor será a pressão exercida entre as placas. Com essa relação, é possível que se utilize esse equipamento para acompanhar o estado hídrico de uma planta ao longo do tempo e, conseqüentemente, automatizar o manejo de irrigação Via Planta (ZIMMERMANN *et al.*, 2013).

A Câmara de Scholander é um equipamento que permite realizar análises rápidas e precisas para a determinação do potencial hídrico das plantas, possibilitando a avaliação das implicações das condições do solo e das influências dos fatores ambientais sobre o status hídrico dessas plantas. Nesse equipamento, uma folha ou pequeno galho é inserido na câmara com a parte cortada exposta ao ambiente. Uma pressão (40 até 100 bars) é aplicada no interior da câmara até que essa pressão exceda a tensão interior do tecido vegetal e a seiva do xilema começa a escoar pela região cortada da amostra, após isso, a tensão pode ser aferida utilizando um manômetro (RODRIGUES *et al.*, 2003).

O manejo Via Planta não é simples, sendo hoje utilizado basicamente em pesquisas. Não existe uma metodologia concreta para a definição da lâmina de irrigação de acordo com informações da planta, mas esses sensores podem ser muito úteis para indicar o momento certo para acionar o sistema de irrigação. Por se basearem em aspectos da planta, é possível determinar um limite de resposta do sensor que indica a necessidade de irrigação, para evitar que ela entre em estado de estresse hídrico.

#### 2.4. Irrigação com déficit hídrico controlado

Em função da crescente demanda por água no mundo, muitos produtores e pesquisadores têm buscado formas para aumentar a eficiência de uso da água em cultivos irrigados. A Irrigação com Déficit Hídrico Controlado (*Regulated Deficit Irrigation-RDI*) é uma alternativa para promover esse aumento. Essa técnica foi criada inicialmente para ser utilizada em cultivos de frutíferas perenes, mas seu uso foi estendido para ser aplicado em outros grupos vegetais, como na horticultura (KIRDA, 2002).

Com a utilização dessa técnica ocorre uma limitação do vigor vegetativo da cultura, de modo a aumentar a eficiência de uso da água (EUA). Em termos práticos, é aplicado em alguma fase da cultura déficit hídrico com valor pré-definido, mas de forma que não haja decréscimo na produção final. Ou seja, o estresse pode diminuir o vigor vegetativo, mas não deve influenciar no desenvolvimento da estrutura vegetal (ex.: fruto ou tubérculo) de interesse agrônômico (CHAI *et al.*, 2016).

A RDI pode ser definida como uma técnica de irrigação em que a cultura é irrigada com uma lâmina abaixo da necessária para promover desenvolvimento ótimo, de forma a reduzir a quantidade de água utilizada durante o ciclo, expondo as plantas a certo nível de estresse hídrico, aumentando a EUA, mas sem afetar a produtividade. O controle desse déficit varia de acordo com os diferentes estágios de desenvolvimentos da planta — nos estágios mais críticos deve ser aplicada uma lâmina que atenda totalmente à evapotranspiração, enquanto o estresse deve ser aplicado nas fases menos suscetíveis (MCCARTHY *et al.*, 2002).

O princípio da técnica de RDI é baseado no fato de as plantas responderem diferentemente ao estresse hídrico em função da sua fase de desenvolvimento, em que a aplicação de lâmina menor em algumas fases não causará decréscimo da produtividade, podendo provocar apenas redução do crescimento vegetal das estruturas não comerciais (CHAI *et al.*, 2016).

Existe grande complexidade para definir as fases de uma cultura que são menos suscetíveis ao déficit hídrico, pois a mesma espécie vegetal pode responder de forma diferente ao déficit, dependendo das variações climáticas, cultivar utilizada, região de cultivo, práticas de manejo, entre outras (MCCARTHY *et al.*, 2002).

Do ponto de vista fisiológico existem duas teorias básicas que são utilizadas para explicar os motivos pelos quais não há, ou há muito pouco decréscimo na produtividade das culturas quando a técnica de RDI é utilizada. A primeira é que o estresse hídrico moderado estimula o fechamento parcial dos estômatos da planta, promovendo redução da perda de água, mas sem interromper a fotossíntese completamente. A segunda teoria afirma que quando a planta é submetida nos estágios iniciais ao estresse hídrico, parte do sistema radicular envia um sinal enzimático para os brotos a fim de estimular o fechamento dos estômatos — dessa forma, a planta cria certa resistência ao estresse (CHAI *et al.*, 2016).

Um dos principais efeitos da utilização de RDI é a diminuição do conteúdo de água nas folhas da planta, o que pode causar diminuição da expansão da área foliar e o fechamento parcial dos estômatos. Mas a época de aplicação e a intensidade do déficit devem ser levados

em consideração ao se avaliar o impacto da sua utilização no desenvolvimento da cultura, pois os efeitos podem ser maiores ou menores dependendo do manejo do déficit (CHAI *et al.*, 2016).

Gonzalez *et al.* (2009) conduziram um experimento com melancia em casa de vegetação, em que um dos tratamentos adotados foi a utilização da técnica de RDI. O déficit foi aplicado durante a fase de florescimento da melancia, na qual a lâmina era um pouco menor do que a necessária, promovendo uma leve diminuição da umidade do substrato quando comparado ao tratamento que recebeu irrigação convencional. A produtividade do tratamento que recebeu o déficit não foi estatisticamente diferente do que o tratamento irrigado de forma convencional. Um ponto a ser observado foi a diminuição de 19 mm na lâmina de irrigação aplicada no tratamento que recebeu o déficit, o que promoveu aumento na EUA final.

Olalla *et al.* (2004) conduziram um estudo para verificar a possibilidade de utilização da técnica de RDI na cultura da cebola, tendo sido utilizados oito tratamentos, nos quais o ciclo fenológico foi dividido em quatro partes, e cada tratamento era composto por uma combinação de intensidades de déficit nas diferentes fases da cultura. Durante a fase inicial de desenvolvimento não foi aplicado nenhum déficit, para que ocorresse um bom estabelecimento da cultura. Os autores concluíram que a aplicação de déficit moderado de 20% durante a bulbificação, e de 50% durante o amadurecimento, leva aos maiores valores de EUA, com uma economia de 109 mm de água, em que mais da metade da produção possuía o melhor índice de qualidade para venda.

Cortés *et al.* (2003) também testaram a combinação de diferentes níveis de estresse hídrico nas quatro principais fases fenológicas da cultura do alho. Os autores constataram que os tratamentos que receberam déficit durante a bulbificação foram os que alcançaram os maiores valores de EUA, embora não tenha ocorrido diferença estatística significativa entre esses tratamentos. O tratamento testemunha, que não foi submetido ao estresse hídrico durante o amadurecimento, alcançou os maiores valores de produtividade. No trabalho também foi mostrado que entre os tratamentos que sofreram algum nível de estresse hídrico, as maiores produtividades foram alcançadas quando o déficit foi aplicado em apenas uma das quatro fases fenológicas. A fase de bulbificação demonstrou ser a mais apropriada para receber a aplicação do déficit, sem que haja diminuição significativa da produção.

Em experimento com tomates, Savic *et al.* (2008) utilizaram a técnica de RDI. Os autores aplicaram um déficit de 50% após o surgimento das flores e mantiveram a aplicação até a colheita. A produtividade do tratamento submetido ao déficit foi cerca de 55% menor do que a produtividade do tratamento que recebeu uma lâmina de irrigação para atender totalmente à evapotranspiração (*Full Irrigation-FI*). Os frutos do tratamento que receberam a aplicação do

déficit também foram, em média, 18 mm menores do que os frutos do tratamento FI. Vale ressaltar que esse foi um déficit substancial, e que os autores o mantiveram por muito tempo, inclusive durante uma das fases em que as plantas mais necessitam de água e nutrientes. Além disso, cabe destacar também que o tomateiro tem crescimento vegetativo e reprodutivo concomitante, o que pode justificar a falta de resposta dos tratamentos.

Sánchez-Virosta *et al.* (2020) conduziram um experimento para testar o efeito da utilização de irrigação com déficit hídrico otimizado (ORDI – *Optimized Regulated Deficit Irrigation*) nas respostas fisiológicas em alho. Os autores compararam o tratamento testemunha (irrigado para repor toda a evapotranspiração da cultura) com 4 tratamentos que foram irrigados com porcentagens (100, 90, 80 e 70%) da lâmina necessária em um ano meteorológico típico. A produtividade do tratamento testemunha foi maior do que a de todos os outros tratamentos nos dois primeiros anos de avaliação, e o tratamento 90% não diferiu estatisticamente do tratamento 100% no segundo ano. Com relação às respostas fisiológicas, quanto maior o déficit hídrico, maior o efeito negativo (IAF e condutância estomática).

Quando se utiliza RDI é importante definir três pontos para que não haja um decréscimo substancial na produtividade da cultura: o nível do estresse hídrico; o momento certo de iniciar a aplicação; e, por fim, a sua duração. Dessa forma, com a definição correta desses três pontos, é esperada economia de água, afetando minimamente a produtividade da cultura.

A aplicação da técnica de RDI em olerícolas pode ser uma alternativa para aumentar a EUA, no entanto, nos trabalhos observados nesta revisão, o pressuposto da técnica, em que a produtividade não deve ser afetada quando comparada à condução sem estresse hídrico, não foi alcançado. Essa técnica tem sido mais eficiente na irrigação de frutíferas perenes, em que foi possível perceber, em vários trabalhos, que o déficit hídrico não alterou a produtividade. Contudo, é importante ressaltar que a aplicação de déficit moderado em olerícolas na fase correta pode ser uma alternativa para aumentar a EUA e a qualidade do produto.

## **CAPÍTULO II – PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DO ALHO ROXO NOBRE INFLUENCIADAS PELA IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT HÍDRICO CONTROLADO**

### **1. Introdução**

A utilização de irrigação viabiliza o cultivo em diversas áreas que apresentam solo, temperatura e fotoperíodo favoráveis, mas com insuficiente disponibilidade hídrica no solo. As áreas irrigadas no mundo representam cerca de 20% da área total cultivada, no entanto, estas são responsáveis por aproximadamente 40% da produção agrícola (FAO, 2015). Isso evidencia que a irrigação contribui de forma decisiva para a segurança alimentar mundial.

Os dois principais recursos necessários em um sistema de irrigação são energia (em sistemas com bombeamento) e água, sendo que a disponibilidade desta tem decrescido a cada ano, tanto devido à diminuição de sua disponibilidade como pelo aumento de sua demanda. Alguns fatores que podem ser utilizados para justificar a crise hídrica que tem afetado boa parte do nosso planeta são: diminuição das áreas de recarga; poluição dos corpos hídricos; desmatamento e aumento da utilização de água de maneira geral (FAO, 2015). Dessa forma, o uso eficiente da água na agricultura é fundamental e ele pode ser alcançado por meio da priorização de sistemas eficazes como a irrigação localizada, além da adoção do correto manejo da irrigação, de modo a favorecer a aplicação de lâmina adequada e evitar o desperdício de recursos hídricos.

Além da condução de correto manejo de irrigação, outra técnica que pode ser utilizada para diminuir o consumo de água na agricultura é a Irrigação com Déficit Controlado (*Regulated Deficit Irrigation-RDI*). A RDI consiste em aplicar estresse hídrico moderado no cultivo durante a fase fenológica menos sensível à falta de água. Entretanto, é importante ressaltar que uma das premissas dessa técnica é que o estresse hídrico não promova a diminuição da produtividade quando comparada ao manejo com irrigação plena por todo o ciclo (CHAI *et al.*, 2016).

A técnica de RDI foi utilizada inicialmente na irrigação de pomares de pêssego e pera (MCCARTHY, 2000), com o intuito de controlar o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo nas fases em que há maior influência do estresse hídrico no crescimento dos frutos. Nesse estudo, os autores concluíram que a técnica é bastante efetiva no manejo dessas culturas, uma vez que foi possível aumentar a qualidade da produção e diminuir a quantidade de água aplicada pela irrigação.

Mesmo que inicialmente a técnica de RDI tenha sido aplicada em fruteiras, alguns pesquisadores a utilizaram em tomate (SAVIĆ *et al.*, 2008), cebola (OLALLA *et al.*, 2004), milho (KANG *et al.*, 2000) e feijão (GONZÁLEZ *et al.*, 2009). Todos os autores supracitados indicaram as fases das respectivas culturas nas quais a imposição do estresse hídrico moderado não promove decréscimo na produtividade.

O alho é usualmente cultivado sob irrigação no Brasil, sendo um produto com alta demanda, bastante valorização culinária e grande valor econômico. Durante o seu cultivo, o excesso de água e de adubação nitrogenada na fase de diferenciação dos bulbilhos podem provocar um fenômeno denominado superbrotamento ou pseudoperfilhamento, que reduz o valor comercial. Para diminuir a incidência dessa anomalia fisiológica normalmente é aplicado estresse hídrico durante essa fase fenológica (MACÊDO *et al.*, 2006).

Embora o superbrotamento seja um problema que pode provocar grandes prejuízos nos plantios de alho, não existe concordância entre os pesquisadores sobre a forma como deve ser feito o manejo da irrigação com aplicação do estresse hídrico, de maneira a alcançar a maior produtividade sem que haja alta incidência do fenômeno. Assim, a utilização da técnica de RDI pode ser uma alternativa eficaz para promover a economia de água no cultivo de alho e, também, para aumentar a qualidade do produto.

Dentro desse contexto, o objetivo neste trabalho foi avaliar a utilização da técnica de manejo de irrigação com déficit controlado (RDI) na produção e qualidade do alho nobre vernalizado.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Delineamento Experimental

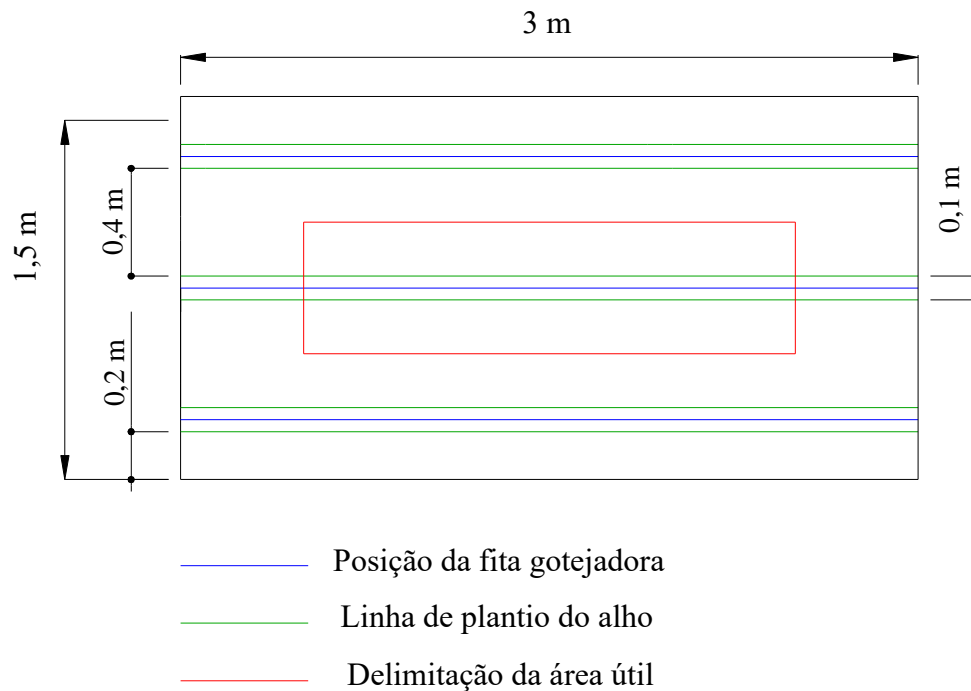
O experimento foi conduzido entre maio e setembro de 2018, seguindo delineamento inteiramente casualizado, em esquema de parcela subdividida com três repetições, tendo nas parcelas três níveis de irrigação (100%, 80% e 60%) após o início da diferenciação dos bulbilhos e, na subparcela, três métodos de condução do manejo de irrigação/fertirrigação durante o período de estresse hídrico após início da diferenciação dos bulbilhos (Mantém Irrigação e Fertirrigação com N; Mantém Irrigação e suspende Fertirrigação com N; Suspende Irrigação e Fertirrigação com N) (Tabela 3).

Tabela 3 - Descrição dos tratamentos adotados no experimento

Tratamento	Manejo de irrigação durante o período de estresse hídrico após início da diferenciação dos bulbilhos	Nível de irrigação após início da diferenciação dos bulbilhos
SI-100	Suspende Irrigação e Fertirrigação com	100%
SI-80	Nitrogênio	80%
SI-60	(SI)	60%
CI-100	Mantém Irrigação e Suspende	100%
CI-80	Fertirrigação com Nitrogênio	80%
CI-60	(CI)	60%
CF-100	Mantém Irrigação e Fertirrigação com	100%
CF-80	Nitrogênio	80%
CF-60	(CF)	60%

Cada parcela experimental foi constituída por um canteiro com 1,5 m de largura e 3,0 m de comprimento, totalizando uma área de 4,5 m<sup>2</sup>, sendo 3 linhas duplas de alho, e a área útil composta pela linha central, onde as adjacentes foram utilizadas como bordadura. As extremidades (50 cm) da linha central também foram desconsideradas para fins de avaliação, sendo utilizadas como bordadura. Como pode ser visto na Figura 1, o espaçamento adotado entre as linhas duplas foi de 40 cm e, entre as fileiras da linha dupla, de 10 cm (MAROUELLI *et al.*, 2014).

Figura 1 - Croqui do canteiro de plantio, representando uma parcela. Viçosa-MG, UFV, 2018.



Fonte: O autor.

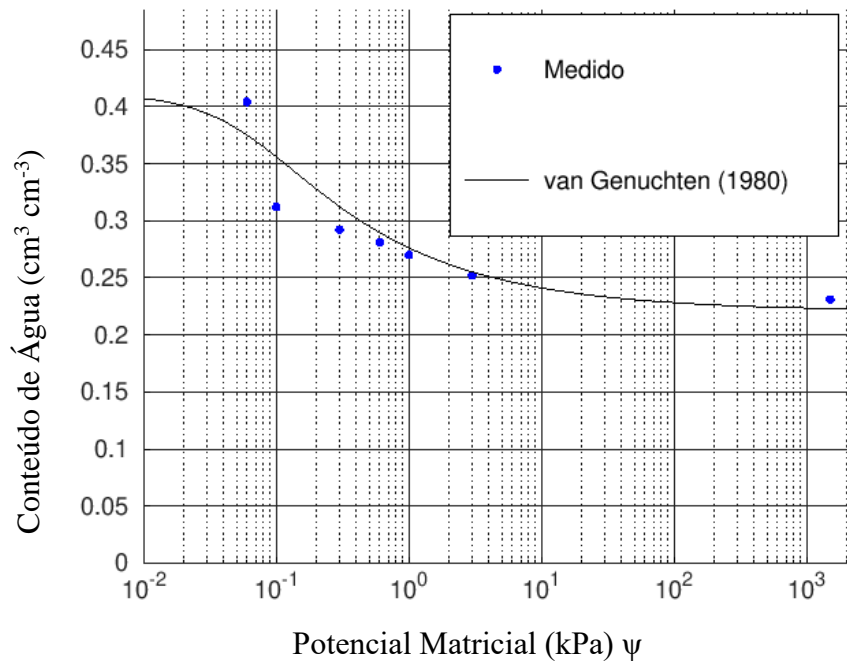
## 2.2. Caracterização da Área

O experimento foi conduzido na Área Experimental de Hidráulica, Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada no município de Viçosa-MG, cujas coordenadas geográficas são: 20° 45' Sul; 42° 51' Oeste e altitude de 651 m. O clima é classificado como Cwa, subtropical úmido com invernos secos, pela classificação de Koppen-Geiger.

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo. Foram feitas análises das características físicas e químicas, apresentadas a seguir: 39% de Argila, 15% de Silte e 46% de Areia, caracterizando o solo como Argilo-Arenoso; pH: 6,0; Fósforo: 21,2 mg dm<sup>-3</sup>; Potássio: 135 mg dm<sup>-3</sup>; Cálcio: 2,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Magnésio: 1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Alumínio: 0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H+Al: 2,48 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Soma de Bases Trocáveis: 3,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Capacidade de Troca Catiônica Efetiva: 3,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Capacidade de Troca Catiônica a pH 0,7: 6,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Índice de Saturação por Bases: 60%; Índice de Saturação de Alumínio: 0%; Matéria Orgânica: 2,18 dag kg<sup>-1</sup>; Fósforo Remanescente: 24,4 mg L<sup>-1</sup>; Zinco: 55,7 mg dm<sup>-3</sup>; Ferro: 74,7 mg dm<sup>-3</sup>; Manganês: 79,7 mg dm<sup>-3</sup>; Cobre: 4,5 mg dm<sup>-3</sup> e Boro: 0,2 mg dm<sup>-3</sup>.

Na Figura 2 é apresentada a curva de retenção de água do solo, ajustada pelo modelo de van Genuchten. A capacidade de campo do solo é de 35%, e o ponto de murcha permanente é de 22%.

Figura 2 - Curva de retenção de água no solo ajustada pelo modelo de van Genuchten. Viçosa-MG, UFV, 2018.



Parâmetros da equação de ajuste de van Genuchten:  $\theta_s = 0,41123$ ;  $\theta_r = 0,22071$ ;  $\alpha = 16,666$ ;  $n = 1,4371$ ;  $r^2 = 0,82$ . Fonte: O Autor.

### 2.3. Variedade e Plantio

No experimento foi utilizada alho-semente da variedade de Alho Roxo Nobre, Ito, classe 7, obtidas no município de Rio Paranaíba-MG. As sementes passaram pelo processo de vernalização, sendo expostas à temperatura de 2 a 3 °C durante 50 dias, sendo o IVD de entrada do alho-semente igual a 50%.

O solo foi preparado de forma convencional para o plantio, com uso de arado, grade e enxada rotativa. Antes do plantio foi feita uma irrigação. O plantio foi efetuado no dia 7 de maio de 2018, tendo sido realizado de forma manual. Para estabelecer o espaçamento correto foi utilizada uma placa perfurada como gabarito para marcar a posição de plantio nos canteiros. Os espaçamentos entre plantas e entre as fileiras da linha dupla foram de 10 cm.

## 2.4. Adubação e Fertirrigação

Inicialmente foi feita uma adubação dois dias antes do plantio, a lanço, com fósforo (supersimples), na ordem de 2 t ha<sup>-1</sup>. Um dia antes do plantio foi aplicado NPK (02-30-00) na concentração de 3 t ha<sup>-1</sup>. Após o plantio foi aplicado, também a lanço, KCl na ordem de 0,2 t ha<sup>-1</sup>. Todas as aplicações de adubo subsequentes foram feitas via fertirrigação, usando-se 0,6 t ha<sup>-1</sup> de NPK (30-00-20), 0,4 t ha<sup>-1</sup> de KCl e 0,31 t ha<sup>-1</sup> de MAP purificado. Também foram aplicados Sulfato Zinco, Sulfato de Magnésio e Ácido Bórico.

Os detalhes das quantidades e momentos de aplicação dos adubos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Cronograma de aplicação de nutrientes durante a condução do experimento. Viçosa-MG, UFV, 2018.

Período	DAP	Insumo	Quantidade aplicada (kg ha <sup>-1</sup> )	Total de N no período (kg ha <sup>-1</sup> )
Antes do período de diferenciação dos bulbilhos	-1	NPK (00-21-00)	2000*	
	0	NPK (02-30-00)	3000*	
	0	KCL	200*	
	8	NPK (30-00-20), KCl	100	
	15	NPK (30-00-20)	100	
	15	Sulfato Zn, Sulfato Mn, Ácido Bórico	4	90
	15	KCl	100	
	22	NPK (30-00-20)	100	
	22	Sulfato Mg	20	
	22	Map purificado	150	
	25	KCl	100	
	30	Sulfato Zn, Sulfato Mn, Ácido Bórico	4	
	Período de estresse durante a diferenciação dos bulbilhos**	60	NPK (30-00-20)	100
60		Sulfato Mg	20	
60		map purificado	150	
70		NPK (30-00-20)	100	75
70		Sulfato Zn, Sulfato Mn, Ácido Bórico	4	
80		NPK (30-00-20)	50	
80		Ácido Bórico, Sulfato Mn	4	
Após período de estresse	90	NPK (30-00-20)	50	
	100	Sulfato Mg	20	15
	100	Map purificado	10	
	100	KCl	100	

\*A aplicação foi feita a lanço, \*\*Os tratamentos onde a aplicação de N foi suspensa não receberam as doses de NPK (30-00-20), mas receberam as doses dos outros nutrientes

## 2.5. Aplicação de defensivos

A cultura do alho é bastante sensível a doenças e ataque de pragas, dessa forma, foi elaborado um cronograma preventivo de aplicação de fungicidas, bactericidas, inseticidas e herbicidas. Não houve infestação de inseto ou doença durante o cultivo, mas os herbicidas não foram eficientes para controlar todas as plantas espontâneas, tendo sido necessária a realização de catação manual.

## 2.6. Irrigação

Foi utilizado sistema de irrigação por gotejamento, com fitas gotejadoras (Rivulis Plastro D1000) de polietileno de 16 mm de diâmetro, com emissores espaçados em 20 cm. Segundo o fabricante, para a pressão de serviço de 1,2 bar, a vazão dos emissores é de 1,5 L h<sup>-1</sup>. O sistema foi automatizado utilizando um temporizador X-Core 801 Hunter, bem como seis válvulas solenoides com controle de pressão. As tubulações principal e de derivação foram de PVC de 32 mm. As linhas laterais foram espaçadas em 40 cm.

O conjunto motobomba utilizado foi do modelo SCHNEIDER BC-91S SC Monofásica, 1/4 cv, 3450 RPM, com vazão mínima de 1,8 e máxima de 8,2 m<sup>3</sup> hora<sup>-1</sup>; pressão mínima de 2 e máxima de 14 mca, acoplado a um reservatório de água de 10.000 L. Devido à baixa qualidade da água disponível no curso de água mais próximo (alto teor de ferro e matéria orgânica), foi utilizada água tratada nos eventos de irrigação.

O manejo de irrigação foi conduzido Via Clima, por meio do balanço hídrico. A evapotranspiração de referência foi calculada por meio da equação de Penman-Monteith FAO 56, com dados obtidos em uma estação meteorológica automática instalada na área experimental. Posteriormente, calculou-se a evapotranspiração da cultura com valores de Kc dados por: inicial de 0,8, médio de 1,05 e final de 0,75. Os cálculos foram realizados diariamente e o sistema de irrigação era acionado para aplicar a lâmina necessária por meio de painel temporizador.

Quando necessário, o fator f de disponibilidade hídrica utilizado foi de 0,35. A profundidade efetiva de raízes considerada iniciou em 10 cm e aumentou gradativamente até 52 DAP, em que foi considerada como 30 cm até o final do experimento.

Todos os tratamentos foram conduzidos sob irrigação plena até o início da fase de diferenciação dos bulbilhos, quando os tratamentos foram aplicados. O manejo de irrigação e a adubação nitrogenada foram variados de diversas formas, a fim de que fosse possível avaliar

qual a melhor maneira de conduzir a irrigação na cultura do alho, alcançando a maior produtividade, sem aumentar a incidência de superbrotamento (Tabela 5).

Tabela 5 - Níveis de irrigação em cada fase do experimento. Viçosa-MG, UFV, 2018.

Tratamentos		Fase Fenológica					
Nível de Irrigação*	Manejo da Irrigação/ Fertirrigação durante o período de estresse hídrico*	Fase 1	Fase 2	Fase 3		Fase 4	
				Durante o período de estresse hídrico*	Após período de estresse	Período final de irrigação	Suspensão da irrigação**
		Duração (DAP)					
		0 a 18	19 a 51	52 a 81	82 a 96	97 a 107	108 a 130
		Irrigação (Porcentagem da ETc suprida)					
60%	Sem Irrigação			0%			
	Com Irrigação	100%	100%	60%	60%	60%	0%
	Com Fertirrigação			60%			
80%	Sem Irrigação			0%			
	Com Irrigação	100%	100%	80%	80%	80%	0%
	Com Fertirrigação			80%			
100%	Sem Irrigação			0%			
	Com Irrigação	100%	100%	100%	100%	100%	0%
	Com Fertirrigação			100%			

\* após início da diferenciação dos bulbilhos

\*\* para amadurecimento dos bulbos

## 2.7. Avaliações

### 2.7.1. Aspectos Agronômicos

Para avaliar os aspectos agronômicos apenas os bulbos perfeitos foram considerados, ou seja, aqueles sem ocorrência de superbrotamento. Foi avaliada a produtividade comercial (bulbos perfeitos e maiores que 25 mm de diâmetro), bem como o peso médio de bulbos, o número de bulbilhos/bulbo e o diâmetro dos bulbos.

Também foi avaliada a porcentagem de bulbos superbrotados em cada parcela experimental.

### 2.7.2. Aspectos Fisiológicos

Foram feitas avaliações fisiológicas para mensurar respiração, fotossíntese, clorofila, potencial hídrico foliar e índice de área foliar em todos os tratamentos. As leituras foram feitas a partir dos 82 DAP, sendo que, para cada parâmetro, foi escolhida uma abordagem diferente.

#### 2.7.2.1. IRGA

As avaliações de trocas gasosas foram realizadas com o analisador de gases infravermelho portátil, IRGA (*Infra-Red Gas Analyzer*), modelo LCPro SD Analyser (ADC BioScientific Limited, UK).

As leituras foram realizadas em todos os tratamentos com medições no terço médio do limbo foliar, em folhas não sombreadas e fisiologicamente maduras, no dia 18 de agosto de 2018. 104 DAP.

Os parâmetros medidos foram: fotossíntese líquida ( $A$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $G_s$ ,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), concentração de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), transpiração foliar ( $E$ ,  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), umidade relativa da folha (%  $\text{H}_2\text{O}$ ).

Com base nos dados coletados foram calculadas a eficiência de uso da água (EUA) e a eficiência aparente de carboxilação ( $EC_i$ ), de acordo com as equações 1 e 2, respectivamente.

$$EUA = \frac{A}{E} \quad (1)$$

EUA: eficiência de uso da água [ $(\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}) / (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})$ ]

A: fotossíntese líquida ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )

E: transpiração ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )

$$EC_i = \frac{A}{C_i} \quad (2)$$

$EC_i$ : eficiência aparente de carboxilação [ $(\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}) / (\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1})$ ]

A: fotossíntese líquida ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )

$C_i$ : carbono intercelular ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )

#### 2.7.2.2. Clorofila

Para a estimativa do teor de clorofila, foi utilizado o clorofilômetro FALKER, modelo CFL1030, que possui uma escala de medição de 0 a 100 ICF (Índice de Clorofila Falker), resolução de medição de 0,1 ICF e 3 faixas de frequência de medição. As medições foram feitas aos 55 DAP e 102 DAP, englobando um período antes da variação da aplicação de nitrogênio e outro período após a variação.

#### 2.7.2.3. Potencial Hídrico Foliar

Para monitorar o potencial hídrico foliar da cultura do alho, o potencial da água ( $\psi_w$ , MPa) foi medido em 2 dias consecutivos, englobando um período pré e outro pós-irrigação, nos dias 31 de julho de 2018 e 1º de agosto de 2018, 86 e 87 DAP. Foi realizada uma avaliação com a câmara de pressão de Scholander (modelo 3005, Soil Moisture Equipment Corp., EUA) em 3 plantas por parcela, que foram coletadas nos blocos centrais e no período da manhã. Para cada planta, a terceira folha mais jovem era utilizada na medição.

#### 2.7.2.4. Índice de Área Foliar

Para a estimativa do índice de área foliar, foi utilizado o Ceptometro (modelo ACCUPAR LP-80), um equipamento baseado na interceptação da radiação pelo dossel produzido pela empresa MeterGroup. O AccuPAR utiliza medidas de radiações e outros parâmetros para calcular o Índice de Área Foliar (IAF) em tempo real, no campo e de maneira não destrutiva.

### 2.8. Análise estatística

Para analisar os dados estatisticamente, foram utilizados métodos paramétricos e não paramétricos. Para os dados que apresentaram distribuição normal (teste de Lilliefors ao nível de 5% de probabilidade) e homogeneidade de variância (teste de Cochran ao nível de 5% de probabilidade), foi utilizada a análise de variância e as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey, adotando o nível de 5% de probabilidade. Para realização da análise, utilizou-se o software ASSISTAT. Um ponto importante que deve ser esclarecido é que as variáveis quantitativas (níveis de irrigação) foram consideradas como qualitativas, pois o interesse nesta

pesquisa não era ajustar equações, mas sim encontrar um nível específico de déficit que não diferisse estatisticamente do tratamento com irrigação plena, uma vez que esta possibilidade de análise é prevista por Bertoldo *et al.* (2007).

Como muitas variáveis resposta não obedeceram aos pressupostos da ANOVA, foi necessário conduzir um teste não paramétrico. O teste estatístico escolhido foi o Kruskal-Wallis, utilizando o software Assistat e, caso  $H_0$  fosse rejeitada, seria feita uma aplicação posterior do teste de Dunn, utilizando uma planilha construída no software Excel. Um aspecto importante desse teste é que ele não compara médias, mas sim grupos, havendo uma necessidade de mais repetições (no mínimo 6). Além disso, nele não é possível analisar experimentos multifatoriais, dessa forma, os dados foram agrupados em função de apenas um fator no momento de sua condução. O teste de Dunn é mais robusto, sendo assim, é necessário que haja uma diferença maior entre os grupos para que seja indicada diferença estatística (DUNN, 1964).

O teste de Kruskal-Wallis é um teste não paramétrico, que é usado para indicar se existe pelo menos uma diferença entre três ou mais populações. Esse teste também é conhecido como Kruskal-Wallis ANOVA, devido à semelhança com o teste F, mas não existe nenhuma restrição sobre a comparação, nesse sentido, não há a necessidade de dados com distribuição normal ou variâncias homogêneas para sua utilização. Se esse teste é significativo, rejeita  $H_0$ , e é necessário utilizar um *post-hoc* para descobrir onde está a diferença. Cabe ressaltar que o teste de comparações múltiplas de Dunn um dos mais usados em análises não paramétricas.

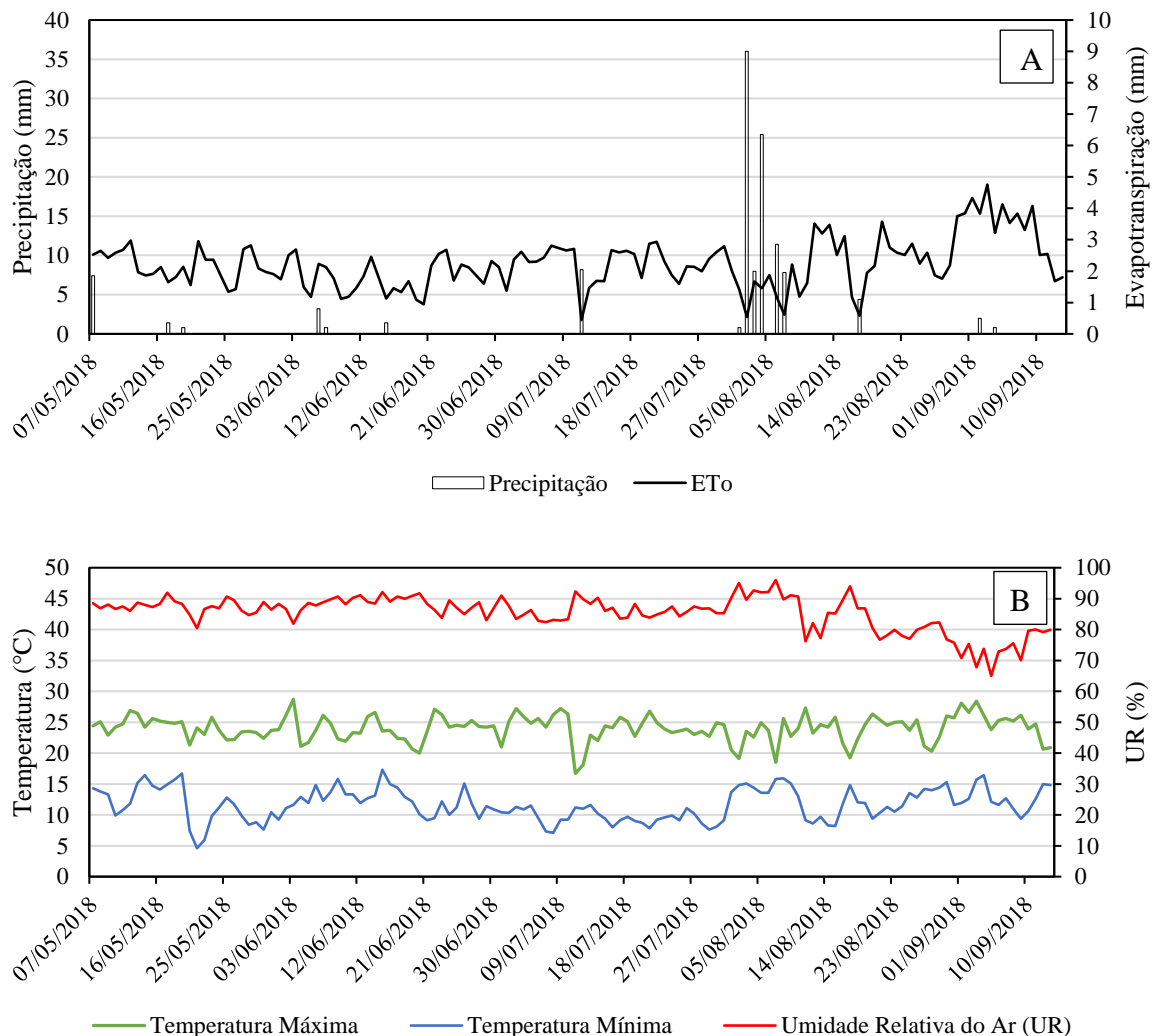
### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Dados Climáticos

Na Figura 3-A são apresentados os valores de precipitação no eixo principal e de evapotranspiração no eixo secundário, ambos em milímetros. A evapotranspiração de referência máxima foi de 4,75 mm e a mínima de 0,44 mm. Houve alguns eventos de precipitação durante o experimento, sendo que no início de agosto ocorreu um evento significativo, em que a lâmina precipitada foi de 90 mm, distribuída em 7 dias.

As temperaturas máxima e mínima (eixo principal) e a umidade relativa do ar (eixo secundário) são apresentadas na Figura 3-B.

Figura 3 – Variáveis climáticas durante o período do experimento. A: Valores de Precipitação (mm) e Evapotranspiração de Referência - ETo (mm); B: Temperaturas Máxima, Mínima e Umidade Relativa do Ar. Viçosa-MG, UFV, 2018.



Fonte: O autor.

A UR se manteve entre 80 e 90% do início até o meio do experimento, caindo para valores entre 65 e 80% no final. A temperatura mínima registrada foi de 4,6°C e ocorreu no final do mês de maio; já a temperatura máxima, 28,7°C, ocorreu no início de junho.

### 3.2. Irrigação

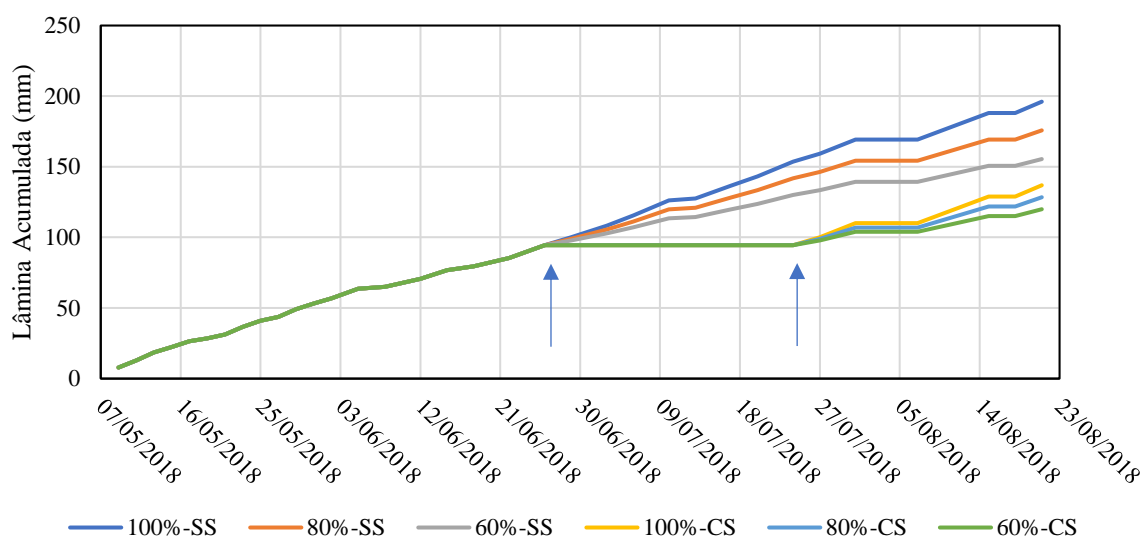
O método de manejo de irrigação não foi o mesmo para todos os tratamentos, assim sendo, houve variação da lâmina total aplicada devido ao déficit hídrico controlado de alguns tratamentos. Os valores totais de lâmina aplicada são apresentados na Tabela 6. A diferença entre os tratamentos que receberam mais água e os tratamentos que receberam menos foi de 76,2 mm.

Tabela 6 - Lâmina total de irrigação (mm) aplicada em um ciclo de cultivo de alho roxo nobre em função do manejo da irrigação/fertirrigação durante o período de estresse hídrico e níveis de irrigação, após início da diferenciação dos bulbilhos. Viçosa-MG, UFV, 2018.

Manejo da irrigação durante diferenciação dos bulbilhos	Nível de irrigação após início da diferenciação dos bulbilhos		
	100 %	80 %	60 %
Sem Irrigação	136,9	128,4	119,9
Com Irrigação	196,1	175,8	155,4
Com Fertirrigação	196,1	175,8	155,4

Na Figura 4 é apresentada a lâmina acumulada em função do método de manejo de irrigação. Nela, é possível perceber o período em que a irrigação foi completamente suspensa e a diferença na quantidade de água aplicada em cada tratamento. Outro ponto importante apresentado nessa figura é a lâmina homogênea para todos os tratamentos até a fase na qual se inicia a diferenciação dos bulbilhos. Como não houve variação da lâmina aplicada entre os tratamentos com irrigação e com fertirrigação, estes foram agrupados e identificados como SS (Sem Suspensão da Irrigação), para facilitar a representação gráfica. Os tratamentos sem irrigação foram identificados como CS (Com Suspensão da Irrigação).

Figura 4 - Lâmina de irrigação acumulada durante o ciclo de cultivo de alho roxo nobre. Viçosa-MG, UFV, 2018.



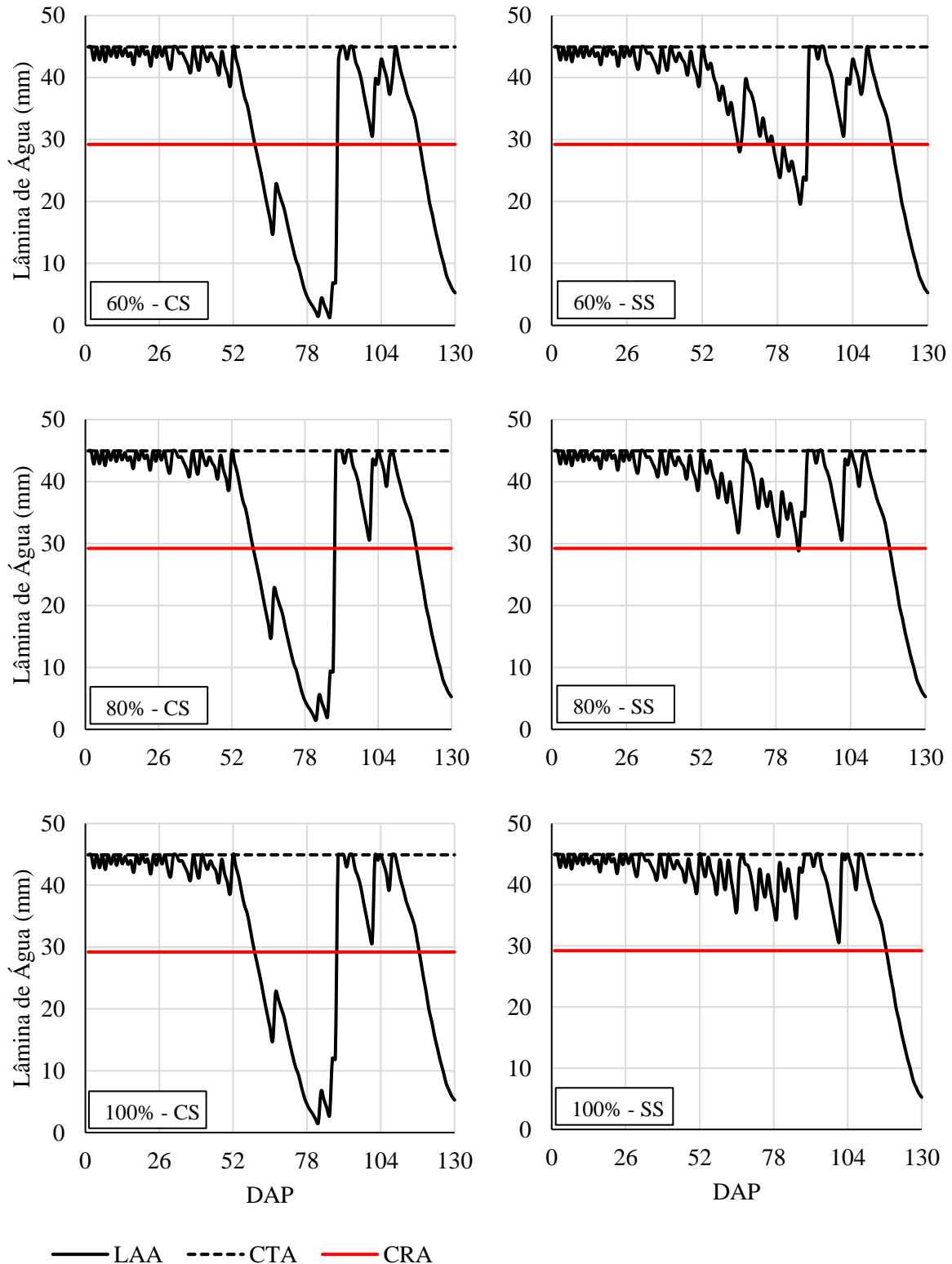
As porcentagens (60%, 80% e 100%) indicam os níveis de irrigação após a diferenciação dos bulbilhos. As siglas SS e CS agruparam os tratamentos, onde SS significa Sem Suspensão e engloba os tratamentos com irrigação e com fertirrigação e a sigla CS significa com Suspensão e engloba os tratamentos sem irrigação. As setas indicam o início e o final do período de diferenciação dos bulbilhos. Fonte: O autor.

Na Figura 5 é apresentado o balanço hídrico do solo para os tratamentos. Todos os tratamentos ficaram expostos a umidade do solo ideal, sempre acima do limite da capacidade real de água no solo, até os 51 DAP.

Entre os 52 e 81 DAP, é possível perceber como a Lâmina Atual de Água (LAA) no solo decresce nos tratamentos nos quais a aplicação de água foi completamente suspensa. Aos 79 DAP a LAA se aproxima de 0, indicando que as plantas estavam muito próximas de serem expostas a uma umidade abaixo do Ponto de Murcha Permanente.

Entre os tratamentos sem suspensão de irrigação, apenas o 60% atingiu LAA abaixo do nível da capacidade real de água no solo durante a diferenciação dos bulbilhos, ou seja, o solo estava com a umidade abaixo da umidade crítica.

Figura 5 - Balanço Hídrico do solo durante o ciclo de cultivo de alho roxo nobre. Viçosa-MG, UFV, 2018.

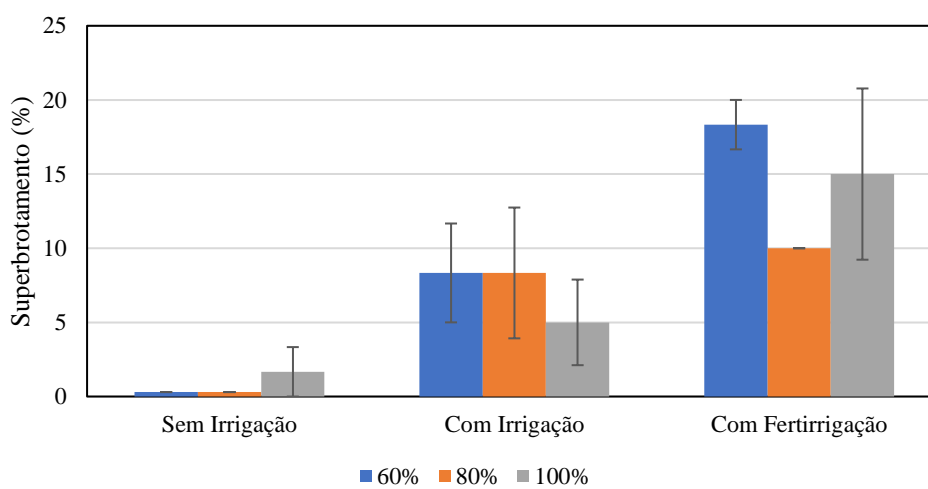


LAA: Lâmina atual de água no Solo; CTA: Capacidade total de água no Solo; CRA: Capacidade real de água no Solo. As porcentagens (60%, 80% e 100%) indicam os níveis de irrigação após início da diferenciação dos bulbilhos. As siglas SS e CS agruparam os tratamentos, onde SS significa Sem Suspensão e engloba os tratamentos com irrigação e com fertirrigação e a sigla CS significa com Suspensão e engloba os tratamentos sem irrigação. Fonte: O Autor.

### 3.3. Aspectos Fisiológicos

Na Figura 6 estão apresentados as médias e o erro padrão da média do índice de superbrotamento de cada tratamento, com grande variação nas parcelas avaliadas.

Figura 6 - Valores médios e erro padrão da média da incidência de superbrotamento (%) de alho roxo nobre em função do manejo da irrigação/fertirrigação durante o período de estresse hídrico e níveis de irrigação após início da diferenciação dos bulbilhos. Viçosa-MG, UFV, 2018

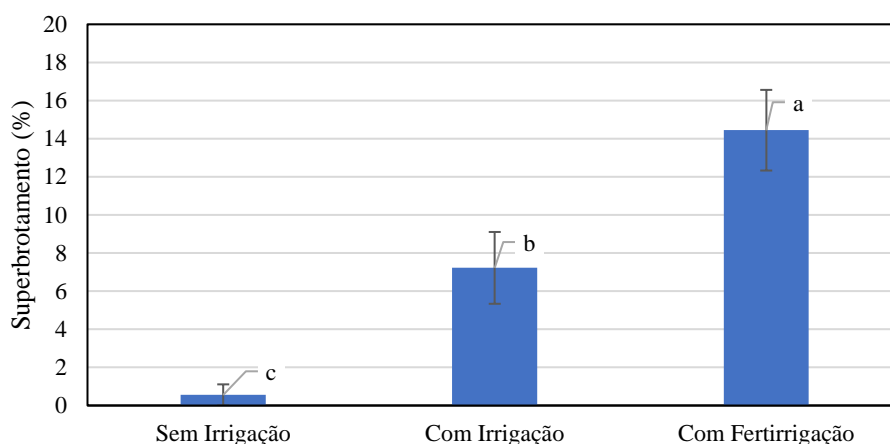


As barras de erro indicam o erro padrão da média. Fonte: O autor.

Para avaliar estatisticamente o superbrotamento foi escolhido um método não paramétrico, com os valores de superbrotamento separados em grupos. Todos os níveis do fator “nível de irrigação” foram agrupados dentro do fator “manejo de irrigação durante diferenciação dos bulbilhos” para posterior aplicação do teste de Dunn.

Na Figura 7 é apresentado o superbrotamento agrupado em função do manejo da irrigação/fertirrigação durante a diferenciação dos bulbilhos. Houve diferença estatística entre todos os níveis desse fator, no qual a utilização de fertirrigação aumentou significativamente a incidência de superbrotamento. A utilização de irrigação, sem fertirrigação, promoveu uma incidência menor de superbrotamento, mas ainda assim maior do que o superbrotamento dos tratamentos nos quais a irrigação e fertirrigação foram suspensas completamente durante a diferenciação dos bulbilhos.

Figura 7 - Valores médios e erro padrão da média da incidência de superbrotamento (%) de alho roxo nobre em função do manejo de irrigação/fertirrigação durante a fase de diferenciação dos bulbilhos. Viçosa-MG, UFV, 2018.



Grupos identificados com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Dunn ao nível de 5% de probabilidade. As barras de erro indicam o erro padrão da média. Fonte: O autor.

Macedo *et al.* (2006) avaliaram incidência de superbrotamento na cultura do alho em função da época de suspensão (50, 55, 60 e 65 DAP) e do tempo de suspensão da irrigação (8, 12, 16 e 20 dias). Os autores concluíram que um período maior de suspensão promoveu um menor índice de superbrotamento, independentemente da época de suspensão. Alguns anos depois, Marouelli *et al.* (2014) publicaram uma tabela na qual sugerem o tempo de estresse baseado nas características do cultivo. Usando essa tabela para o experimento citado anteriormente (MACEDO *et al.*, 2006), foi constatado que, para o tipo de solo, método de irrigação e clima do local, a quantidade de dias suspensos deveria ser entre 18 e 25 dias, coincidindo com o período de suspensão que promoveu o menor índice de superbrotamento. Com relação à época de suspensão, essa é uma decisão que não obedece à normativa de “Dias Após Plantio”, pois o início do estresse deve coincidir com o início da diferenciação dos bulbilhos que, por sua vez, é bastante variável. Dessa forma, é necessário acompanhar o cultivo a fim de definir o período mais adequado para o início do estresse.

No presente trabalho o período de suspensão foi de 30 dias. Sendo assim, o início do estresse foi definido a partir da amostragem de plantas da área experimental, bem como da avaliação visual para identificar a existência ou não de bulbilhos iniciando a diferenciação, como pode ser visto na Figura 8. Para visualizar melhor os bulbilhos, era utilizada uma lupa, uma vez que se tratam de estruturas muito pequenas.

Figura 8 - Detalhe do caule verdadeiro de alho roxo nobre em desenvolvimento com o início da diferenciação dos bulbilhos. Viçosa-MG, UFV, 2018.



A seta azul indica a posição dos novos bulbilhos.  
Fonte: O autor.

Com o intuito de verificar o efeito de doses de nitrogênio no superbrotamento e produtividade do alho roxo nobre, variedade Roxo Pérola de Caçador, Assis (2011) conduziu um experimento no qual testou doses de NPK 5-25-15 (1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 t ha<sup>-1</sup>). O autor supracitado concluiu que a dose ótima de NPK 5-25-15 para as condições de cultivo da região (Lavras-MG) seria de 1,513 t ha<sup>-1</sup>. Mesmo no tratamento em que utilizou a menor dose de NPK, o índice de superbrotamento foi maior que 15%. Vale ressaltar que o autor aplicou a segunda parcela da adubação aos 75 DAP e iniciou o estresse hídrico aos 65 DAP, dessa forma, a aplicação de NPK ocorreu no meio da diferenciação dos bulbilhos, o que justifica os altos níveis de superbrotamento, que chegaram a 35% no tratamento com maior dose de NPK.

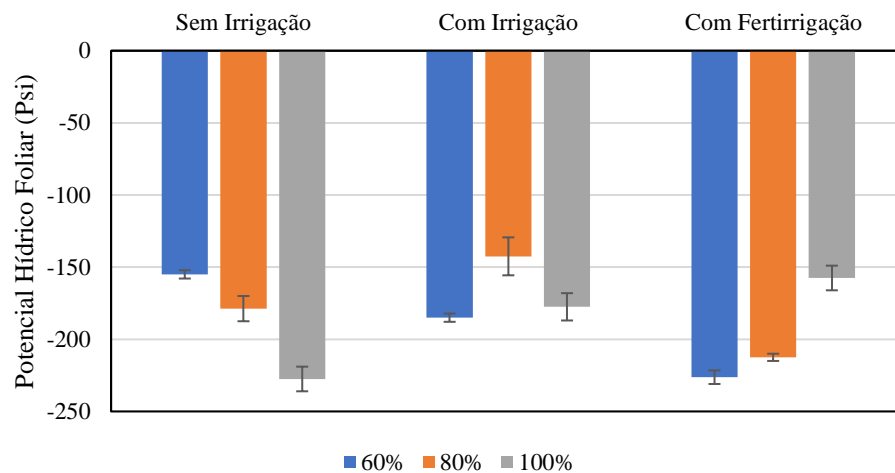
Os resultados obtidos por Assis (2010) corroboram com os resultados obtidos nesta pesquisa, pois nos tratamentos em que houve aplicação de nitrogênio durante a diferenciação dos bulbilhos, o superbrotamento médio foi de 15%.

Sedoguchi (2008) também estudou o superbrotamento em alho roxo nobre, com o objetivo de avaliar o efeito da adubação fosfatada. O autor não aplicou nitrogênio durante a diferenciação dos bulbilhos e respeitou o período de estresse hídrico. Com isso, o superbrotamento médio permaneceu em torno de 2%, o que corrobora com os resultados deste trabalho, no que tange aos tratamentos semelhantes (sem irrigação durante a diferenciação dos bulbilhos).

Nas Figuras 9 e 10 são apresentados os valores do potencial hídrico foliar, em Psi, antes e depois da irrigação. Essa mensuração foi realizada na primeira semana após o período

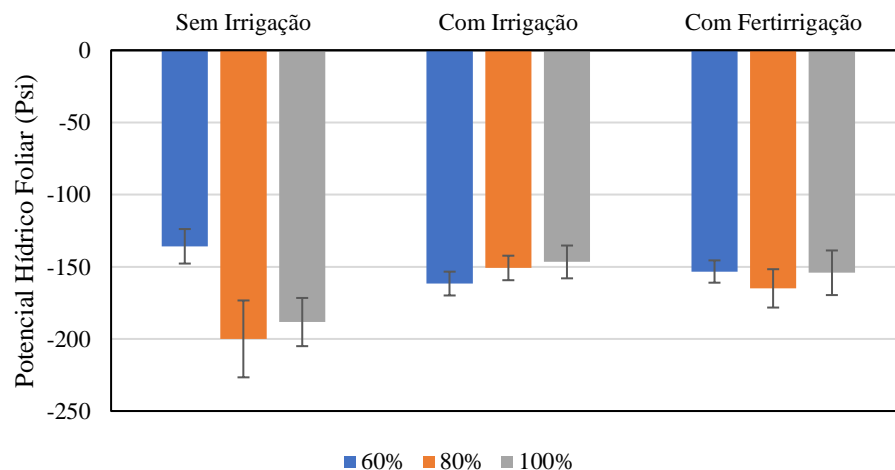
de estresse hídrico durante a diferenciação dos bulbilhos. Mesmo com a grande variabilidade é possível perceber certa diferença entre as figuras, em que o potencial hídrico é geralmente menor na avaliação feita antes da irrigação. Como os dados não obedeceram aos pressupostos da ANOVA, foi aplicado um teste não paramétrico, no qual os dados foram agrupados primeiramente apenas em função do dia de avaliação (antes e depois da irrigação) e, depois, em função do nível de irrigação, desconsiderando o manejo da irrigação/fertirrigação durante a diferenciação dos bulbilhos.

Figura 9 - Valores médios e erro padrão da média do potencial hídrico foliar (Psi) de alho roxo nobre antes da irrigação aos 86 DAP em função do manejo de irrigação/fertirrigação durante o período de estresse hídrico, após início da diferenciação dos bulbilhos. Viçosa-MG, UFV, 2018.



As barras de erro indicam o erro padrão da média. Fonte: O autor.

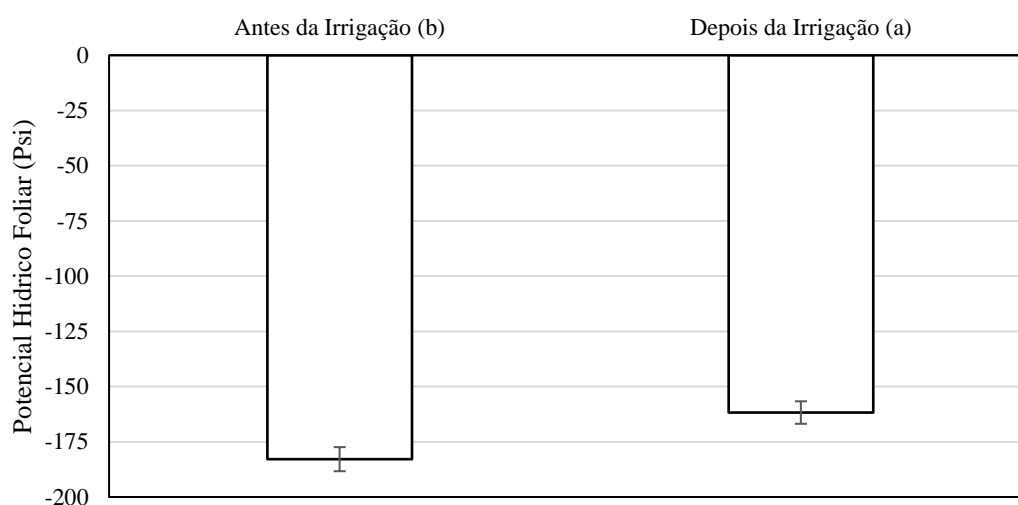
Figura 10 - Valores médios e erro padrão da média do potencial hídrico foliar (Psi) de alho roxo nobre depois da irrigação aos 87 DAP em função do manejo da irrigação/fertirrigação durante o período de estresse hídrico, após início da diferenciação dos bulbilhos. Viçosa-MG, UFV, 2018.



As barras de erro indicam o erro padrão da média. Fonte: O autor.

Na Figura 11, todas as leituras de potencial hídrico foliar foram agrupadas apenas em função do momento de condução do ensaio, “antes” e “depois” da irrigação. O teste de Kruskal-Wallis foi executado, demonstrando, como esperado, que existe diferença estatística entre os valores de potencial hídrico foliar medidos antes e depois da irrigação.

Figura 11 - Valores médios e erro padrão da média do potencial hídrico foliar (Psi) de alho roxo nobre em função do momento de medição, antes (86 DAP) e depois (87 DAP) da irrigação. Viçosa-MG, UFV, 2018



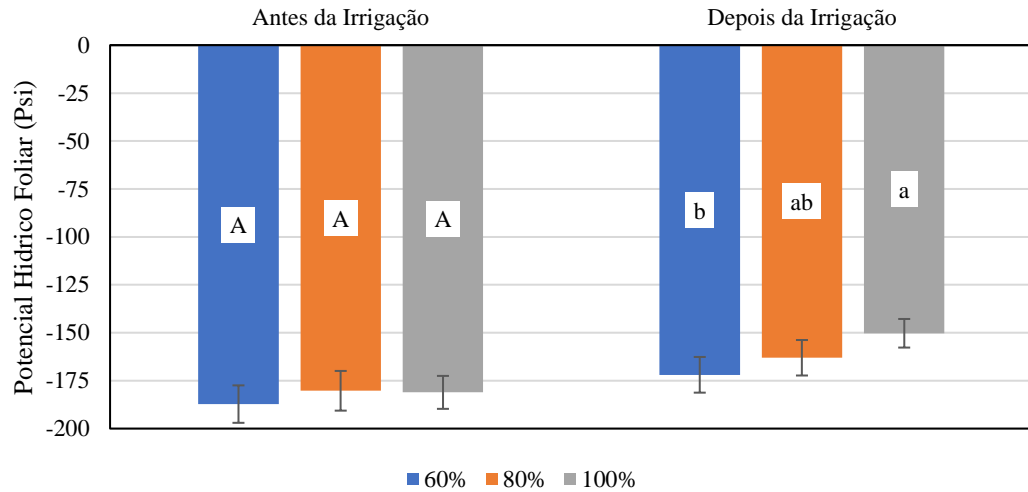
Grupos identificados com a mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo teste de Kruskal-Wallis ao nível de 5% de probabilidade. As barras de erro indicam o erro padrão da média. Fonte: O autor.

O potencial hídrico foliar está diretamente relacionado à umidade do solo. Em um solo mais seco, esse potencial é menor, o que explica a diferença estatística significativa verificada entre os momentos de medição (FIGURA 11).

Na Figura 12, os valores de potencial hídrico foliar foram agrupados em função do nível de irrigação após início da diferenciação dos bulbilhos (60%, 80%, 100%) e do momento de medição (antes e depois da irrigação). Antes da irrigação todas as plantas estavam no mesmo nível de potencial hídrico foliar, contudo, após a irrigação, os tratamentos que receberam uma lâmina de água equivalente a 100% da ETc alcançaram maiores valores de potencial hídrico quando comparados com os tratamentos que receberam 60% da ETc.

Esse menor potencial hídrico influencia a turgescência da planta e, conseqüentemente, a turgescência das células-guarda dos estômatos. Logo, as plantas que receberam menor quantidade de água possuem menor abertura estomática, o que afeta as trocas gasosas negativamente (TAIZ e ZEIGER, 2013). Isso é confirmado na avaliação feita com o Analisador de Gás por Infravermelho (IRGA).

Figura 12 - Valores médios e erro padrão da média do potencial hídrico foliar (Psi) de alho roxo nobre antes (86 DAP) e depois (87 DAP) de um evento de irrigação, em função do nível de irrigação após início da diferenciação dos bulbilhos. Viçosa-MG, UFV, 2018.



Grupos identificados com a mesma letra minúscula, comparando os dados depois da irrigação e maiúscula, comparando os dados antes da irrigação, não diferem estatisticamente pelo teste de Dunn ao nível de 5% de probabilidade. As barras de erro indicam o erro padrão da média. Fonte: O autor.

Na Tabela 7 estão apresentados os valores médios dos atributos medidos com o IRGA de cada um dos tratamentos. Nenhum parâmetro obedeceu aos pressupostos da ANOVA, sendo assim, foi utilizado um teste estatístico não-paramétrico.

Tabela 7 – Valores médios e erro padrão da média de parâmetros fisiológicos de alho roxo nobre medidos com o analisador de gás infravermelho (IRGA) aos 104 DAP, em função do manejo da irrigação/fertirrigação durante o período de estresse hídrico e níveis de irrigação, após início da diferenciação dos bulbilhos. Viçosa-MG, UFV, 2018.

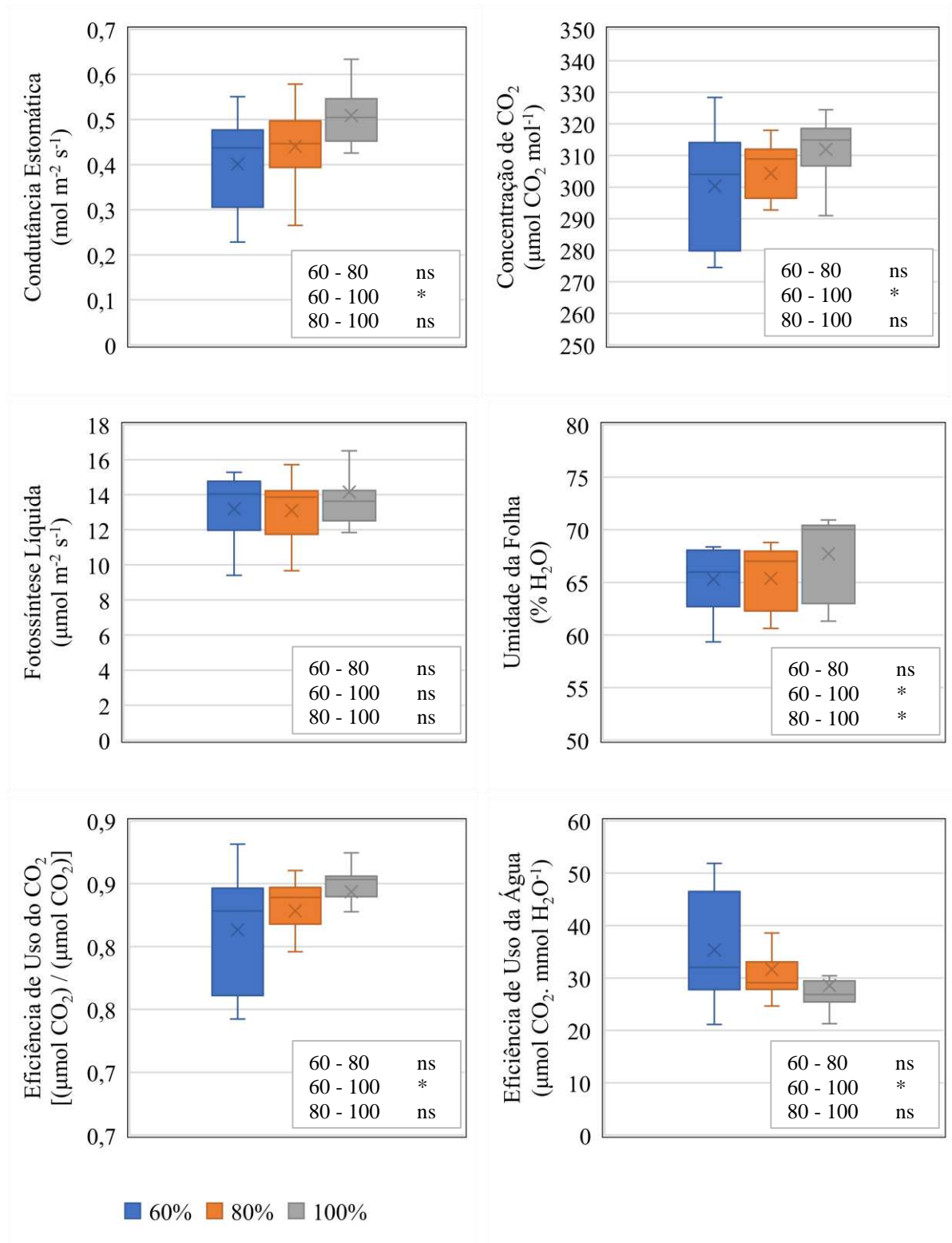
Tratamento*	Fotossíntese Líquida		Condutância Estomática		Concentração de CO <sub>2</sub>		Transpiração		Umidade relativa da folha		Eficiência de uso de CO <sub>2</sub>		Eficiência de uso da água	
	Média	Erro Pad.	Média	Erro Pad.	Média	Erro Pad.	Média	Erro Pad.	Média	Erro Pad.	Média	Erro Pad.	Média	Erro Pad.
SI-60	12,76	±1,34	0,322	±0,04	292,52	±9,71	3,20	±0,24	66,23	±0,79	0,790	±0,02	41,11	±5,31
CI-60	13,35	±1,11	0,495	±0,02	316,70	±4,43	4,18	±0,07	68,01	±0,15	0,857	±0,01	25,85	±1,81
CF-60	13,44	±0,57	0,386	±0,05	291,54	±6,45	4,23	±0,21	61,68	±0,88	0,793	±0,02	39,08	±4,38
SI-80	14,43	±0,47	0,425	±0,06	298,06	±10,95	3,96	±0,27	66,51	±0,88	0,806	±0,03	36,75	±6,51
CI-80	12,67	±1,03	0,493	±0,03	311,17	±1,52	4,05	±0,11	68,03	±0,29	0,847	±0,01	27,84	±1,21
CF-80	12,22	±1,05	0,403	±0,03	303,86	±3,59	4,82	±0,20	61,60	±0,44	0,831	±0,01	30,32	±1,21
SI-100	15,03	±2,02	0,501	±0,01	318,35	±1,07	3,86	±0,02	70,08	±0,03	0,855	±0,00	26,60	±0,17
CI-100	14,51	±0,69	0,573	±0,02	305,46	±4,01	4,25	±0,05	70,48	±0,24	0,854	±0,01	25,48	±1,88
CF-100	12,93	±0,53	0,452	±0,02	311,84	±7,32	4,94	±0,07	62,61	±0,48	0,822	±0,02	33,61	±5,24

Fotossíntese líquida (A,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), Condutância estomática (Gs,  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), Concentração de CO<sub>2</sub> (Ci,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ), Transpiração foliar (E,  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), Umidade relativa da folha (% H<sub>2</sub>O), Eficiência de uso de CO<sub>2</sub> [ $(\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}) / (\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1})$ ], Eficiência de uso da água ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$ ). Erro Pad.: Erro Padrão da Média.

\*Informações sobre os tratamentos podem ser encontradas na Tabela 3.

Como o teste de Kruskal-Wallis não pode ser utilizado em experimentos multifatoriais, os tratamentos foram agrupados em função do nível de irrigação. Nesse sentido, cinco parâmetros indicaram diferença estatística entre os grupos: Condutância Estomática, Concentração de CO<sub>2</sub>, Umidade da Folha, Eficiência de Uso do CO<sub>2</sub> e Eficiência de Uso da Água. Na Figura 13 é apresentada a análise estatística de seis parâmetros medidos com o IRGA. Os dados foram utilizados na construção de um Boxplot e os contrastes são apresentados em uma caixa em cada quadro da Figura.

Figura 13 - Boxplot de seis parâmetros fisiológicos de alho roxo nobre medidos com o *IRGA* aos 104 DAP, agrupados em função de níveis de irrigação (60%, 80% e 100%) após início da diferenciação dos bulbilhos. Viçosa-MG, UFV, 2018.



Os contrastes dos grupos (níveis de irrigação) foram submetidos ao teste de Dunn ao nível de 5% de probabilidade, sendo apresentados nas caixas de cada gráfico, onde contrastes identificados com “ns” não foram significativos e contrastes identificados com “\*” foram significativos ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: O autor.

Na Condutância Estomática, Concentração de CO<sub>2</sub>, Eficiência de Uso do CO<sub>2</sub> e Eficiência de Uso da Água, o grupo de tratamentos em que a irrigação foi feita com lâmina de água equivalente a 60% da ETc, diferiu estatisticamente do grupo em que a irrigação foi feita com 100% da ETc. Na Umidade da Folha, o grupo 60% da ETc diferiu também do grupo 80% da ETc (Figura 12). Como os tratamentos com 100% de irrigação têm maior turgescência, os estômatos ficam mais tempo abertos, aumentando a condutância estomática e resultando em perda de água por transpiração, o que pode justificar os menores valores de eficiência de uso da água.

Essa diminuição nas taxas transpiratórias ocorre principalmente devido à menor abertura estomática, que está atrelada sobretudo à turgescência foliar, e que, por sua vez, está atrelada à umidade do solo. A redução na assimilação de CO<sub>2</sub> afeta a fotossíntese devido à restrição ao fluxo de CO<sub>2</sub>, provocando efeitos negativos nos processos fotossintéticos (SASSAKI; MACHADO, 1999).

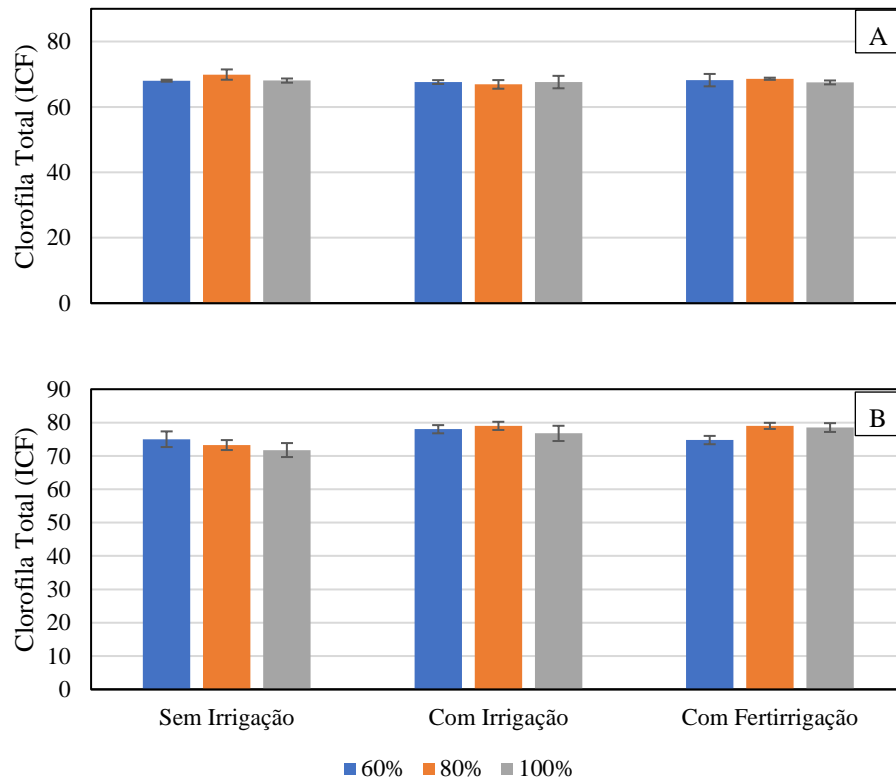
Sánchez-Virosta *et al.* (2020) utilizaram o método da irrigação com déficit hídrico controlado otimizado na condução de um experimento com alho. Os autores avaliaram a condutância estomática e constataram que o tratamento testemunha (100% da ETc reposta) obteve os maiores valores em todos os anos de avaliação e em todas as fases das culturas. Ao comparar os tratamentos que receberam algum nível de estresse hídrico, os autores também constataram que quanto maior o nível de estresse, menor era a condutância estomática. Resultados semelhantes foram encontrados nesta pesquisa, em que os tratamentos que foram irrigados com 60% da demanda evapotranspirativa obtiveram menores valores que os tratamentos que não sofreram nenhum nível de déficit hídrico após a diferenciação dos bulbilhos.

Na Figura 14 estão representadas as médias das estimativas do teor de clorofila de cada tratamento. Para tanto, foram feitas duas avaliações, a primeira aos 55 DAP, no dia que antecedeu o início da aplicação do estresse hídrico. A segunda foi feita aos 102 DAP, no final da fase vegetativa, durante o enchimento dos bulbos.

Não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos na primeira avaliação. Na segunda avaliação não houve interação entre os fatores e o nível de irrigação não promoveu diferença estatística significativa, no entanto, o manejo da fertirrigação durante a diferenciação dos bulbilhos influenciou negativamente as plantas dos tratamentos que não foram irrigadas nem fertirrigadas durante o estresse. Esses tratamentos tiveram um Índice de Clorofila Falker (ICF) menor quando comparados com os tratamentos que foram irrigados ou

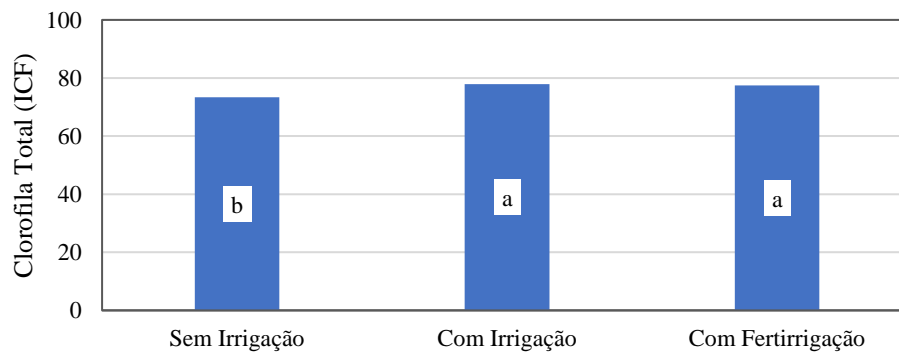
fertirrigados, sendo assim, os tratamentos sem irrigação possuíam um menor teor de clorofila quando comparados com os demais tratamentos (Figura 15).

Figura 14 - Valores médios e erro padrão da média da estimativa do teor de clorofila total (ICF) de alho roxo nobre aos 55 DAP (A) e aos 102 DAP (B) em função do manejo da irrigação/fertirrigação durante o período de estresse hídrico e níveis de irrigação, após início da diferenciação dos bulbilhos. Viçosa-MG, UFV, 2018.



As barras de erro indicam o erro padrão da média. Fonte: O autor.

Figura 15 - Valores médios e erro padrão da média da estimativa do teor de clorofila total (ICF) de alho roxo nobre aos 102 DAP em função do manejo da irrigação/fertirrigação durante o período de estresse hídrico após início da diferenciação dos bulbilhos. Viçosa-MG, UFV, 2018.



Médias identificadas com a mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: O autor.

Pincelli (2010), avaliou cultivares de cana-de-açúcar e verificou que algumas destas apresentaram redução de clorofila quando submetidas ao estresse hídrico moderado. Backes *et al.* (2008) utilizaram um medidor indireto de clorofila, SPAD502 (Konica Minolta, Japão), para avaliar o efeito de doses de N na quantidade de clorofila presente nas folhas de uma cultivar nobre de alho roxo. Os autores concluíram que o aumento de clorofila nas plantas é proporcional ao aumento da aplicação de N.

Lima (2005) também estudou o teor de clorofila em função de doses de nitrogênio. O autor afirma que a dose de 240 kg ha<sup>-1</sup> resultou nos maiores teores de clorofila, sendo que doses maiores não foram responsivas no aumento do teor de clorofila. Aos 50 DAE, o índice SPAD era 63 e, aos 100 DAE, 66, para o tratamento que recebeu a dose de nitrogênio de 240 kg ha<sup>-1</sup>. Para o tratamento que recebeu 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, os índices SPAD foram 59 e 63, aos 50 e 100 DAE, respectivamente. No presente trabalho foram aplicados 220 kg ha<sup>-1</sup> de N (próxima da dose indicada pelo autor supracitado, que promoveu a maior concentração de clorofila nas folhas) nos tratamentos sem suspensão da fertirrigação durante o período de estresse hídrico, e 160 kg ha<sup>-1</sup> nos tratamentos com suspensão da fertirrigação.

Ao comparar os trabalhos supracitados com os resultados desta pesquisa, pode-se concluir que a suspensão momentânea da aplicação de N, aliada à suspensão da irrigação, pode ter sido responsável pela diminuição da clorofila nas folhas do alho. Essa condição poderia reduzir a produtividade da cultura, alterar o ciclo de vida e retardar o desenvolvimento da planta, pois a clorofila é responsável pela captação e transferência da radiação fotossinteticamente ativa até os componentes celulares que realizam as reações da fotossíntese. Porém, vale ressaltar que a diferença entre os tratamentos não foi muito significativa, com média de 5 ICF.

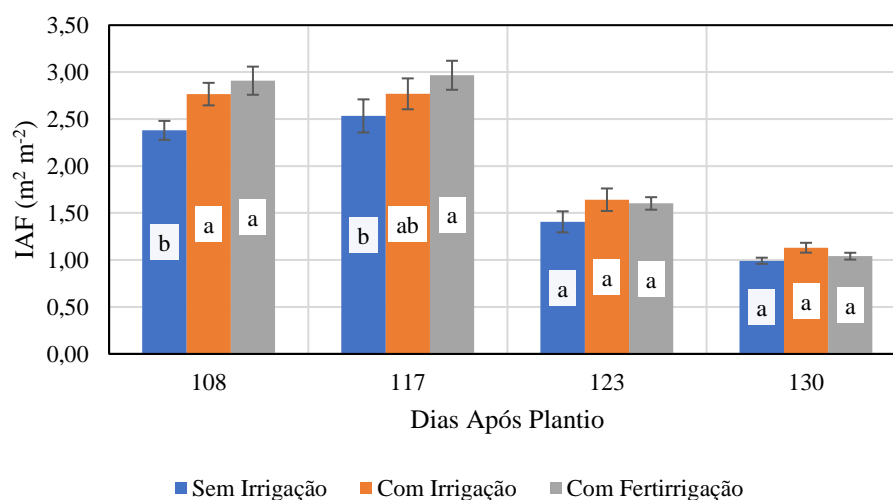
O índice de área foliar estimado não apresentou uma distribuição normal, logo, foi empregado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis e, em seguida, o teste de Dunn. Na Tabela 8 estão apresentados os valores médios de IAF medidos em 4 momentos diferentes no final do ciclo, seguidos do desvio padrão.

Os dados de IAF foram agrupados em função do manejo da irrigação/fertirrigação durante a diferenciação dos bulbilhos e, posteriormente, foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis e o teste de Dunn. Os tratamentos com irrigação e fertirrigação possuem maior IAF e são estatisticamente diferentes dos tratamentos sem irrigação na primeira avaliação, que foi feita aos 108 DAP. Nas duas últimas avaliações de IAF, feitas aos 123 e 130 DAP, o IAF de todos os tratamentos estava menor (devido à senescência das folhas que ocorre no final do ciclo) e não houve diferença estatística significativa entre os grupos (Figura 16).

Tabela 8 - Valores médios e erro padrão da média do índice de área foliar estimado ( $m^2 m^{-2}$ ) de alho roxo nobre em quatro épocas de avaliação em função do manejo da irrigação/fertirrigação durante o período de estresse hídrico e níveis de irrigação, após início da diferenciação dos bulbilhos. Viçosa-MG, UFV, 2018.

Irrigação	Manejo	Dias Após Plantio							
		108		117		123		130	
		Média	Erro Padrão	Média	Erro Padrão	Média	Erro Padrão	Média	Erro Padrão
60%	Sem Irrigação	2,84	±0,13	2,86	±0,29	1,57	±0,16	1,01	±0,07
	Com Irrigação	2,79	±0,13	2,37	±0,12	1,66	±0,19	1,12	±0,06
	Com Fertirrigação	2,64	±0,33	2,67	±0,35	1,50	±0,09	0,94	±0,04
80%	Sem Irrigação	2,29	±0,10	2,12	±0,26	1,71	±0,16	0,99	±0,04
	Com Irrigação	3,20	±0,18	3,56	±0,16	1,70	±0,20	1,27	±0,09
	Com Fertirrigação	3,32	±0,23	3,19	±0,25	1,70	±0,07	1,12	±0,06
100%	Sem Irrigação	2,01	±0,08	2,62	±0,33	0,94	±0,09	0,98	±0,06
	Com Irrigação	2,31	±0,14	2,38	±0,22	1,57	±0,26	1,00	±0,10
	Com Fertirrigação	2,77	±0,10	3,04	±0,17	1,61	±0,17	1,07	±0,07

Figura 16 - Valores médios e erro padrão da média do índice de área foliar estimado (IAF) de alho roxo nobre agrupado em função do manejo da irrigação/fertirrigação durante a diferenciação dos bulbilhos. Viçosa-MG, UFV, 2018.

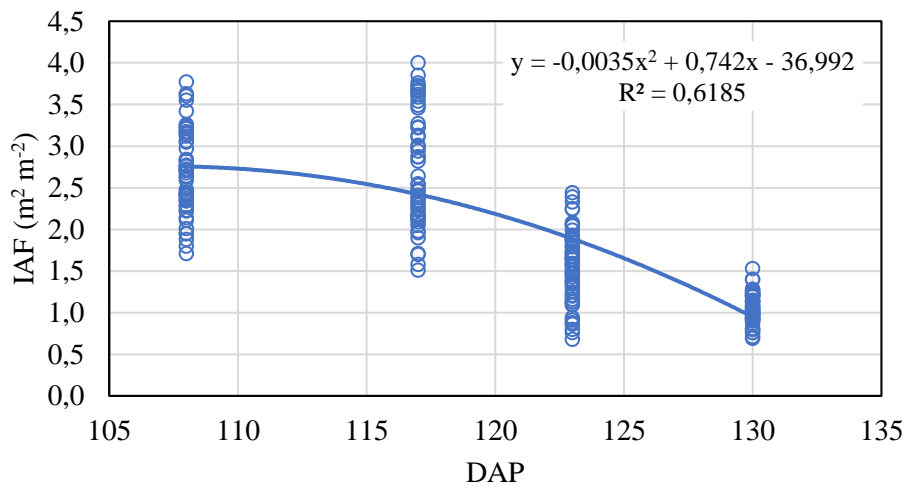


Grupos identificados com a mesma letra minúscula, na mesma época de avaliação, não diferem estatisticamente pelo teste de Dunn ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: O autor.

Sánchez-Virosta *et al.* (2020) avaliaram o IAF em alho sob diferentes níveis de estresse hídrico. Em todos os tratamentos submetidos a algum nível de estresse, o IAF diminuiu. Neste trabalho foi obtido um resultado semelhante, no qual as plantas que não foram irrigadas durante a diferenciação dos bulbilhos (30 dias) tiveram um IAF menor no final da fase de enchimento de bulbos e início do amadurecimento.

Os dados de IAF também foram agrupados em função da data de avaliação para posterior análise de regressão. Na Figura 17 é apresentada uma função quadrática que demonstra uma diminuição do IAF nas últimas semanas que antecederam à colheita.

Figura 17 - Índice de área foliar estimado (IAF) de alho roxo nobre agrupado de todos os tratamentos em função do dia após plantio (DAP). Viçosa-MG, UFV, 2018.



Fonte: O autor.

Essa diminuição no IAF no final do ciclo já era esperada, pois as folhas do alho começam a entrar em senescência à medida que o bulbo amadurece, sendo que o ponto de colheita ocorre quando a planta possui cerca de 2/3 das folhas secas ou amareladas (RESENDE *et al.*, 2015).

### 3.4. Aspectos Produtivos

Na Tabela 9 estão apresentados os valores de diâmetro médio dos bulbos para cada tratamento. O nível de irrigação não influenciou significativamente no tamanho do bulbo, mas os tratamentos Com Irrigação obtiveram bulbos maiores quando comparados com os tratamentos com Fertirrigação e Sem Irrigação.

Tabela 9 - Valores médios e erro padrão da média do diâmetro do bulbo (mm) de alho roxo nobre em função do manejo da irrigação/fertirrigação durante o período de estresse hídrico e níveis de irrigação, após início da diferenciação dos bulbilhos. Viçosa-MG, UFV, 2018.

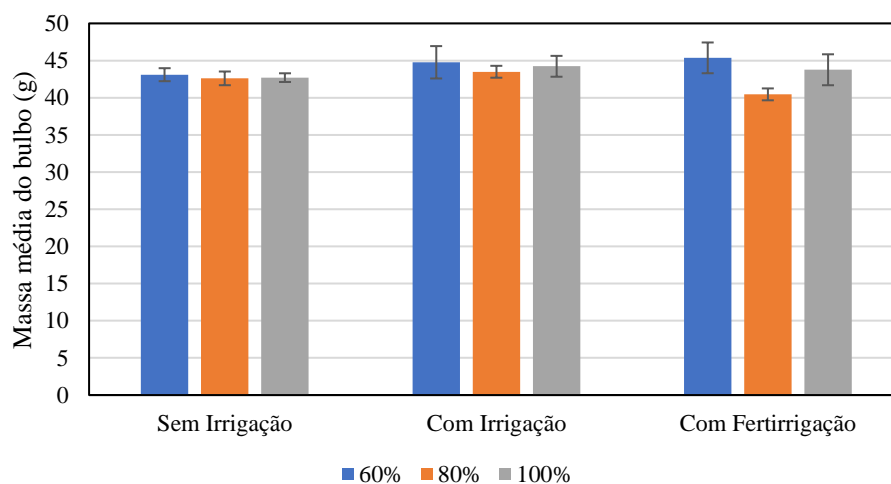
Manejo da Fertirrigação	Nível de Irrigação			Média
	60%	80%	100%	
Sem Irrigação	45,20	44,88	45,21	45,10 B
Com Irrigação	46,99	45,78	45,98	46,25 A
Com Fertirrigação	44,98	42,91	44,37	44,09 B
Média	45,72 a	44,53 a	45,18 a	-

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

A produção foi bastante homogênea e os bulbos tiveram tamanho bastante similar, uma vez que todos se enquadraram na classe 5 (42 a 47mm), de acordo com a classificação do diâmetro transversal do alho, em mm, segundo a Comissão Técnica de Normas e Padrões do Ministério da Agricultura (1992).

Na Figura 18 estão apresentados os valores médios de massa do bulbo. Não houve diferença estatística entre os tratamentos.

Figura 18 - Valores médios e erro padrão da média da massa de um bulbo (g) de alho roxo nobre em função do manejo da irrigação/fertirrigação durante o período de estresse hídrico e níveis de irrigação, após início da diferenciação dos bulbilhos. Viçosa-MG, UFV, 2018.

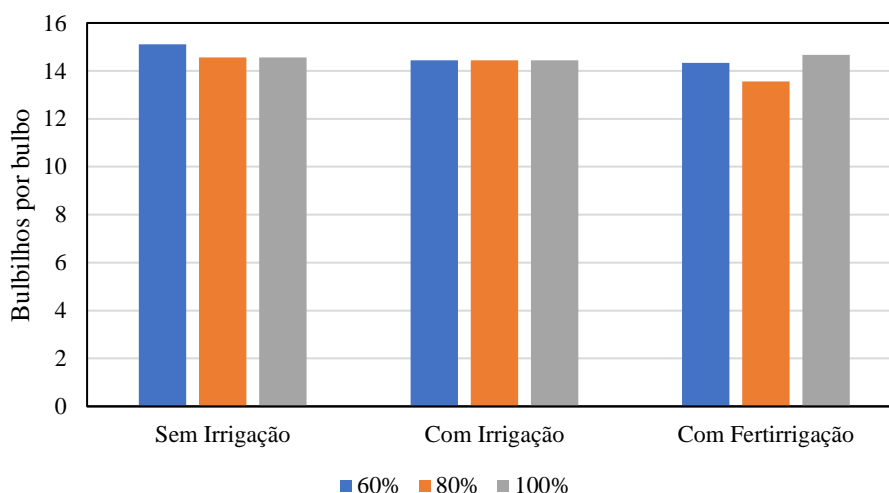


Não houve diferença estatística significativa para nenhum tratamento pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. As barras de erro indicam o erro padrão da média. Fonte: O autor.

Assim como o diâmetro, a massa do bulbo foi bastante homogênea em todo o experimento, não havendo diferença estatística entre os fatores ou tratamentos. Dessa forma, o superbrotamento foi o único responsável pelas variações da produtividade comercial entre os tratamentos.

Na Figura 19 estão apresentados os valores médios de número de bulbilhos por bulbo. A análise dos dados mostra que não houve diferença estatística entre os tratamentos. Mas é importante ressaltar que a quantidade de bulbilhos por bulbo foi maior do que a esperada, pois mesmo tendo sido utilizada uma cultivar nobre, os valores médios são maiores do que 12, que seria o máximo esperado da cultivar.

Figura 19 – Números médios de bulbilhos por bulbo de alho roxo nobre em função do manejo da irrigação/fertirrigação durante o período de estresse hídrico e níveis de irrigação, após início da diferenciação dos bulbilhos. Viçosa-MG, UFV, 2018.



Não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: O autor.

Na Tabela 10 estão apresentados os valores de massa total de plantas. O nível de irrigação não influenciou significativamente a massa total de plantas, mas os tratamentos Com Irrigação obtiveram uma massa estatisticamente maior do que os tratamentos com Fertirrigação e Sem Irrigação.

Tabela 10 - Valores médios da massa total de plantas ( $t\ ha^{-1}$ ) de alho roxo nobre em função do manejo da irrigação/fertirrigação durante o período de estresse hídrico e níveis de irrigação, após início da diferenciação dos bulbilhos. Viçosa-MG, UFV, 2018.

Manejo da Fertirrigação	Nível de Irrigação			Média
	60%	80%	100%	
Sem Irrigação	36,22	35,83	36,26	36,10 B
Com Irrigação	41,52	41,27	37,55	40,11 A
Com Fertirrigação	39,88	36,86	35,35	37,37 B
Média	39,21 a	37,99 a	36,39 a	-

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Na Tabela 11 estão apresentados os valores de produtividade potencial em  $t\ ha^{-1}$ , relacionados com a produtividade máxima que poderia ter sido obtida caso não houvesse perdas com o superbrotamento, ou com bulbos com diâmetro inferior a 25 mm. Todos os tratamentos obtiveram uma produtividade potencial média próxima de  $17\ t\ ha^{-1}$ , que não diferiram estatisticamente.

Tabela 11 - Valores médios da produtividade potencial ( $t\ ha^{-1}$ ) de alho roxo nobre em função do manejo da irrigação/fertirrigação durante o período de estresse hídrico e níveis de irrigação, após início da diferenciação dos bulbilhos. Viçosa-MG, UFV, 2018.

Manejo da Fertirrigação	Nível de Irrigação			Média
	60%	80%	100%	
Sem Irrigação	17,08	17,91	16,10	17,03
Com Irrigação	17,69	18,15	17,04	17,63
Com Fertirrigação	17,51	17,24	17,40	17,38
Média	17,43	17,76	16,85	-

Não houve diferença estatística pelo teste de F ao nível de 5% de probabilidade

Na Tabela 12 estão apresentados os valores de produtividade comercial, em que os tratamentos Com Irrigação e Sem Irrigação obtiveram produtividade estatisticamente maior do que o tratamento com Fertirrigação. Mesmo não havendo diferença estatística entre a massa média dos bulbos, a produtividade comercial leva em consideração a porcentagem de superbrotamento, uma vez que plantas superbrotadas não produzem bulbos com valor comercial. A maior produtividade foi de  $17,24\ t\ ha^{-1}$  no tratamento Sem Irrigação, com nível de irrigação após a diferenciação dos bulbilhos de 60%. Já a menor foi de  $14,20\ t\ ha^{-1}$ , encontrada no tratamento Com Fertirrigação e nível de irrigação de 80%.

Tabela 12 - Valores médios da produtividade comercial ( $t\ ha^{-1}$ ) de alho roxo nobre em função do manejo da irrigação/fertirrigação durante o período de estresse hídrico e níveis de irrigação, após início da diferenciação dos bulbilhos. Viçosa-MG, UFV, 2018.

Manejo da Fertirrigação	Nível de Irrigação			Média
	60%	80%	100%	
Sem Irrigação	17,24	17,04	16,80	17,03 A
Com Irrigação	16,42	15,95	16,81	16,39 A
Com Fertirrigação	14,82	14,20	14,88	14,63 B
Média	16,16 a	15,73 a	16,16 a	-

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

A eficiência de uso de água (EUA) foi maior nos tratamentos Sem Irrigação durante a diferenciação dos bulbilhos e com nível de irrigação de 60% após a diferenciação. Nos tratamentos Com Fertirrigação obteve-se as menores médias de EUA, pois como o superbrotamento foi maior nesses tratamentos, a produtividade comercial foi severamente afetada (Tabela 13).

Tabela 13 - Valores médios da eficiência de uso de água ( $\text{kg m}^{-3}$ ) de alho roxo nobre em função do manejo da irrigação/fertirrigação durante o período de estresse hídrico e níveis de irrigação, após início da diferenciação dos bulbilhos. Viçosa-MG, UFV, 2018.

Manejo da Fertirrigação	Nível de Irrigação			Média
	60%	80%	100%	
Sem Irrigação	14,38	13,27	12,27	13,31 A
Com Irrigação	10,56	9,07	8,57	9,40 B
Com Fertirrigação	9,53	8,08	7,59	8,40 C
Média	11,49 a	10,14 b	9,48 c	-

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Sánchez-Virosta *et al.* (2020) avaliaram a produtividade do alho submetido a quatro níveis de estresse hídrico por três anos consecutivos. Em alguns casos, os autores verificaram que o estresse hídrico de 10% (90% da demanda evapotranspirométrica repostada) não afetou a produtividade, mas um estresse de 30% sempre a diminuiu. É necessário ressaltar que os autores aplicaram o estresse em todas as fases da cultura, uma vez que o objetivo era testar um método de manejo com estresse hídrico regulado otimizado (*Optimized Regulated Deficit Irrigation*).

Ayers (2008) testou três métodos de irrigação (sulcos, gotejamento e gotejamento subsuperficial) e quatro níveis de irrigação (50%, 75%, 100% e 125% da ETc repostada) na produção de alho. O autor não encontrou diferença estatística entre os métodos de irrigação por sulco e gotejamento, mas os níveis de irrigação menores que 100% afetaram negativamente a produtividade, que foi de  $19,78 \text{ t ha}^{-1}$  no tratamento sem estresse hídrico;  $16,70 \text{ ton ha}^{-1}$  no tratamento com estresse de 25% (75% de irrigação); e  $13,15 \text{ t ha}^{-1}$  para o tratamento com estresse de 50% (50% de irrigação). Mais uma vez, a imposição de qualquer nível de estresse hídrico afetou negativamente a produtividade, mas esse autor também impôs o estresse durante todo o ciclo, diferentemente da metodologia usada no presente trabalho.

Fica claro que a cultura do alho é sensível ao estresse hídrico, se este é aplicado durante todo o ciclo, mas os resultados desta pesquisa indicam que o estresse hídrico moderado aplicado após o início da diferenciação dos bulbilhos não reduz a produtividade.

A melhor alternativa no manejo de irrigação do alho é obedecer a proposta feita por Marouelli *et al.* (2014), que consiste em suspender completamente a irrigação durante 30 dias após o início da diferenciação dos bulbilhos. Os resultados desta pesquisa mostraram que também é importante não aplicar nitrogênio na referida fase.

O manejo da irrigação/fertirrigação durante a fase de diferenciação dos bulbilhos é um dos pontos chave que influenciam o superbrotamento. É seguro afirmar que esse é causado principalmente pela aplicação de água ou nitrogênio no início da diferenciação dos bulbilhos. Após o período crítico, a aplicação de água ou nitrogênio não induz o superbrotamento.

#### 4. Conclusões

A utilização do método de manejo de irrigação com déficit hídrico controlado (RDI) no cultivo do alho foi efetiva, mesmo que tenha influenciado no comportamento fisiológico da planta, pois o nível mais alto de estresse (40%) não diminuiu a produtividade comercial de forma significativa.

A utilização de RDI, junto ao manejo adequado de irrigação/fertirrigação durante a diferenciação dos bulbilhos, diminuiu a demanda de água, impactando diretamente na eficiência de uso da água, sem afetar a produtividade.

A utilização de fertirrigação nitrogenada e/ou de irrigação durante a diferenciação dos bulbilhos aumentou significativamente o superbrotamento, dessa forma, é aconselhável suspender completamente a aplicação de água e de nitrogênio durante essa fase.

## **CAPÍTULO III – INFLUÊNCIA DA COBERTURA DO SOLO E DE TÉCNICAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO NA PRODUTIVIDADE E NO SUPERBROTAMENTO DE ALHO ROXO NOBRE**

### **1. Introdução**

O correto manejo da irrigação pode ser definido como um conjunto de técnicas e análises para definição da correta lâmina de irrigação que deve ser aplicada em um cultivo agrícola, atentando para que este não sofra com estresse hídrico e, ao mesmo tempo, não haja desperdício de água (BERNARDO *et al.*, 2019).

Para a condução de um manejo de irrigação existem diversas técnicas, algumas baseadas em informações do clima, outras do solo, da planta ou até mesmo da combinação de todas elas. A condução de um correto manejo de irrigação é um fator primordial no aumento da eficiência de uso da água (PIRES *et al.*, 2001).

O método de manejo de irrigação Via Clima, pela estimativa da evapotranspiração de referência, é o mais aceito e utilizado atualmente no Brasil. Com os dados fornecidos por uma estação meteorológica é possível calcular a Evapotranspiração de Referência (ET<sub>o</sub>) pela equação de Penman-Montieth, e posterior cálculo da Evapotranspiração da Cultura utilizando o coeficiente de cultura - K<sub>c</sub> (FAO, 1998). Esse é um método relativamente simples, haja vista que não há a necessidade de se deslocar na lavoura para a coleta de informações, mas a sua eficiência está atrelada à utilização de um coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>) representativo para a região.

Nos métodos Via Solo é necessário estimar a umidade do solo e definir qual é a quantidade de água que deve ser aplicada para que este atinja a umidade de capacidade de campo (BERNARDO *et al.*, 2019). No método Via Solo não é necessário o uso de K<sub>c</sub>, mas é fundamental o deslocamento na lavoura para coleta de dados, ou a utilização de várias sondas fixas medidoras de umidade do solo, que possuam um sistema para comunicação a um servidor central — o que pode encarecer o projeto.

Um terceiro método de manejo de irrigação que pode ser citado é a utilização do Irrigâmetro, equipamento desenvolvido por pesquisadores da Universidade Federal de Viçosa. A grande vantagem desse equipamento está relacionada com a facilidade de uso, uma vez que o operador não precisa de conhecimentos técnicos profundos, sendo necessário apenas saber a ordem de fechamento e abertura das válvulas para a sua utilização (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

Além da condução de um correto manejo de irrigação, outra forma de aumentar a eficiência de uso de água é com o uso de cobertura do solo. Um solo coberto é menos suscetível

à radiação solar direta, o que diminui a perda de água por evaporação direta da superfície do solo (ALLEN *et al.*, 2007). O uso de cobertura no solo também provoca uma diminuição da incidência de plantas invasoras (SANCHEZ *et al.*, 2008).

Existem diversos tipos de materiais que podem ser utilizados na cobertura do solo, os mais comuns são: cobertura morta, papel e plástico.

A cobertura plástica é bastante comum na produção vegetal moderna (LAMONT, 2005), no entanto, após o seu uso é gerado um resíduo de difícil reciclagem, devido à alta quantidade de solo e matéria orgânica que aderem na sua superfície (HEMPHIL, 1993). Existem algumas alternativas ao uso de plástico, como a utilização de coberturas de papel ou cobertura morta. A cobertura morta muitas vezes não está disponível e a sua aplicação é um pouco mais laboriosa quando comparada com os outros tipos (FONTANÉTTI *et al.*, 2004). A cobertura de papel pode ser uma alternativa eficaz, pois a aplicação é semelhante a do plástico e, por ser biodegradável, não há a geração de resíduo não reciclável no final do ciclo, pois este é incorporado ao solo (COOLONG, 2010).

Na cultura do alho a utilização de cobertura do solo em plantios comerciais não é comum, mas alguns estudos indicam que a utilização dessa técnica pode ser vantajosa, melhorando os aspectos produtivos da planta (CARMO, 1984; CORREA *et al.*, 2003; SILVA *et al.*, 2007).

Dentro desse contexto, o objetivo neste trabalho foi avaliar o efeito da utilização de três métodos de manejo de irrigação e quatro tipos de cobertura do solo no cultivo do alho roxo nobre.

## 2. Material e Métodos

Este experimento foi conduzido no mesmo local e nas mesmas condições do experimento descrito no segundo capítulo desta tese, sendo a condução do cultivo e os tratamentos culturais iguais, assim como espaçamento e tamanho de parcela, sistema de irrigação, cronograma de aplicação de adubos e defensivos. Informações mais detalhadas podem ser obtidas na descrição do material e métodos do capítulo supracitado.

### 2.1. Delineamento Experimental

O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado, seguindo um esquema de parcela subdividida, com três repetições. Foram estudados dois fatores: três tipos de manejo de irrigação (Via Clima, Via Solo, Via Irrigâmetro) e quatro tipos de cobertura do solo (sem cobertura, cobertura morta, papel, plástico), totalizando 12 tratamentos.

### 2.2. Manejo de Irrigação

#### 2.2.1. Manejo Via Clima

O manejo Via Clima foi conduzido utilizando uma estação meteorológica automática instalada na área experimental, a ETo foi calculada por meio da Equação de Penman-Montieth FAO 56 e a Evapotranspiração da Cultura foi calculada utilizando valores de Coeficiente de Cultura. Todos os tratamentos foram irrigados com base no manejo de irrigação Via Clima até 51 DAP. Dos 52 até 81 DAP a irrigação foi completamente suspensa, sendo este estresse hídrico proposto por Marouelli *et al.* (2014) de forma a diminuir a incidência de superbrotamento. Dos 82 até 107 DAP houve a aplicação dos métodos de manejo de irrigação.

#### 2.2.2. Irrigâmetro

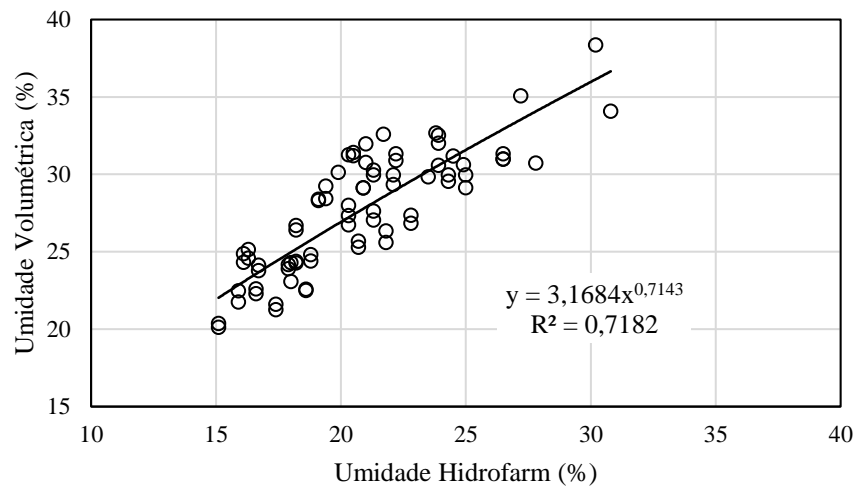
O manejo Via Irrigâmetro foi conduzido utilizando um equipamento instalado em um canteiro sem plantas, localizado dentro da área experimental e manipulado de acordo com as instruções do fabricante.

### 2.2.3. Via Solo

O manejo Via Solo foi conduzido utilizando um sensor de umidade do solo, HidroFarm, fabricado pela empresa Falker. Antes de cada evento de irrigação a umidade do solo era medida, e então eram feitos os cálculos da lâmina a ser aplicada

Para a utilização do HidroFarm foi necessário obter previamente a curva de calibração que correlacionasse a umidade fornecida pelo sensor com a umidade volumétrica (FIGURA 20). O fabricante afirma que a umidade gerada pelo HidroFarm corresponde à umidade gravimétrica com um erro de mais ou menos 3%, e que caso sejam necessários dados mais precisos, é preciso construir uma curva de calibração para a área onde o aparelho será utilizado.

Figura 20 - Curva de calibração para um latossolo vermelho e amarelo para correção das leituras de umidade coletadas a partir da utilização da sonda HidroFarm. Viçosa-MG, UFV, 2018.



Fonte: O autor.

Na operação do sensor de umidade do solo, foi utilizado um objeto perfurante (facão), a fim de criar uma abertura no solo para a instalação da haste do HidroFarm, de acordo com recomendação do fabricante.

### 2.3. Cobertura do Solo

Nos tratamentos com cobertura do solo, esta foi posicionada após a emergência das plantas. As coberturas de plástico (mulching dupla face, branco e preto) e de papel (kraft) foram cortadas em tiras e posicionadas nos canteiros. A cobertura morta utilizada foi obtida no setor

de paisagismo da Universidade Federal de Viçosa, onde o material que havia sido roçado de uma área experimental foi distribuído nos canteiros.

#### 2.4. Avaliações

Foram feitas avaliações agronômicas e fisiológicas, seguindo os métodos descritos no segundo capítulo desta tese. As avaliações agronômicas foram: produtividade comercial (bulbos perfeitos e maiores que 25 mm de diâmetro), peso médio de bulbos, número de bulbilhos/bulbo, porcentagem de bulbos superbrotados e diâmetro dos bulbos. As avaliações fisiológicas foram: Índice de Área Foliar, Fotossíntese e transpiração (IRGA), Potencial Hídrico Foliar (avaliação feita aos 109 DAP) e clorofila (avaliação feita aos 73 DAP).

#### 2.5. Análise Estatística

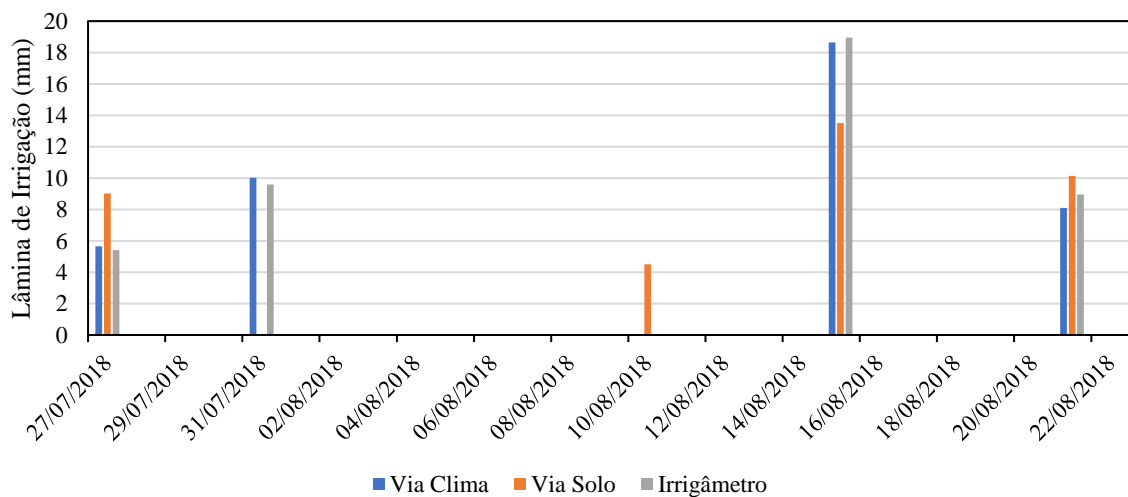
Para analisar os dados estatisticamente, foram utilizados métodos paramétricos e não paramétricos. Para os dados que apresentaram distribuição normal (teste de Lilliefors ao nível de 5% de probabilidade) e homogeneidade de variância (teste de Cochran ao nível de 5% de probabilidade), foi utilizada a análise de variância e as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey, adotando o nível de 5% de probabilidade. Para realização da análise, foi utilizado o software Assistat.

Como muitas variáveis resposta não obedeceram aos pressupostos da ANOVA, foi necessário conduzir um teste não-paramétrico. O teste estatístico escolhido foi o Kruskal-Wallis, de acordo com a característica dos dados, com aplicação posterior do teste de Dunn, quando havia diferença significativa em algum grupo. Um aspecto importante deste teste é que ele não compara médias, mas sim grupos, havendo uma necessidade de mais repetições. Além disso, não é possível analisar experimentos multifatoriais por meio dele, dessa forma, os dados foram agrupados em função de apenas um fator. O teste de Dunn é mais robusto, nesse sentido, é necessário que haja uma diferença maior entre os grupos para que este indique diferença estatística (DUNN, 1964).

### 3. Resultados e Discussão

Na Figura 21 é apresentada a lâmina de irrigação aplicada em cada um dos eventos de irrigação após o estresse hídrico. Foram, no total, cinco eventos de irrigação nesse período. Em geral, as lâminas de irrigação foram semelhantes entre os diversos manejos avaliados. Contudo, vale ressaltar que houve variação nas lâminas calculadas por cada método de manejo. No primeiro evento de irrigação, a lâmina aplicada nos tratamentos com manejo via solo foi cerca de 3 mm maior do que nos outros dois tipos. No segundo evento não houve aplicação de água nos tratamentos com manejo Via Solo, ou seja, apenas os tratamentos via clima e Via Irrigâmetro foram irrigados. Por fim, no terceiro evento apenas os tratamentos Via Solo foram irrigados.

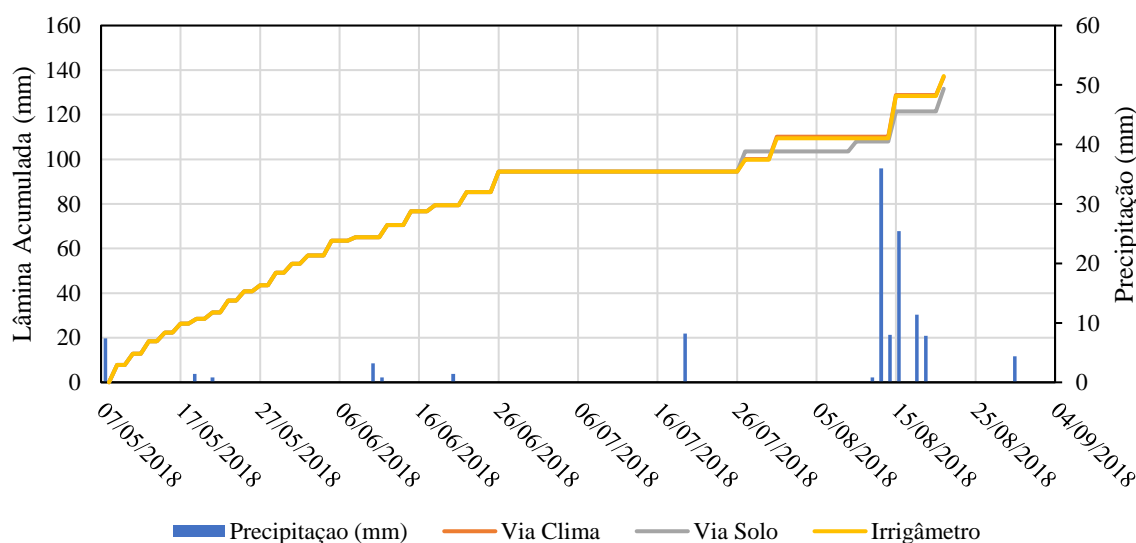
Figura 21 - Lâmina de irrigação aplicada em cada tratamento após o período de estresse hídrico. Viçosa-MG, UFV, 2018.



Fonte: O autor.

Houve alguns pequenos eventos de precipitação durante o início do experimento, como pode ser visto na Figura 22, enquanto na primeira quinzena de agosto ocorreram vários eventos significativos. A partir do dia 27 de julho é possível verificar o início da variação da lâmina aplicada em função dos métodos de manejo de irrigação, com pequena variação na lâmina final (Figura 22).

Figura 22 - Lâmina Acumulada (mm) e Precipitação (mm) durante o período do experimento. Viçosa-MG, UFV, 2018.



Fonte: O autor.

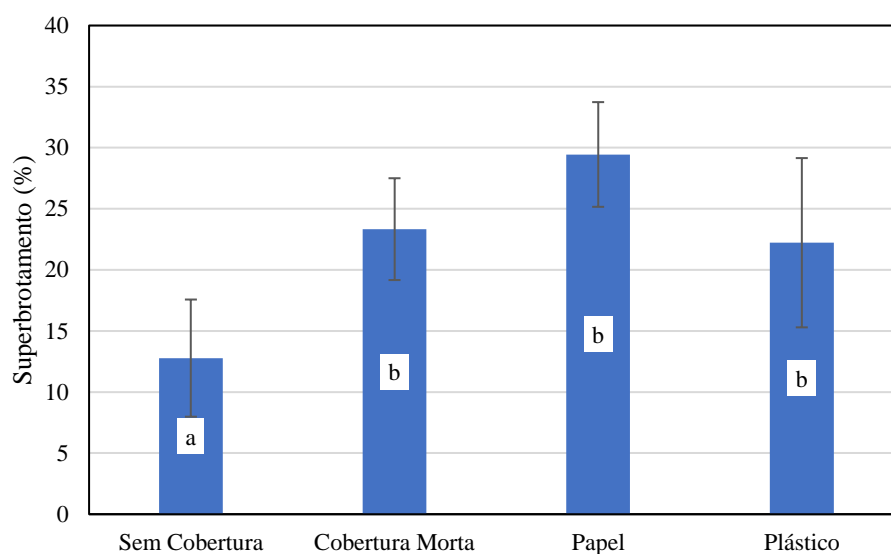
O superbrotamento ocorreu mais intensamente nos tratamentos com algum tipo de cobertura do solo e nos tratamentos com manejo de irrigação Via Solo (Tabela 14).

Tabela 14 – Valores médios e erro padrão da média da incidência de superbrotamento (%) de alho roxo nobre em função da cobertura do solo e do tipo de manejo de irrigação conduzido dos 82 DAP aos 107 DAP. Viçosa-MG, UFV, 2018.

Cobertura	Manejo de Irrigação					
	Via Clima		Via Solo		Irrigâmetro	
	Média	Erro Padrão	Média	Erro Padrão	Média	Erro Padrão
Sem Cobertura	3,3	±1,7	31,7	±1,7	3,3	±1,7
Cobertura Morta	20,0	±5,0	33,3	±6,0	16,7	±8,3
Papel	36,7	±6,0	28,3	±11,7	23,3	±1,7
Plástico	13,3	±6,0	41,7	±14,8	11,7	±6,0

Na Figura 23 estão apresentados os dados de superbrotamento agrupados em função da cobertura do solo. O teste de Dunn indica que não houve diferença entre os tratamentos cobertos, mas a testemunha, sem cobertura, diferiu de todos os demais. Isso mostra que a utilização de cobertura do solo afeta negativamente a cultura do alho, uma vez que a maior incidência de superbrotamento diminui a produtividade comercial.

Figura 23 - Valores médios e erro padrão da média da incidência de superbrotamento (%) de alho roxo nobre em função da cobertura do solo. Viçosa-MG, UFV, 2018.



Grupos identificados com a mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo teste de Dunn ao nível de 5% de probabilidade. As barras de erro indicam o erro padrão da média. Fonte: O autor.

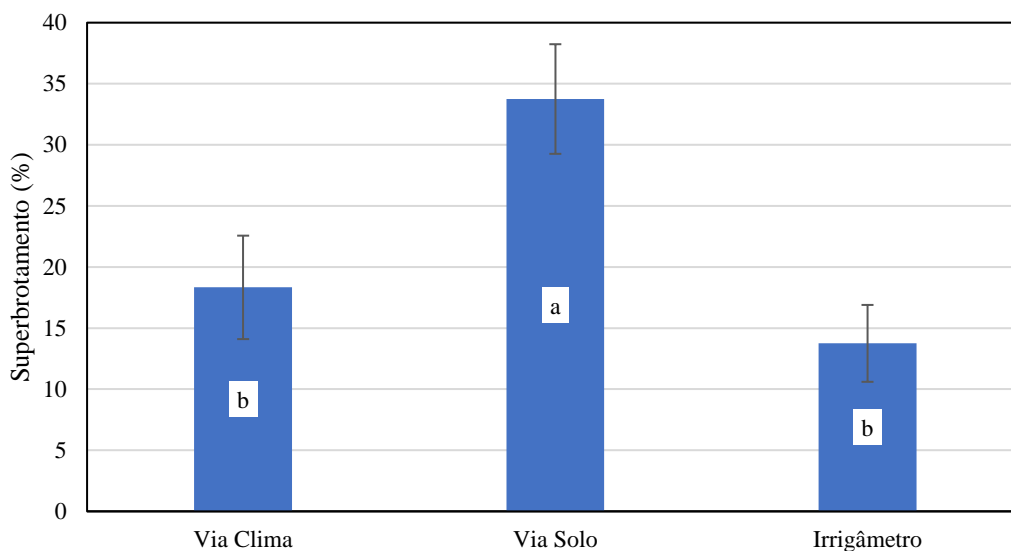
Segundo a proposta de Marouelli e Lucini (2014), para as condições de cultivo deste experimento, o período de estresse hídrico ideal para prevenir o superbrotamento deveria ser de 30 dias. Tal período foi respeitado, mas houve um evento de precipitação durante esse intervalo, o que diminuiu o nível de estresse esperado. Era esperado que os tratamentos com cobertura plástica e papel tivessem menor infiltração de água no solo, mas devido à forma com que foram instaladas (tiras), houve um favorecimento do carreamento da água precipitada diretamente para as plantas. Além disso, a utilização de cobertura no solo conserva a sua umidade, sendo assim, o estresse hídrico dos tratamentos com cobertura deveria ter sido maior para compensar essa manutenção nos níveis de umidade do solo. É possível que isso tenha contribuído para os altos níveis de superbrotamento verificados nos tratamentos com cobertura do solo.

Outro aspecto importante que merece ser destacado é o fato de a cobertura, por manter maior umidade, normalmente causar uma diminuição da temperatura do solo, o que também contribui para o superbrotamento.

Nunes (1986) testou diferentes tipos de cobertura e frequência de irrigação na cultura do alho. A autora constatou que a qualidade do alho e a produtividade dos tratamentos com cobertura plástica foi maior do que os tratamentos sem cobertura, mas o superbrotamento nos tratamentos com cobertura plástica (23 a 26%) foi sempre superior do que nos tratamentos sem cobertura (11 a 16%), corroborando com os resultados deste trabalho.

Os dados de superbrotamento também foram agrupados em função do método de manejo de irrigação. Os métodos Via Clima e Via Irrigâmetro não diferiram entre si, mas ambos diferiram estatisticamente do método Via Solo, como pode ser visto na Figura 24.

Figura 24 - Valores médios e erro padrão da média da incidência de superbrotamento (%) de alho roxo nobre em função do tipo de manejo de irrigação conduzido dos 82 DAP aos 107 DAP. Viçosa-MG, UFV, 2018.



Grupos identificados com a mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo teste de Dunn ao nível de 5% de probabilidade. As barras de erro indicam o erro padrão da média. Fonte: O autor.

O tipo de cobertura do solo não afetou a massa total de plantas, mas o manejo Via Solo obteve o maior valor,  $38,3 \text{ t ha}^{-1}$ , diferindo estatisticamente do manejo Via Irrigâmetro,  $34,8 \text{ t ha}^{-1}$  (Tabela 15).

Tabela 15 - Valores médios da massa total de plantas ( $\text{t ha}^{-1}$ ) de alho roxo nobre em função da cobertura do solo e do tipo de manejo de irrigação conduzido dos 82 DAP aos 107 DAP. Viçosa-MG, UFV, 2018.

Cobertura	Manejo de Irrigação			Média
	Via Clima	Via Solo	Irrigâmetro	
Sem Cobertura	35,6	35,5	34,3	35,1 A
Cobertura Morta	36,0	38,6	36,5	37,0 A
Papel	38,9	36,0	36,2	37,1 A
Plástico	35,9	43,0	32,3	37,1 A
Média	36,6 ab	38,3 a	34,8 b	-

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

O diâmetro médio dos bulbos foi maior nos tratamentos com cobertura morta, 46,6 mm, quando comparado aos outros tratamentos — com exceção dos tratamentos com cobertura plástica, que foi de 44,5 mm e não diferiram estatisticamente. Na comparação entre os métodos de manejo de irrigação, o diâmetro médio dos bulbos obtido no método Via Solo superou os outros dois tipos de manejo (Tabela 16).

Tabela 16 - Valores médios do diâmetro do bulbo (mm) de alho roxo nobre em função da cobertura do solo e do tipo de manejo de irrigação conduzido dos 82 DAP aos 107 DAP. Viçosa-MG, UFV, 2018.

Cobertura	Manejo de Irrigação			Média
	Via Clima	Via Solo	Irrigâmetro	
Sem Cobertura	44,1	44,6	43,6	44,1 B
Cobertura Morta	47,2	46,8	45,8	46,6 A
Papel	43,5	44,4	45,2	44,4 B
Plástico	43,8	46,8	43,0	44,5 AB
Média	44,6 b	45,6 a	44,4 b	-

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

A análise estatística do número de bulbilhos por bulbo demonstrou que não houve diferença significativa entre nenhum fator, como pode ser visto na Tabela 17. Vale ressaltar que, assim como no primeiro experimento, houve um número de bulbilhos por bulbo maior do que o esperado, haja vista que a variedade cultivada era de um tipo nobre de alho.

Tabela 17 – Números médios de bulbilhos por bulbo de alho roxo nobre em função da cobertura do solo e do tipo de manejo de irrigação conduzido dos 82 DAP aos 107 DAP. Viçosa-MG, UFV, 2018.

Cobertura	Manejo de Irrigação			Média
	Via Clima	Via Solo	Irrigâmetro	
Sem Cobertura	14,7	15,6	13,7	14,6
Cobertura Morta	15,4	13,6	13,7	14,2
Papel	14,2	14,1	14,6	14,3
Plástico	15,0	14,9	13,3	14,4
Média	14,8	14,5	13,8	-

Não houve diferença estatística significativa para o teste F ao nível de 5% de probabilidade

A produtividade potencial está relacionada com o peso médio dos bulbos e, nesse caso, o superbrotamento não é considerado nos cálculos. Assim, como pode ser visto na Tabela 18, o tipo de cobertura do solo não influenciou significativamente a produtividade potencial,

entretanto, quando comparados os manejos de irrigação, o Via Solo foi superior aos valores dos tratamentos manejados com o Irrigâmetro.

Tabela 18 - Valores médios da produtividade potencial ( $t\ ha^{-1}$ ) de alho roxo nobre em função da cobertura do solo e do tipo de manejo de irrigação conduzido dos 82 DAP aos 107 DAP. Viçosa-MG, UFV, 2018.

Cobertura	Manejo de Irrigação			Média
	Via Clima	Via Solo	Irrigâmetro	
Sem Cobertura	16,7	17,1	16,5	16,7 A
Cobertura Morta	19,1	19,0	18,2	18,8 A
Papel	17,4	17,5	17,3	17,4 A
Plástico	16,9	20,2	15,4	17,5 A
Média	17,5 ab	18,5 a	16,8 b	-

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Ao analisar a Tabela 19, percebe-se que no manejo Via Clima, apenas a produtividade comercial do tratamento com cobertura de papel ( $11\ t\ ha^{-1}$ ) foi estatisticamente menor do que os demais tipos de cobertura. No manejo Via Solo não houve nenhuma diferença entre os tipos de cobertura. Já no manejo com Irrigâmetro, o tratamento sem cobertura ( $15,9\ t\ ha^{-1}$ ) foi maior e diferiu estatisticamente dos tratamentos com cobertura de papel ( $13,3\ t\ ha^{-1}$ ) e plástica ( $13,6\ t\ ha^{-1}$ ).

Tabela 19 - Valores médios da produtividade comercial ( $t\ ha^{-1}$ ) de alho roxo nobre em função da cobertura do solo e do tipo de manejo de irrigação conduzido dos 82 DAP aos 107 DAP. Viçosa-MG, UFV, 2018.

Cobertura	Manejo de Irrigação		
	Via Clima	Via Solo	Irrigâmetro
Sem Cobertura	16,1 Aa	11,7 Ab	15,9 Aa
Cobertura Morta	15,3 Aa	12,7 Ab	15,2 ABa
Papel	11,0 Bb	12,6 Aab	13,3 Ba
Plástico	14,7 Aa	11,8 Ab	13,6 Bab

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

As plantas que receberam irrigação com base no critério solo apresentaram produtividade comercial menor do que os tratamentos baseados no clima ou no Irrigâmetro, para os tratamentos sem cobertura ou com cobertura morta (Tabela 19).

Correa *et al.* (2003) avaliaram a época de aplicação de adubo e a utilização de cobertura morta em alho. Os autores concluíram que a utilização de cobertura morta promoveu

um aumento significativo na produtividade comercial, que foi de 16,34 t ha<sup>-1</sup>, enquanto a média dos tratamentos sem cobertura foi de 12,55 t ha<sup>-1</sup>. Esse resultado corrobora em parte com os resultados deste trabalho, pois a produtividade potencial do tratamento com cobertura morta foi de 18,8 t ha<sup>-1</sup>; ao passo que no tratamento sem cobertura esse valor foi de 16,7 t ha<sup>-1</sup>. Mas a utilização de cobertura aumentou significativamente o índice de superbrotamento, o que diminui a produtividade comercial, igualando estatisticamente os dois tratamentos nesse quesito.

No manejo de irrigação baseado no Clima, a Eficiência de Uso da Água (EUA) foi equivalente para todos os tipos de cobertura, exceto para a cobertura de papel, em que a EUA foi menor (8 kg m<sup>-3</sup>). O manejo Via Solo não alterou a EUA, sendo todos os tipos de cobertura iguais estatisticamente. No manejo de irrigação baseado no Irrigâmetro, o tratamento Sem Cobertura e com Cobertura Morta apresentaram maior eficiência de uso da água do que os tratamentos com cobertura de Papel e Plástico (Tabela 20).

Tabela 20 - Valores médios da eficiência de uso da água (kg m<sup>-3</sup>) de alho roxo nobre em função da cobertura do solo e do tipo de manejo de irrigação conduzido dos 82 DAP aos 107 DAP. Viçosa-MG, UFV, 2018.

Cobertura	Manejo de Irrigação		
	Via Clima	Via Solo	Irrigâmetro
Sem Cobertura	11,8 Aa	8,9 Ab	11,6 Aa
Cobertura Morta	11,2 Aa	9,6 Ab	11,0 Aba
Papel	8,0 Bb	9,5 Aa	9,7 Ba
Plástico	10,7 Aa	8,9 Ab	9,9 Bab

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

O manejo da irrigação Via Clima superou a EUA do manejo Via Solo em todas as coberturas, exceto na cobertura de Papel. Isso ocorreu devido ao alto índice de superbrotamento nos tratamentos com cobertura de papel, que foi de 36,7%, o que impactou negativamente na produtividade comercial e, consequentemente, na Eficiência de Uso da Água.

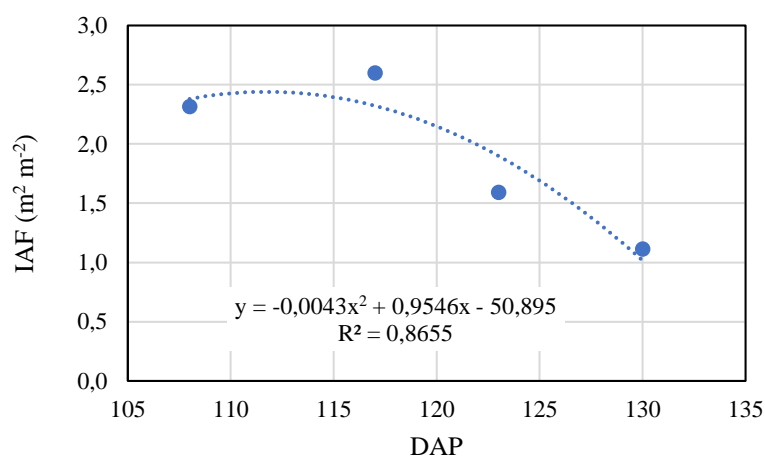
Na Tabela 21 está apresentada a estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) de cada um dos tratamentos. Foram feitas medidas em quatro momentos, no final do ciclo de cultivo. Dos 108 DAP aos 117 DAP ainda ocorre um leve aumento no IAF, mas após esse período ocorre um decréscimo geral.

Tabela 21 - Valores médios e erro padrão da média da estimativa do Índice de Área Foliar ( $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ ) de alho roxo nobre em quatro momentos diferentes (108, 117, 123 e 130 DAP), em função da cobertura do solo e do tipo de manejo de irrigação conduzido dos 82 DAP aos 107 DAP. Viçosa-MG, UFV, 2018. para cada tratamento.

Critério para o manejo da irrigação	Cobertura	Data							
		108		117		123		130	
		Média	Erro Padrão	Média	Erro Padrão	Média	Erro Padrão	Média	Erro Padrão
Clima	Sem Cobertura	2,35	$\pm 0,24$	3,33	$\pm 0,34$	1,42	$\pm 0,08$	0,99	$\pm 0,09$
	Cobertura Morta	1,90	$\pm 0,22$	2,26	$\pm 0,23$	1,23	$\pm 0,27$	0,93	$\pm 0,05$
	Papel	2,49	$\pm 0,11$	3,01	$\pm 0,22$	1,43	$\pm 0,13$	1,24	$\pm 0,03$
	Plástico	2,10	$\pm 0,19$	2,50	$\pm 0,09$	1,49	$\pm 0,14$	1,10	$\pm 0,06$
Solo	Sem Cobertura	2,45	$\pm 0,16$	2,47	$\pm 0,32$	1,55	$\pm 0,21$	1,14	$\pm 0,07$
	Cobertura Morta	2,98	$\pm 0,16$	2,19	$\pm 0,14$	1,81	$\pm 0,25$	1,32	$\pm 0,09$
	Papel	2,16	$\pm 0,22$	2,67	$\pm 0,21$	1,42	$\pm 0,08$	1,14	$\pm 0,10$
	Plástico	2,27	$\pm 0,17$	3,02	$\pm 0,29$	1,59	$\pm 0,05$	1,23	$\pm 0,06$
Irrigâmetro	Sem Cobertura	2,78	$\pm 0,18$	2,30	$\pm 0,37$	1,88	$\pm 0,24$	0,92	$\pm 0,09$
	Cobertura Morta	1,80	$\pm 0,20$	2,96	$\pm 0,18$	1,67	$\pm 0,26$	1,09	$\pm 0,08$
	Papel	2,24	$\pm 0,15$	2,18	$\pm 0,34$	2,06	$\pm 0,16$	1,13	$\pm 0,08$
	Plástico	2,26	$\pm 0,19$	2,31	$\pm 0,29$	1,55	$\pm 0,20$	1,14	$\pm 0,08$

De forma geral, o IAF começou a decrescer após a avaliação feita aos 117 DAP, indicando a senescência da planta e, portanto, o final do ciclo de cultivo (FIGURA 25).

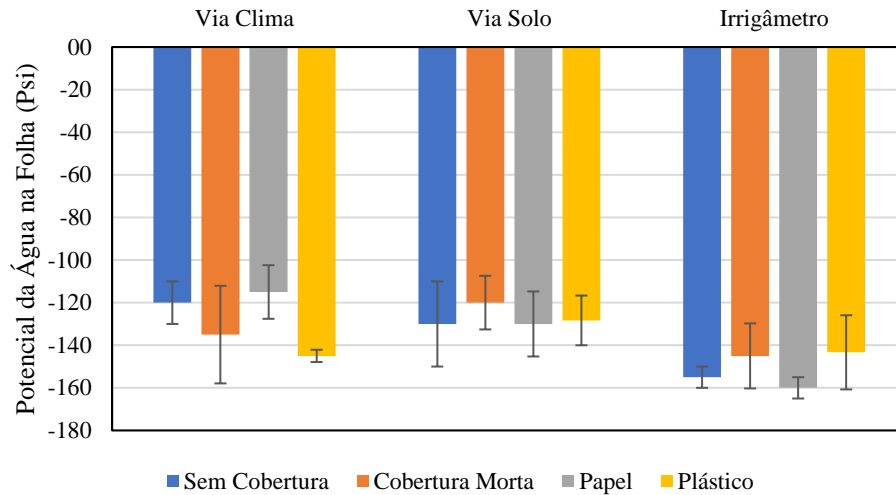
Figura 25 - Índice de Área Foliar estimado (IAF) médio de alho roxo nobre dos 82 aos 107 DAP. Viçosa-MG, UFV, 2018.



Fonte: O autor.

A variabilidade do Potencial Hídrico Foliar foi bastante alta, mas é possível perceber, na Figura 26, uma tendência dos tratamentos com manejo por meio do Irrigâmetro terem valores mais negativos de potencial.

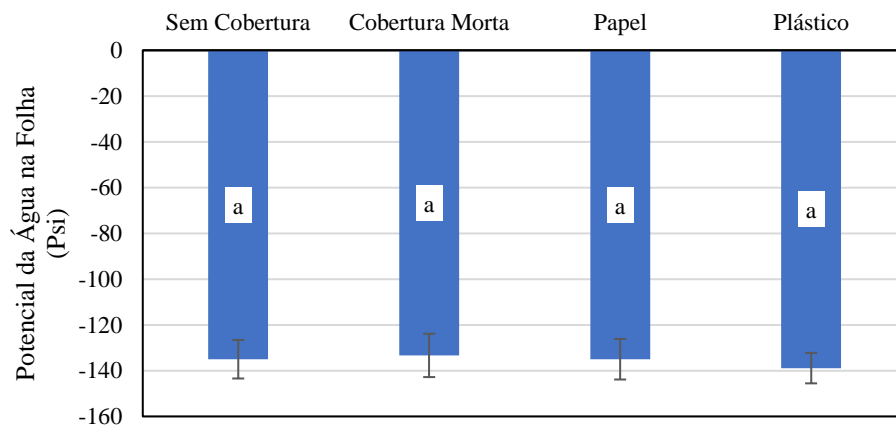
Figura 26 - Valores médios e erro padrão da média do potencial hídrico foliar (Psi) de alho roxo nobre medido aos 109 DAP em função da cobertura do solo e do tipo de manejo de irrigação conduzido dos 82 DAP aos 107 DAP. Viçosa-MG, UFV, 2018.



As barras de erro indicam o erro padrão da média. Fonte: O autor.

Quando o Potencial Hídrico Foliar foi agrupado em função do tipo de cobertura do solo, a análise estatística indicou que não existe diferença significativa entre os grupos, uma vez que a média de potencial de todos os tratamentos ficou próxima de -140 Psi (Figura 27).

Figura 27 - Valores médios e erro padrão da média do potencial hídrico foliar (Psi) de alho roxo nobre medido aos 109 DAP em função da cobertura do solo. Viçosa-MG, UFV, 2018.

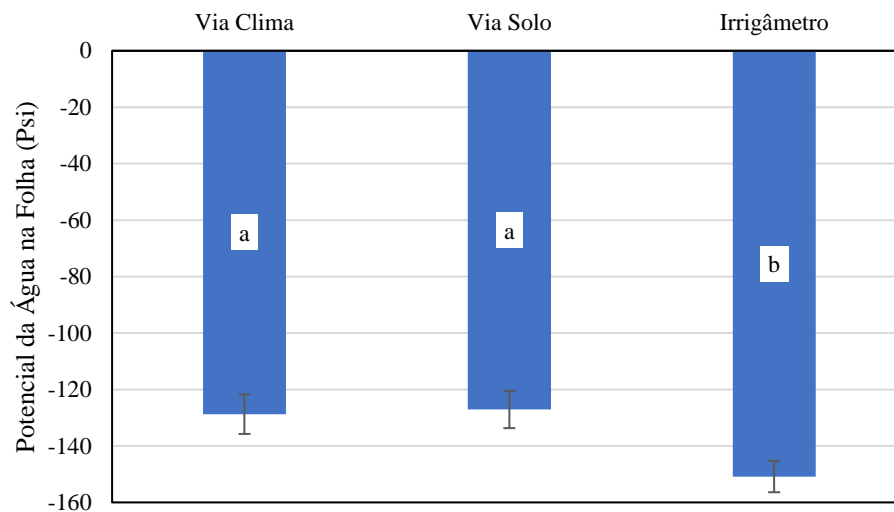


Grupos identificados com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Dunn ao nível de 5% de probabilidade. As barras de erro indicam o erro padrão da média. Fonte: O autor.

Liu *et al.* (2015) avaliaram o efeito da utilização de cobertura plástica no cultivo de milho irrigado e constataram que o potencial hídrico foliar dos tratamentos sem cobertura foi menor quando comparado com os tratamentos com cobertura. Rahman e Yahata (2007) não encontraram efeito significativo do uso de cobertura plástica no que se refere ao potencial hídrico foliar na cultura do feijão. Neste trabalho também não houve efeito significativo da cobertura do solo no potencial hídrico foliar. A avaliação do potencial hídrico foliar foi feita apenas 2 dias após o último evento de irrigação, dessa forma, é possível que esse período não tenha sido suficiente para que o solo diminuísse a umidade no tratamento sem cobertura, fazendo com que não houvesse alteração nesse quesito.

No agrupamento dos dados em função do manejo de irrigação, o manejo de irrigação com Irrigâmetro se destacou dos demais, sendo menor e estatisticamente diferente (Figura 28).

Figura 28 - Valores médios e erro padrão da média do potencial hídrico foliar (Psi) de alho roxo nobre em função do tipo de manejo de irrigação conduzido dos 82 DAP aos 107 DAP. Viçosa-MG, UFV, 2018.



Grupos identificados com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Dunn ao nível de 5% de probabilidade. As barras de erro indicam o erro padrão da média. Fonte: O autor.

A avaliação do potencial hídrico foliar foi feita aos 109 DAP, no período de maturação dos bulbos, em que a irrigação já havia sido suspensa. Não era esperada nenhuma diferença entre os tipos de manejo, mas o potencial foi menor nos tratamentos manejados com o Irrigâmetro. Tal diferença indica que as plantas desse tratamento estavam sob um nível maior de estresse hídrico, mas que este se mostrou ineficiente para afetar a produtividade.

A cobertura do solo não afetou significativamente o teor de clorofila das plantas (Tabela 22), sendo todos os tratamentos iguais estatisticamente. Mas ao comparar os tipos de

manejo, existe sim uma diferença significativa, visto que a clorofila dos tratamentos com manejo Via Solo (70,5) foi maior do que a dos tratamentos manejados com o Irrigâmetro (68,1).

Tabela 22 - Valores médios da estimativa do teor de clorofila (ICF – Índice de Clorofila Falker) de alho roxo nobre em função da cobertura do solo e do tipo de manejo de irrigação conduzido dos 82 DAP aos 107 DAP. Viçosa-MG, UFV, 2018.

Cobertura	Manejo de Irrigação			Média
	Via Clima	Via Solo	Irrigâmetro	
Sem Cobertura	70,8	70,3	67,9	69,7 A
Cobertura Morta	70,5	69,5	68,7	69,6 A
Papel	69,6	70,4	68,5	69,5 A
Plástico	68,9	72,0	67,3	69,4 A
Média	70,0 ab	70,5 a	68,1 b	-

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Deb *et al.* (2014) analisaram o efeito da utilização de seis tipos de cobertura do solo no crescimento vegetativo de morangueiros. Os autores avaliaram o teor de clorofila aos 50 e 100 DAP e não encontraram diferença estatística significativa entre os tratamentos. Gerasko *et al.* (2019) conduziram um experimento para avaliar o efeito de cobertura viva (vegetação espontânea) nos parâmetros fisiológicos da cerejeira e também não encontraram diferença estatística significativa no teor de clorofila total. Ambos os trabalhos citados acima corroboram com os resultados da presente pesquisa, uma vez que o teor de clorofila não diferiu estatisticamente entre os tipos de cobertura do solo avaliados.

Król-Dyrek e Siwek (2015) estudaram o efeito da utilização de mulchings com substâncias fotodegradantes no cultivo de framboesa. Os autores concluíram que, nos tratamentos com cobertura no solo, o teor de clorofila foi maior quando comparado com o tratamento testemunha sem cobertura. Ghosh *et al.* (2006) também encontrou menor concentração de clorofila no tratamento sem cobertura, em um experimento nos quais foram testados três tipos de cobertura do solo em amendoim.

O teor de clorofila está diretamente relacionado com o estado nutricional de nitrogênio da planta (BLACKMER; SCHEPERS, 1994). A cobertura do solo não possui um efeito direto no teor de clorofila, mas o uso de cobertura do solo auxilia no controle de plantas daninhas e mantém a umidade mais alta. A menor incidência de plantas daninhas poderia conferir vantagem às plantas de alho, pois a competição por água e nutrientes seria menor, podendo disponibilizar mais nutrientes a elas. A umidade do solo maior pode aumentar o fluxo de massa e incrementar a absorção de nitrogênio. Todavia, essas duas possíveis vantagens da utilização

de cobertura do solo não afetaram a quantidade de clorofila neste trabalho, provavelmente devido ao controle manual de plantas daninhas nos tratamentos sem cobertura e à fertirrigação com nitrogênio feita em todos os tratamentos.

As análises feitas com o IRGA (analisador de gás por infravermelho) apresentaram uma alta variabilidade e um alto desvio padrão. Mesmo com a utilização de um método não paramétrico não foi encontrada nenhuma diferença estatística significativa entre os tratamentos (Tabela 23).

Tabela 23 - Valores médios e erro padrão da média de parâmetros fisiológicos de alho roxo nobre medidos com o analisador de gás infravermelho (IRGA) aos 104 DAP, em função da cobertura do solo e do tipo de manejo de irrigação conduzido dos 82 DAP aos 107 DAP. Viçosa-MG, UFV, 2018.

Manejo de Irrigação	Cobertura do Solo	Fotossíntese Líquida		Condutância estomática		Concentração de CO <sub>2</sub>		Transpiração		Umidade da folha		Eficiência de uso de CO <sub>2</sub>		Eficiência do uso da água	
		Média	Erro Pad.	Média	Erro Pad.	Média	Erro Pad.	Média	Erro Pad.	Média	Erro Pad.	Média	Erro Pad.	Média	Erro Pad.
Via Clima	Sem Cobertura	11.87	±2.18	0.42	±0.07	314.93	±7.48	3.68	±0.29	66.55	±1.02	0.85	±0.02	27.98	±3.02
	Cobertura Morta	14.16	±1.78	0.47	±0.09	300.83	±14.44	3.84	±0.26	67.73	±0.96	0.82	±0.04	33.27	±7.33
	Papel	7.22	±1.65	0.38	±0.03	335.09	±8.32	3.50	±0.17	66.11	±0.62	0.90	±0.02	18.46	±3.56
	Plástico	12.91	±0.93	0.39	±0.06	300.88	±8.96	3.51	±0.24	66.64	±1.01	0.82	±0.03	34.66	±5.13
Via Solo	Sem Cobertura	14.67	±0.95	0.57	±0.02	317.04	±3.59	4.57	±0.13	67.37	±0.20	0.85	±0.01	25.92	±1.25
	Cobertura Morta	13.44	±1.07	0.58	±0.06	323.47	±6.55	4.40	±0.21	68.23	±0.42	0.87	±0.02	23.85	±3.36
	Papel	13.96	±1.26	0.42	±0.07	283.45	±12.24	5.73	±0.38	55.26	±0.88	0.79	±0.03	36.38	±6.50
	Plástico	15.62	±0.53	0.75	±0.12	301.37	±9.78	6.70	±0.32	58.42	±1.11	0.86	±0.03	23.19	±5.41
Irrigâmetro	Sem Cobertura	16.01	±1.29	0.54	±0.08	306.90	±9.13	4.58	±0.27	67.12	±0.93	0.83	±0.03	31.38	±5.04
	Cobertura Morta	11.43	±2.16	0.43	±0.16	293.87	±11.96	4.91	±0.81	57.40	±3.14	0.81	±0.04	34.30	±7.85
	Papel	12.26	±0.74	0.48	±0.07	317.01	±7.52	4.16	±0.23	66.14	±0.83	0.85	±0.02	27.42	±4.20
	Plástico	14.69	±1.07	0.66	±0.05	311.79	±4.13	5.88	±0.27	62.84	±0.47	0.86	±0.01	22.38	±1.95

Fotossíntese líquida (A,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática (Gs,  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), concentração de CO<sub>2</sub> (Ci,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$ ), Transpiração foliar (E,  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), Umidade relativa da folha (% H<sub>2</sub>O), Eficiência de uso de CO<sub>2</sub> [ $(\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}) / (\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1})$ ], Eficiência do uso da água ( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mmol H}_2\text{O}^{-1}$ ).

Lira-Saldivar *et al.* (2017) utilizaram o IRGA para avaliar o efeito da utilização de cobertura plástica nos parâmetros fisiológicos da abóbora. Os autores constataram que a fotossíntese líquida e a condutância estomática foram maiores e estatisticamente diferentes nos tratamentos com cobertura do solo. A transpiração foliar também foi maior, mas não houve diferença estatística significativa. Neste trabalho, resultados semelhantes foram encontrados quando comparados os tratamentos sem cobertura e com cobertura plástica, mas apenas no manejo Via Solo. No entanto, cabe ressaltar que não houve diferença estatística significativa.

#### **4. Considerações Finais**

No que tange à aplicabilidade e à facilidade de condução do manejo de irrigação, os métodos de manejo de irrigação Via Clima e Irrigâmetro se mostraram melhores quando comparados com o método Via Solo utilizado neste experimento.

A produtividade comercial foi equivalente quando adotados os manejos baseados no Clima e no Irrigâmetro, sem cobertura do solo, reiterando a eficiência desse equipamento na condução de um correto manejo de irrigação.

A utilização de cobertura do solo no cultivo do alho deve ser tratada com cautela, pois, mesmo sendo vantajosa no controle de plantas espontâneas e na conservação da umidade do solo, o seu uso nesse experimento promoveu um aumento considerável no índice de superbrotamento das plantas, diminuindo severamente a produtividade comercial.

Para a utilização de cobertura na cultura do alho deve-se cogitar a adoção de um período de estresse hídrico maior, de forma a permitir que a umidade do solo diminua apenas até o nível necessário.

#### **5. Conclusões**

O uso de cobertura do solo não afetou significativamente a produtividade potencial, ou seja, a utilização de cobertura não afetou a qualidade dos bulbos com valor comercial.

Os manejos de irrigação Via Clima e Via Irrigâmetro obtiveram os melhores resultados em relação à incidência de superbrotamento.

Não é aconselhado utilizar cobertura do solo no plantio do alho roxo nobre seguindo as metodologias deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2019.
- ALLEN, R.G.; WRIGHT, J.L.; PRUITT, W.O.; PEREIRA, L.S.; JENSEN, M.E. Water requirements. In: HOFFMAN, G.J.; EVANS, R.G.; JENSEN, M.E.; MARTIN, D.L.; ELLIOTT, R.L. **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASABE. chap. 8, p. 208-288, 2007.
- AMAYREH, J.; AL-ABED, N. Developing crop coefficients for field-grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under drip irrigation with black plastic mulch. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 73, n. 3, p. 247-254, 2005.
- ASSIS, R. P. de. **Produtividade e Análise econômica do cultivo de alho vernalizado em função de doses de NPK**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia, Universidade Federal de Lavras. Lavras-MG, p. 46, 2010.
- ASSIS, R. P. de. **Uso de Herbicidas na Redução de superbrotamento em alho**. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia, Universidade Federal de Lavras. Lavras-MG, p. 47, 2016.
- AYARS, J. E. Water requirement of irrigated garlic. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. Vol. 51(5): 1683-1688, 2008.
- BACKES, C. *et al.* Coloração verde nas folhas da cultura do alho vernalizado em resposta à adubação nitrogenada. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 491-498, 2008.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C; SILVA, D. D. da; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. 9ª ed., Viçosa-MG: UFV, 2019, 545p.
- BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J.S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.25, p. 1791-1800, 1994.
- BÜLL, L.T.; BERTANI, R.M. de A.; VILLAS BÔAS, R.L.; FERNANDES, D.M. Produção de bulbos e incidência de pseudoperfilhamento na cultura do alho vernalizado em função de adubações potássicas e nitrogenadas. **Bragantia**, v.61, p.247-255, 2002.
- BURBA, J.L. **Efeitos do manejo de alho-semente (*Allium sativum* L.) sobre a dormência, crescimento e produção da cultivar Chonan**. 1983. 112p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CARMO, C. A. S. **Efeitos de coberturas do solo e de frequências de irrigação na cultura do alho (*Allium sativum* L.), em dois locais de altitudes diferentes do Estado do Espírito Santo**. 1984, 61p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1984.

- CHAI, Q.; GAN, Y.; ZHAO, C.; XU, H. L.; WASKOM, R. M.; NIU, Y.; SIDDIQUE, K. H. M. Regulated deficit irrigation for crop production under drought estresse. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 36, n. 1, p. 1–21, 2016.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita e frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: UFLA: ESAL/FAEPE, 2005. 785p.
- CONTIN, F. S. **Tecnologia do Irrigâmetro aplicada no manejo de irrigação do feijoeiro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, p. 64, 2008.
- COOLONG, T. Performance of Paper Mulches Using a Mechanical Plastic Layer and Water Wheel Transplanter for the Production of Summer Squash. **HortTechnology**, v20: 319–324, 2010.
- CORRÊA, T.M.; PALUDO, S.K.; RESENDE, F.V.; OLIVEIRA, P.S.R. Adubação química e cobertura morta em alho proveniente de cultura de tecidos. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 4, p. 601-604, 2003.
- CORTÉS, C. F.; OLALLA, F. M. S.; URREA, R. L. Production of garlic (*Allium sativum* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. **Agricultural Water Management**, v. 59, n. 2, p. 155–167, 2003.
- DEB, P.; SANGMA, D.K.; PRASAD, B.V.G.; BHOWMICK, N.; DEY, K. Effect of Different Mulches on Vegetative growth of Strawberry (cv. Tioga) under Red and Lateritic Zone of West Bengal. **International Journal of Basic and Applied Biology**. v. 2, n. 2: p. 77 – 80, 2014.
- DIENE, A. A.; MAHLER, C. F. Um instrumento para medida de potencial matricial nos solos sem ocorrência de cavitação. **R. Bras. Ci. Solo**, 31:1261-1270, 2007.
- Dobriyal, P.; Qureshi, A.; Badola, R.; Ainul, S. A review of the methods available for estimating soil moisture and its implications for water resource management. **Journal of Hydrology**. 458-459: 110-117. 2012.
- EMBRAPA SOLOS. **Manual de métodos de análise de solo**. 2, ed. Rio de Janeiro. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997, 212p.
- FALKER. **Manual HidroFarm**: Medidor Eletrônico de Umidade do Solo. Falker Automação Agrícola Ltda, 2010.
- FERNÁNDEZ, J. E.; RODRIGUEZ-DOMINGUEZ, C. M.; PEREZ-MARTIN, A.; ZIMMERMANN, U.; RÜGER, S.; MARTÍN-PALOMO, M. J.; TORRES-RUIZ, J. M.; CUEVAS, M. V.; SANN, C.; EHRENBERGER, W.; DIAZ-ESPEJO, A. Online-monitoring of tree water estresse in a hedgerow olive orchard using the leaf patch clamp pressure probe. **Agricultural Water Management**, v. 100, n. 1, p. 25–35, 2011.
- FONTANÉTTI, A.; CARVALHO, G. J.; MORAIS, A. R.; ALMEIDA, K.; DUARTE, W. F. Adubação verde no controle de plantas invasoras nas culturas de alface-americana e de repolho. **Revista Ciência Agrotécnica**, v. 28, n. 5, p. 967-973, 2004.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **FAO Irrigation and drainage paper**. Rome, 1998.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Statistical Pocketbook: World food and agriculture**. 236 p, Rome, 2015.

GARCIA, A. **Influência da irrigação no crescimento, produção e superbrotamento do alho (*Allium sativum* L.)**. 1964. 45p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

GERASKO, T.; VELCHEVA, L.; TODOROVA, L.; POKOPTSEVA, L.; IVANOVA, I. Effect of Living Mulch on Chlorophyll Index, Leaf Moisture Content and Leaf Area of Sweet Cherry (*Prunus avium* L.). **In: NADYKTO, V. Modern Development Paths of Agricultural Production: Trends and innovations**. Springer. 2019.

GHOSH, P. K. *et al.* Evaluation of straw and polythene mulch for enhancing productivity of irrigated summer groundnut. **Field Crops Research**, v. 99, n. 2–3, p. 76–86, 2006.

GONÇALVES, A. O.; FAGNANI, M. A.; PEREZ, J. G. Efeitos da cobertura do solo com filme de polietileno azul no consumo de água da cultura da alface cultivada em estufa. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 622-631, 2005.

GONZÁLEZ, A. M.; BONACHELA, S.; FERNÁNDEZ, M. D. Regulated deficit irrigation in green bean and watermelon greenhouse crops. **Scientia Horticulturae**, v. 122, n. 4, p. 527–531, 2009.

HEMPHILL, D. D. Agricultural plastics as solid waste: What are the options for disposal. **HortTechnology**, v 3:70–73, 1993.

HILLEL, D. **Soil and water: physical principles and processes**. 3. ed. New York: Academic, p. 288. 1972.

HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, Palo Alto, v. 24, p. 519-570, 1973.

KANG, S.; SHI, W.; ZHANG, J. An improved water-use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. **Field Crops Research**, v. 67, p. 207–214, 2000.

KIRDA, C. Deficit irrigation scheduling based on plant growth stages showing water estresse tolerance. **In: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Deficit irrigation practices**. FAO Water Reports. Rome, 2002.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 945-953, 2002.

KRÓL-DYREK, K.; SIWEK, P. The influence of biodegradable mulches on the yielding of autumn raspberry (*Rubus idaeus* L.). **Folia Horticulturae**, v. 27, n. 1, p. 15–20, 2015.

LAMONT, W.J. Plastics: Modifying the microclimate for the production of vegetable crops. **HortTechnology**, v15: 477–481, 2005.

LIMA, C. L. **Medidor de clorofila na avaliação de nutrição nitrogenada na cultura do alho vernalizado**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp. Botucatu-SP, p. 108, 2005.

LIMA, C. P.; BÜLL, L. T.; BACKES, C.; GODOY, L. J. G; KIIHL, T. A. M. Produtividade e características comerciais do alho vernalizado em função de doses de nitrogênio. **Científica**, Jaboticabal, v.36, n.1, p.48 - 55, 2008.

LIRA-SALDIVAR, R. H *et al.* Gas exchange, yield and fruit quality of Cucurbita pepo cultivated with zeolite and plastic mulch. **Agrochimica**, v. 61, n. 2, p. 123–139, 2017.

LIU, Y. *et al.* Effect of plastic film *mulching* on the grain filling and hormonal changes of maize under different irrigation conditions. **PLoS ONE**, v. 10, n. 4, 2015.

LOPES, W. A. R.; NEGREIROS, M. Z.; RESENDE, F. V.; LUCENA, R. R. M.; SOARES, A. M.; SILVA, O. M. P.; MEDEIROS, J. F. Produção de alho submetido a períodos de vernalização e épocas de plantio em região de clima semiárido. **Horticultura Brasileira** (On-Line), v. 34, p. 249-256, 2016.

MACÊDO, F. S. *et al.* Produtividade de alho vernalizado em função de fontes e doses de fósforo. **Ciência Rural**, v. 41, n. 3, p. 379–383, 2011.

MACÊDO, F. S.; DE SOUZA, R. J.; PEREIRA, G. M. Controle de superbrotamento e produtividade de alho vernalizado sob eestressee hídrico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 629–635, 2006.

MACÊDO, F. S.; DE SOUZA, R. J.; PEREIRA, G. M. Controle de superbrotamento e produtividade de alho vernalizado sob eestressee hídrico. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 629–635, 2006.

MAROUELLI, W. A.; BRAGA, M. B.; LUCINI, M. A.; RESENDE, F. V. **Circular Técnica 136: Irrigação na cultura do alho**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Embrapa, Brasília-DF. 24 P, 2014.

MAROUELLI, W. A.; LUCINI, M. A.. Manejo de irrigação na cultura do alho. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 26, n. 3, p. 46-49, nov. 2013/fev. 2014.

MCCARTHY, M. G.; LOVEYS, B. R.; DRY, P. R.; STOLL, M. Regulated deficit irrigation and partial rootzone drying as irrigation management techniques for grapevines. **In: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO)**. Deficit irrigation practices. FAO Water Reports. Rome, 2002.

MENDES, L.; FAVARATO, L. F.; EUTRÓPIO, F. J.; GUARÇONI, R. C. Uso de papel Kraft como alternativa para o controle de plantas daninhas no cultivo da Alface. **In: XXII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VIII Encontro de Iniciação à Docência** - Universidade do Vale do Paraíba. 2018.

MENEZES SOBRINHO, J. A. **Cultivo do alho (*Allium sativum* L.)**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 1997.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Portaria Nº 242, de 17 de setembro de 1992, **Norma de identidade, qualidade, acondicionamento, embalagem e apresentação do alho**. Brasília-DF, 1992.

MUNN, D.A. Comparisons of shredded newspaper and wheat straw as crop mulches. **HortTechnology**. 2:361–366, 1992.

NEGREIROS, M. Z.; COSTA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; LEITÃO, V. B. R. M. M.; BEZERRA NETO, F.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J. Rendimento e qualidade de melão sob lâminas de irrigação e cobertura de solo com filmes de polietileno de diferentes cores. **Horticultura Brasileira**. v. 23, p. 773-779, 2005.

NUNES, M. U. C. Efeito de diferentes coberturas do solo e frequência de irrigação na cultura do alho. **EMBRAPA-UEPAE**, Rio Branco. Comunicado técnico, 40 p. 9, 1986.

OLALLA, F. M. S.; DOMÍNGUEZ-PADILLA, A.; LÓPEZ, R. Production and quality of the onion crop (*Allium cepa* L.) cultivated under controlled deficit irrigation conditions in a semi-arid climate. **Agricultural Water Management**, v. 68, n. 1, p. 77–89, 2004.

OLIVEIRA, E. M. de *et al.* Performance of the irrigameter in management of irrigation in the Jaíba Irrigated Perimeter, MG, Brazil. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, [S.l.], v. 6, n. 1, p. 157-164, apr. 2011.

OLIVEIRA, R. A.; TAGLIAFERRE, C.; SEDIYAMA, G. C.; MATERAM, F. J. V.; CECON, P. R. Desempenho do Irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.12, n.2, p.166–173, 2008.

OTHMER, H.; DIEKKRUGER, B.; KUTILEK, M. Bimodal porosity and unsaturated hydraulic conductivity. **Soil Science**, Baltimore, v. 152, n. 3, p. 139-150, 1991.

PEREIRA, A. R. Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia** (São Paulo), Campinas, SP, v. 64, n. 2, p. 311-313. 2005.

PINCELLI, R. P. **Tolerância a deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas**. 2010, P 65, Dissertação (mestrado em agronomia). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2010.

PIRES, R.C.M.; SAKAI, E.; ARRUDA, F.B.; FOLEGATTI, M.V. Necessidades hídricas das culturas e manejo de irrigação In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. **Irrigação. Piracicaba: SBEA** (Série Engenharia Agrícola). v.1, p.121-94, 2001.

RAHMAN, MD. A.; YAHATA, H. Effect of Mulch and Irrigation on Leaf Water Relation and Pod Yield of Common Bean in Dry Period of Bangladesh. **International Journal of Agricultural Research**, 2: 862-869, 2007.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **R. Bras. Ci. Solo**, 12:211-216, 1988.

- RESENDE, F. V.; HABER, L. L.; PINHEIRO, J. B. **A cultura do alho**. Embrapa, 2015.
- RESENDE, J. T. V.; MORALES, R. G. F.; ZANINI, D. S.; RESENDE, F. V.; DE PAULA, J. T.; DIAS, D. M.; GALVÃO, A. G. Caracterização morfológica, produtividade e rendimento comercial de cultivares de alho. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 1, p. 157–162, 2013.
- RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; ROMAN, E. S. Avaliação do Potencial Hídrico Foliar em Plantas de Trigo. Passo Fundo: Embrapa Trigo. 12 p. (**Embrapa Trigo. Circular Técnica Online**; 15). 2003.
- SANCHEZ, E.; LAMONT, W.J.; ORZOLEK, M.D. Newspaper mulches for suppressing weeds for organic hightunnel cucumber production. **HortTechnology**, 18:154–157, 2008.
- SÁNCHEZ-VIROSTA, A.; LÉLLIS, B.; PARDO, J.J.; MARTÍNEZ-ROMERO, A.; SÁNCHEZ-GÓMEZ, D.; DOMÍNGUEZ, A. Functional response of garlic to optimized regulated deficit irrigation (ORDI) across crop stages and different years: Does ORDI ensure physiological performance at the most sensitive stages to water deficit?. **Agricultural Water Management**. 2020.
- 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.
- SASSAKI, R. M.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e condutância estomática em duas espécies de trigo em diferentes teores de água no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 9, p. 1571-1579, 1999.
- SEDOGUSHI, E. T. **Produtividade em alho vernalizado, proveniente de cultura de meristemas, sob doses de fosforo, nitrogênio e potássio**. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Lavras. Lavras, p. 77, 2008.
- SENTEK. **Calibration Manual: For Sentek Soil Moisture Probes**. Stepney: Sentek Pty Ltd, 2011.
- SHOGREN, R. L. Biodegradable mulches from renewable resources. **J. Sustain. Agr.** 16:33–47, 2000.
- SILVA, E. C.; SOUZA, R. J. de; SANTOS, V. S. Efeitos do tempo de frigorificação em cultivares de alho (*allium sativum*) provenientes de cultura de meristemas. **Ciência agrotec.**, Lavras, v.24, n.4, p.939-946, out./dez., 2000.
- SILVA, N.; BORGES, J.; CARNEIRO, I. EFEITO DA COBERTURA MORTA NO CRESCIMENTO E NA PRODUÇÃO DO ALHO (*Allium sativum* L.). **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)**, v. 24, n. 1, p. 129-134, 7 dez. 2007.
- SOUZA, L.D.; REICHARDT, K. Estimativas e utilização da capacidade de campo. **R. Bras. Ci. Solo**, 20:183-189, 1996.

SOUZA, R.J. de; CASALI, V.W.D. Pseudoperfilhamento: uma anormalidade genético-fisiológica em alho. **Informe Agropecuário**, v.12, p.36-41, 1986.

SOUZA, R.J. de; MACÊDO, F.S. Vernalização de cultivares de alho nobre na região de Lavras. **Horticultura Brasileira**, v.22, p.651- 654, 2004.

TAGLIAFERRE, C. **Desempenho do irrigâmetro® e de dois minievaporímetros para estimativa da evapotranspiração de referência**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, UFV. Viçosa, 2006.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: 5, Ed. Artmed, 954p. 2013.  
TESTEZLAF, R.. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. - Campinas, SP.: Unicamp/FEAGRI, 2017.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J.R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 311p. **Publications in Climatology**. 1957.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J.R. The water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 104p. **Publications in Climatology**, vol. 6, n.1. 1955.

TRANI, P. E.; DE CAMARGO, M. S.; FOLTRAN, D. E.; HIROCE, R.; ARRUDA, F. B.; SAWAZAKI, H. E. Produtividade e pseudoperfilhamento do alho influenciados pelo nitrogênio, potássio e cobertura morta. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 3, p. 330–334, 2008.

VAN GENUCHTEN, M.T.H. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, v.44, p.892-898, 1980.

ZIMMERMANN, U. *et al.* A non-invasive plant-based probe for continuous monitoring of water estresse in real time: a new tool for irrigation scheduling and deeper insight into drought and salinity estresse physiology. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 25, n. 1, p. 2–11, 2013.

## APÊNDICE

Tabela 24 - Cronograma de aplicação de insumos no plantio de alho, onde os valores indicados correspondem à quantidade necessária por hectare.

DAP	INSUMO
-1	NPK (00-21-00) 2000 kg
0	NPK (02-30-00) 3000 kg
0	KCL 200 kg a lanço após o plantio
0	Ronstar 4 lt
7	Support 1lt, captan 2lt, Acefato 800g
8	NPK (30-00-20) 100kg, Frowncide 2lt, Odin 2lt (via fertirrigação)
8	KCl 100 kg
9	Dithane 2,0 kg, Acefato 800 g
12	Dithane 2,0 kg, Kocide 1 kg, Connect 750 ml
13	Totril 400 ml
15	NPK (30-00-20) 100 kg, Premier plus 1,2 lt
15	Sulfato Zn 4 kg, Sulfato Mn 4 kg, Ácido Bórico 4 kg (fertirrigação)
15	KCl 100 kg
16	Cabrio top 2kg, Acefato 800g
21	Midas 1,6kg, Kocide 1 kg, Acefato 800g
22	NPK (30-00-20) 100kg (fertirrigação)
22	Sulfato Mg 20kg, Map purificado 150kg (fertirrigação)
22	Kasumin 2l
23	Totril 300ml
25	KCl 100kg
27	Odin 500ml, Connect 750ml
30	Sulfato Zn 4kg, Sulfato Mn 4kg, Ácido Bórico 4kg (fertirrigação)
32	Kasumin 1,5lt, Dithane 2,0kg, Kocide 1kg
33	Totril 200/250ml
37	Sumilex 1,2kg, Acefato 800g
42	Kasumin 2l
43	Dithane 2,5, Kocide 1kg, Connect 750ml
47	Odim 500ml
52	Kasumin 1,5lt, Midas 1,6kg, Kocide 1kg, Acefato 800g
57	Odin 500ml, Connect 750ml
60	NPK (30-00-20) 100kg, Odin 2lt, Premier plus 1,2lt (fertirrigação)
60	Sulfato Mg 20kg/map purificado 150kg
61	Kasumin 2l
62	Dithane 2,5kg, Kocide 1,2kg, Acefato 800g
70	NPK (30-00-20) 100kg, odin 2lt, Premier plus 1,2lt(via fertirrigação)
70	Sulfato Zn 4kg, Sulfato Mn 4kg, Ácido Bórico 4kg (via fertirrigação)

72	Kasumin 1,5lt, Dithane 2,5kg, Kocide 1,2kg, Connect 750ml
77	Sialex 1,2kg, Acefato 800g
80	NPK (30-00-20) 50kg (via fertirrigação)
80	Ácido Bórico 4kg, Sulfato Mn 4kg (via fertirrigação)
81	Kasumin 2l
82	Midas 1,6kg, kocide 1,2kg, Acefato 800g
90	NPK (30-00-20) 50kg (via fertirrigação)
92	Kasumin 1,5lt, Dithane 2,5kg, Kocide 1,2kg, Connect 750ml
97	Rovral 1,2lts, Odin 500ml, Acefato 800g
100	Sulfato Mg 20kg, Map purificado 10kg (via fertirrigação)
100	KCl 100kg (via fertirrigação)
102	Dithane 2,5kg, kocide 1,2kg, Connect 750ml
107	Odin 500ml, Acefato 800g
112	Midas 1,6kg, Kocide 1,2kg, Connect 750ml
117	Sialex 1,2kg, Acefato 800g
122	Cabrio Top 2,5kg, Kocide 1,2kg, Connect 750ml
124	Dithane 2,5kg, Kocide 1,2kg, Lannate 1,5l

Tabela 25 - Quadro de Análise de Variância (experimento em parcelas subdivididas) de parâmetros de alho roxo nobre em função do manejo da irrigação/fertirrigação durante o período de estresse hídrico e níveis de irrigação, após início da diferenciação dos bulbilhos. Viçosa-MG, UFV, 2018.

FV	GL	Quadrado Médio								
		Clorofila-55DAP (ICF)	Clorofila-102DAP (ICF)	Diâmetro (mm)	Massa Bulbo (g)	Bulbilhos por Bulbo (qtde)	Massa Total de Plantas (t ha <sup>-1</sup> )	Prod. Potencial (t ha <sup>-1</sup> )	Prod. Comercial (t ha <sup>-1</sup> )	Eficiência de Uso da Água (kg m <sup>-3</sup> )
Trat-a	2	1,33 <sup>ns</sup>	6,86 <sup>ns</sup>	3,23 <sup>ns</sup>	15,32 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>	18,01 <sup>ns</sup>	1,93 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	94676,5**
Resíduo-a	6	2,47	14,13	1,75	6,35	1,81	6,22	0,98	0,77	3100,67
Parcelas	8	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Trat-b	2	3,78 <sup>ns</sup>	75,86**	10,54**	5,33 <sup>ns</sup>	0,7 <sup>ns</sup>	37,83**	0,8 <sup>ns</sup>	13,82**	604452,1**
Interação	4	1,78 <sup>ns</sup>	15,19 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	7,08 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	6,46 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	683,9 <sup>ns</sup>
Resíduo-b	12	5,14	9,27	1,13	6,1	0,36	4,36	0,95	0,79	2983,64
Total	26	---	---	---	---	---	---	---	---	---
CV%-a		2,31	4,93	2,93	5,82	9,31	6,59	5,69	5,49	5,37
CV%-b		3,33	3,99	2,36	5,71	4,15	5,51	5,6	5,56	5,27

FV: Fonte de Variação; GL: Graus de Liberdade; O teste de F foi conduzido, onde ns: não significativo; \*\*: significativo ao nível de 1% de probabilidade; \*: significativo ao nível de 5% de probabilidade. Trat-a: Nível de Irrigação após diferenciação dos bulbilhos; Trat-b: Manejo de Irrigação durante período de stress após início da diferenciação dos bulbilhos.

Tabela 26 - Quadro de Análise de Variância (experimento em parcelas subdivididas) de parâmetros de alho roxo nobre em função da cobertura do solo e do tipo de manejo de irrigação conduzido dos 82 DAP aos 107 DAP. Viçosa-MG, UFV, 2018.

FV	GL	Quadrado Médio						
		Massa Total de Plantas (t ha <sup>-1</sup> )	Diâmetro (mm)	Bulbilhos por Bulbo (qtde)	Prod. Potencial (t ha <sup>-1</sup> )	Clorofila (ICF)	Prod. Comercial (t ha <sup>-1</sup> )	Eficiência de Uso da Água (kg m <sup>-3</sup> )
Trat-a	2	0.00489*	5.17**	3.23 <sup>ns</sup>	7.8*	19.49*	19.63**	6.2**
Resíduo-a	6	0.00055	0.32	1.46	1.01	2.27	0.36	0.2
Parcelas	8	---	---	---	---	---	---	---
Trat-b	3	0.00101 <sup>ns</sup>	12.01*	0.29 <sup>ns</sup>	6.46 <sup>ns</sup>	0.13*	9.97**	5.29**
Interação	6	0.00284 <sup>ns</sup>	3.82 <sup>ns</sup>	1.86 <sup>ns</sup>	3.77 <sup>ns</sup>	3.46 <sup>ns</sup>	5.48*	2.95*
Resíduo-b	18	0.0019	2.68	1.28	2.44	4.94	1.44	0.78
Total	35	---	---	---	---	---	---	---
CV%-a		1,50	1,26	8,39	5,69	2,17	4,39	10,44
CV%-b		2,79	3,64	7,87	8,88	3,20	8,81	10,83

FV: Fonte de Variação; GL: Graus de Liberdade; O teste de F foi conduzido, onde ns: não significativo; \*\*: significativo ao nível de 1% de probabilidade; \*: significativo ao nível de 5% de probabilidade. Trat-a: Métodos de manejo de irrigação; Trat-b: Cobertura do solo.