

UniRV- UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

**DESEMPENHO DE SOJA E MILHO EM SUCESSÃO EM FUNÇÃO DA
ÉPOCA DE SEMEADURA EM REGIME HÍDRICO NO CERRADO**

GUILHERME RODRIGUES MARTINS

Magister Scientiae

RIO VERDE
GOIÁS - BRASIL

2023

GUILHERME RODRIGUES MARTINS

**DESEMPENHO DE SOJA E MILHO EM SUCESSÃO EM FUNÇÃO DA ÉPOCA DE
SEMEADURA EM REGIME HÍDRICO NO CERRADO**

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para à obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**RIO VERDE
GOIÁS - BRASIL
2023**

Universidade de Rio Verde
Biblioteca Luiza Carlinda de Oliveira
Bibliotecário: Juatan Tiago da Silva – CRB 1/3158
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – (CIP)

M343d Martins, Guilherme Rodrigues

Desempenho de soja e milho em sucessão em função da época de
semeadura em regime hídrico no cerrado. / Guilherme Rodrigues
Martins. – 2023.

159 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Gilmar Oliveira Santos.

Co-orientador: Prof. Dr. Márcio Rosa.

Dissertação (Mestrado) — Universidade de Rio Verde - UniRV,
Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Faculdade de
Agronomia, 2023.

Inclui índice de tabelas e figuras.

1. Agricultura irrigada. 2. Evapotranspiração. 3. Irrigação localizada.
4. Estresse hídrico. 5. Viabilidade econômica. 6. Produtividade de
grãos. I. Santos, Gilmar Oliveira. II. Rosa, Márcio. III. Título.

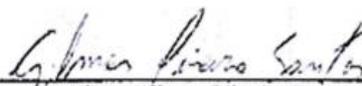
CDD: 633.34

GUILHERME RODRIGUES MARTINS

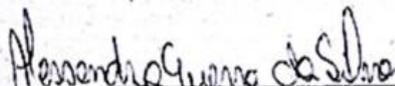
DESEMPENHO DE SOJA E MILHO EM SUCESSÃO EM FUNÇÃO DA ÉPOCA DE
SEMEADURA EM REGIME HÍDRICO NO CERRADO

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de
Rio Verde, como parte das exigências do Programa
de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para
obtenção do título de *Magister Scientiae*.

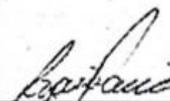
APROVAÇÃO: 20 de junho de 2023



Prof. Dr. Gilmar Oliveira Santos
Presidente da Banca Examinadora
Membro – FA/UniRV



Prof. Dr. Alessandro Guerra da Silva
Membro – FA/UniRV



Prof. Dr. Rogério Teixeira de Faria
Membro Externo – UNESP/Jaboticabal

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Fabiana Rodrigues Ambrozio e Fernando Mendes Martins, por não terem medido esforços para que eu chegasse até aqui, e a todos os membros da minha família que contribuíram para minha formação acadêmica. Agradeço a todos por ter me fornecido saúde, força e fé para vencer todos os desafios deste projeto.

Aos meus avós maternos: Alice Rodrigues de Souza (*in memoriam*) que infelizmente não pode estar presente neste momento tão importante da minha vida, e Adelicio Darlot Ambrozio, e avós paternos Vilma Mendes da Silva Martins e João Cândido Martins. A todos, tenho gratidão por terem concedido o dom da vida aos meus pais e por terem compartilhado importantes lições da vida comigo desde a infância, vocês sempre serão meus exemplos de caráter e dignidade!

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, pela força e coragem durante toda essa caminhada.

À Universidade de Rio Verde (UniRV) e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV), pela oportunidade de realizar a formação no Mestrado.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Gilmar Oliveira Santos e Prof. Dr. Márcio Rosa, pela disposição, ensinamentos, e por confiar em mim para realizar este trabalho.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pelo incentivo e financiamento a partir da Programa de Concessão de Bolsas de Formação de Mestrado e Doutorado (Nº 01/2021), concedido ao autor (PCB202103100014) para realização do trabalho.

A empresa NETAFIM pela doação do sistema de irrigação de gotejamento via gravidade (Kit Irrigação Sistema Gotejamento Familiar 500 m²).

Ao mestrando e amigo, Nathan Rezende Blat, pelo companheirismo e desempenho significativo no desenvolvimento do trabalho e a todos os amigos e colegas que colaboraram para que este sonho pudesse ser concretizado.

Ao Prof. Dr. Alessandro Guerra da Silva, Prof. Dr. Ricardo Francischini e Prof. Dr. Rogério Teixeira de Faria, pela disposição de participarem da banca examinadora deste trabalho e contribuírem para melhoria significativa da dissertação.

Aos meus pais Fabiana Rodrigues Ambrozio e Fernando Mendes Martins e a todos membros da minha família, por lutarem comigo e por nunca me deixarem desistir.

A todos, minha eterna gratidão por me ajudar a realizar este sonho, muito obrigado!

EPÍGRAFE

“Tudo posso naquele que me fortalece”.

Filipenses 4:13

BIOGRAFIA

GUILHERME MARTINS, filho de Fabiana Rodrigues Ambrozio e Fernando Mendes Martins, nasceu no município de Rio Verde, Estado de Goiás, aos 29 dias de outubro do ano de 1999. Em fevereiro de 2017, iniciou o curso de Engenharia Agrônômica na Universidade de Rio Verde (UniRV), no município de Rio Verde, Estado de Goiás. Durante a graduação, entre os anos de 2019-2020, foi aluno de iniciação científica, observando o desempenho agrônômico do milho submetido a lâminas de irrigação e, no segundo semestre de 2020, graduou em Engenharia Agrônômica. No mesmo período, ingressou como aluno regular e bolsista (PCB202103100014) da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) a partir do Programa de Concessão de Bolsas de Formação de Mestrado e Doutorado (Nº 01/2021) no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV) da UniRV, com trabalho direcionado para o desempenho de soja e milho em diferentes épocas de semeadura manejadas com e sem irrigação, sob a orientação do Professor Dr. Gilmar Oliveira Santos e coorientação do Professor Dr. Márcio Rosa, com o objetivo de alavancar a produtividade das culturas. Em 20/06/2023, defendeu sua dissertação para obtenção do título de Mestre.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMO GERAL.....	xvi
GENERAL ABSTRACT.....	xvii
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
CAPÍTULO 1 - DESEMPENHO DE SOJA EM DUAS ÉPOCAS DE SEMEADURA MANEJADA COM E SEM IRRIGAÇÃO.....	4
RESUMO.....	4
ABSTRACT.....	5
1 INTRODUÇÃO.....	6
2 OBJETIVOS.....	7
2.1 Objetivo geral.....	7
2.2 Objetivos específicos.....	7
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	7
3.1 Origem, botânica e introdução da soja (<i>Glycine max</i> (L.) Merrill) no Brasil.....	7
3.2 Cultivo de soja no Brasil.....	9
3.3 Antecipação da semeadura da soja.....	10
3.4 Disponibilidade hídrica	11
3.5 Sistemas de irrigação.....	13
3.6 Manejo da irrigação.....	14
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
4.1 Caracterização da área.....	18
4.2 Delineamento estatístico.....	18
4.3 Implantação e manejo.....	19
4.4 Características avaliadas.....	24
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5.1 Balanço hídrico climatológico decenal para cultura da soja.....	29
5.2 Uniformidade de molhamento.....	32
5.3 Velocidade de infiltração básica (VIB).....	32
5.4 População de plantas.....	34
5.5 Índice de clorofilas <i>a</i>	35

5.6 Índice de clorofilas <i>b</i>	37
5.7 Razão entre clorofilas (<i>a/b</i>).....	38
5.8 Índice de clorofilas totais (<i>a+b</i>).....	39
5.9 Potencial hídrico, taxa fotossintética, transpiração, e temperatura foliar.....	40
5.10 Conteúdo relativo de água na folha (CRA).....	48
5.11 Extravasamento de eletrólitos (TLE).....	49
5.12 Densidade de venação.....	51
5.13 Eficiência quântica do fotossistema II (Fm/Fo).....	52
5.14 Índice de desempenho fotossintético (Pi/Abs).....	53
5.15 Taxa de transporte de elétrons (Phi/Eo).....	54
5.16 Altura de plantas.....	55
5.17 Área foliar.....	57
5.18 Matéria seca de caule e de folhas.....	58
5.19 Número de nós produtivos na haste principal e vagens por planta.....	60
5.20 Peso de mil grãos e produtividade de grãos.....	62
6 CONCLUSÃO.....	64
REFERÊNCIAS.....	65
CAPÍTULO 2 - DESEMPENHO DO MILHO EM SAFRINHA TARDIA MANEJADO COM E SEM IRRIGAÇÃO.....	79
RESUMO.....	79
ABSTRACT.....	80
1 INTRODUÇÃO.....	81
2 OBJETIVOS.....	82
2.1 Objetivo geral.....	82
2.2 Objetivos específicos.....	82
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	82
3.1 Origem, botânica e introdução do milho (<i>Zea mays L.</i>) no Brasil.....	82
3.2 Cultivo do milho no Brasil.....	83
3.3 Disponibilidade hídrica.....	84
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	85
4.1 Caracterização da área.....	85
4.2 Delineamento estatístico.....	86
4.3 Implantação e manejo.....	86

4.4 Características avaliadas.....	89
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	91
5.1 Balanço hídrico climatológico decendial para cultura do milho.....	91
5.2 População de plantas.....	93
5.3 Conteúdo relativo de água na folha (CRA).....	94
5.4 Extravazamento de eletrólitos (TLE).....	96
5.5 Potencial hídrico, taxa fotossintética, transpiração e temperatura foliar.....	96
5.6 Altura de plantas.....	100
5.7 Área foliar.....	102
5.8 Matéria seca de parte aérea.....	103
5.9 Número de espiga por planta.....	104
5.10 Número de fileiras por espiga.....	105
5.11 Comprimento da espiga e número de grãos por fileira.....	106
5.12 Diâmetro da espiga.....	108
5.13 Peso de mil grãos.....	109
5.14 Produtividade de grãos.....	110
6 CONCLUSÃO.....	111
REFERÊNCIAS.....	112
CAPÍTULO 2 - ANÁLISE ECONÔMICA DO SISTEMA DE CULTIVO SOJA-MILHO IRRIGADO EM DIFERENTES ÉPOCAS DE SEMEADURA, VIA GOTEJAMENTO SUPERFICIAL.....	120
RESUMO.....	120
ABSTRACT.....	121
1 INTRODUÇÃO.....	122
2 OBJETIVOS.....	123
2.1 Objetivo geral.....	123
2.2 Objetivos específicos.....	123
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	123
3.1 Aspectos econômicos da irrigação.....	123
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	124
4.1 Caracterização da área.....	124
4.2 Delineamento estatístico.....	125
4.3 Implantação e manejo.....	125

4.4 Custos estimados para implantação e condução do sistema de irrigação.....	131
4.5 Indicadores avaliados para análise de rentabilidade.....	131
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	132
6 CONCLUSÃO.....	136
REFERENCIAS.....	137

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Caracterização química e textural do solo da área experimental nas camadas de 0 a 0,2 e 0,2 a 0,4 metros de profundidade.....	20
TABELA 2	Duração da fase fenológica e coeficiente de cultivo da cultura da soja (kc).....	24
TABELA 3	Interpretação dos valores do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e Eficiência do sistema de irrigação (Ef).....	25
TABELA 4	Classificação da uniformidade de molhamento e eficiência de irrigação.....	32
TABELA 5	Duração da fase fenológica e coeficiente de cultivo da cultura do milho.....	89
TABELA 6	Caracterização química e textural do solo da área experimental nas camadas de 0 a 0,2 e 0,2 a 0,4 metros de profundidade.....	126
TABELA 7	Itens de custo e custo operacional total (COT) para implantação e condução do sistema de irrigação, via gotejamento, no município de Rio Verde, região sudoeste do Estado de Goiás.....	133
TABELA 8	Medidas de produção e rentabilidade econômica da produção de soja, semeada em duas épocas (A - 25/10/2021 e B - 18/10/2021), em sistemas irrigados e sequeiro, no ano agrícola de 21/22, no município de Rio Verde, região sudoeste do Estado de Goiás.....	134
TABELA 9	Medidas de produção e rentabilidade econômica da produção de milho, semeado em duas épocas (A - 28/01/2022 e B - 08/03/2022), em sistemas irrigados e sequeiro, no ano agrícola de 21/22, no município de Rio Verde, região sudoeste do Estado de Goiás.....	135
TABELA 10	Medidas de produção e rentabilidade econômica da produção de soja e milho, semeados em duas épocas, em sistemas irrigados e sequeiro, no ano agrícola de 2021/22, no município de Rio Verde, região sudoeste do Estado de Goiás.....	135

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Exemplificação (A) e distribuição (B) dos blocos na área experimental adotado para o cultivo de soja (<i>Glycine Max</i>) safra.....	21
FIGURA 2	Balanço hídrico normal decendial em sistema de sequeiro para o município de Rio Verde-GO, no ano agrícola 2021/22, para primeira época de semeadura. Solar: Radiação solar média. Dados representados por médias decendiais.....	29
FIGURA 3	Balanço hídrico normal decendial em sistema de sequeiro para o município de Rio Verde-GO, no ano agrícola 2021/22, para segunda época de semeadura.....	30
FIGURA 4	Teste de uniformidade de irrigação na área experimental no município de Rio Verde-GO.....	32
FIGURA 5	Velocidade de infiltração de água no solo (VIB) e infiltração acumulada em função do intervalo acumulado do solo da área experimental no município de Rio Verde GO.....	33
FIGURA 6	População de plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	34
FIGURA 7	Índice de clorofila <i>a</i> realizado em duas épocas de avaliação (V ₃ -V ₄ , A e R ₂ -R ₃ , B) em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, 1 e 18/10/2021, 2) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	36
FIGURA 8	Índice de clorofila <i>b</i> realizado em duas épocas de avaliação (V ₃ -V ₄ , A e R ₂ -R ₃ , B) em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, 1 e 18/10/2021, 2) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	37
FIGURA 9	Razão entre clorofila (<i>a/b</i>) realizada em duas épocas de avaliação (V ₃ -V ₄ , A e R ₂ -R ₃ , B) em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, 1 e 18/10/2021, 2) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	38

FIGURA 10	Índice de clorofila total ($a+b$) realizado em duas épocas de avaliação (V_3-V_4 , A e R_2-R_3 , B) em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, 1 e 18/10/2021, 2) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	39
FIGURA 11	Potencial hídrico (Ψ_{w5}) realizado em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	41
FIGURA 12	Potencial hídrico (Ψ_{w12}) realizado em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	42
FIGURA 13	Taxa fotossintética realizada em duas épocas de avaliação (V_3-V_4 , A e R_2-R_3 , B) em plantas de soja cultivadas em duas épocas de plantio (25/09/2021, 1 e 18/10/2021, 2) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	43
FIGURA 14	Taxa transpiratória realizada em duas épocas de avaliação (V_3-V_4 , A e R_2-R_3 , B) em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, 1 e 18/10/2021, 2) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	45
FIGURA 15	Temperatura foliar realizada em duas épocas de avaliação (V_3-V_4 , A e R_2-R_3 , B) em trifólios do terço médio das plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, 1 e 18/10/2021, 2) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	47
FIGURA 16	Conteúdo relativo de água na folha realizado em duas épocas de avaliação (V_3-V_4 , A e R_2-R_3 , B) em folíolos do terço médio das plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, 1 e 18/10/2021, 2) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	48

FIGURA 17	Extravasamento de eletrólitos realizado em duas épocas de avaliação (V ₃ -V ₄ , A e R ₂ -R ₃ , B) em discos foliares coletados em folíolos do terço médio das plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, 1 e 18/10/2021, 2) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	50
FIGURA 18	Densidade de venação realizada em folíolos do terço médio das plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	51
FIGURA 19	Eficiência quântica do fotossistema II realizada em folíolos do terço médio das plantas de soja submetidos ao escuro por 30 min cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	52
FIGURA 20	Índice de desempenho fotossintético do fotossistema II realizado em folíolos do terço médio das plantas de soja submetidos ao escuro por 30 minutos cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	53
FIGURA 21	Taxa de transporte de elétrons realizada em folíolos do terço médio das plantas de soja submetidos ao escuro por 30 minutos cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	54
FIGURA 22	Altura de plantas realizada em duas épocas de avaliação (V ₃ -V ₄ , A e R ₂ -R ₃ , B) em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, 1 e 18/10/2021, 2) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	56
FIGURA 23	Área foliar realizada em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	57

FIGURA 24	Matéria seca de caule realizado em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	59
FIGURA 25	Matéria seca de folha realizado em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	59
FIGURA 26	Número de nós produtivos na haste principal realizado em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	60
FIGURA 27	Número de vagens realizado em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	61
FIGURA 28	Peso de mil grãos (g) realizado em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	62
FIGURA 29	Produtividade de grãos realizada em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	63
FIGURA 30	Utilização da semeadora adubadora de arrasto para abertura da linha de semeadura (a), distribuição dos fertilizantes e semeadura na linha realizada na forma manual (b) e exemplificação da distribuição dos tratamentos na área experimental (c).....	87
FIGURA 31	Balanço hídrico normal decendial em sistema de sequeiro para o município de Rio Verde-GO, no ano agrícola 2021/22, para a cultura do milho em semeadura tardia.....	92
FIGURA 32	População de plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22 sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	94
FIGURA 33	Conteúdo relativo de água realizado em duas épocas de avaliação (V ₃ -V ₄ , A, e R ₂ -R ₃ , B) em folhas do terço médio das plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	95

FIGURA 34	Extravasamento de eletrólitos realizado em duas épocas de avaliação (V ₃ -V ₄ , A, e R ₂ -R ₃ , B), em discos foliares, do terço médio das plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22 sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	96
FIGURA 35	Potencial hídrico (Ψ_{w5}) realizado em plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	97
FIGURA 36	Potencial hídrico (Ψ_{w12}) realizado em plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	97
FIGURA 37	Taxa fotossintética realizada em duas épocas de avaliação (V ₃ -V ₄ , A, e R ₂ -R ₃ , B) em plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	98
FIGURA 38	Taxa transpiratória realizada em duas épocas de avaliação (V ₃ -V ₄ , A, e R ₂ -R ₃ , B) em plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	99
FIGURA 39	Temperatura foliar realizada em duas épocas de avaliação (V ₃ -V ₄ , A, e R ₂ -R ₃ , B) em folhas do terço médio de plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	100
FIGURA 40	Altura de plantas realizada em duas épocas de avaliação (V ₃ -V ₄ , A e R ₂ -R ₃ , B) em plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	101
FIGURA 41	Área foliar (cm ²) realizada em plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	102
FIGURA 42	Matéria seca de parte aérea (g) realizada em plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	104

FIGURA 43	Número de espiga por planta realizado na cultura do milho cultivada em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	105
FIGURA 44	Número fileiras por espiga realizado em plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	106
FIGURA 45	Comprimento de espiga, em plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22 sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	107
FIGURA 46	Número de grãos por fileira realizado em espigas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	107
FIGURA 47	Diâmetro da espiga realizado em plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	108
FIGURA 48	Peso de mil grãos (g) realizado em plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	109
FIGURA 49	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) realizada em plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO.....	110
FIGURA 50	Exemplificação (A) e distribuição (B) dos blocos na área experimental adotado para o cultivo de soja (<i>Glycine Max</i>) safra.....	127

RESUMO GERAL

Com o aumento na demanda pelas culturas de soja e milho, faz-se necessária a busca de alternativas que possam alavancar as produtividades. Diante desse cenário, objetivou-se com este trabalho avaliar o desempenho da cultura de soja safra de verão e milho segunda safra, em diferentes datas de semeadura manejadas com e sem irrigação no município de Rio Verde, região sudoeste do Estado de Goiás. O experimento foi conduzido na Universidade de Rio Verde, em delineamento experimental inteiramente casualizado, a campo, em esquema fatorial 2 x 2 para a cultura da soja, sendo o primeiro fator duas épocas de semeadura 25/09/2021 e 18/10/2021, e o segundo duas condições hídricas 0 e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc). A cultura do milho segunda safra foi conduzida em delineamento inteiramente casualizado, consistindo em duas condições hídricas 0 e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc), semeadura de forma tardia, dia 08/03/2022, ambos cultivos em cinco repetições. Foi utilizado o sistema de irrigação via gotejamento superficial por gravidade, e avaliado para ambas as culturas, população de plantas, área foliar, altura de planta, peso médio de mil grãos, potencial hídrico da folha e conteúdo relativo de água, matéria seca de caule e folhas, temperatura foliar, trocas gasosas, extravasamento de eletrólitos, viabilidade econômica, produtividade de grãos e para a cultura da soja avaliou o índice de clorofila *a* e *b*, densidade de venação, fluorescência da clorofila *a*, número de nós produtivos na haste principal, e número de vagens por planta. Para a cultura do milho, foi determinado o diâmetro e comprimento da espiga sem palha, número de grãos por fileira, número de espigas por planta e o número de fileiras por espiga. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A utilização do sistema de irrigação para ambas as culturas permitiu melhor desempenho fisiológico e morfológico, trazendo um incremento significativo de 355,6 kg ha⁻¹ para a cultura da soja e 1331,4 kg ha⁻¹ para a cultura do milho. Além disso, a utilização da irrigação se demonstrou economicamente viável, podendo ser utilizada por produtores que almejam atingir elevadas produtividades, visto que a falta de água é o fator mais limitante para que ambas as culturas possam expressar seu máximo potencial produtivo. A época de semeadura antecipada permitiu a exposição da soja a condição de melhor distribuição espacial de precipitação ao longo do ciclo, trazendo um incremento significativo de 1.175,4 kg ha⁻¹ sob irrigação e 1.056,6 kg ha⁻¹ na condição de sequeiro.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura irrigada. Evapotranspiração. Irrigação localizada. Estresse hídrico. Viabilidade econômica. Produtividade de grãos.

GENERAL ABSTRACT

With the increase in demand for soybean and corn crops, it is necessary to search for alternatives that leverage productivity. Faced with this scenario, the objective of this work was to evaluate the performance of the summer soybean crop and second crop corn, at different sowing dates managed with and without irrigation in the municipality of Rio Verde, southwest region of the State of Goiás. The experiment was conducted at the University of Rio Verde, in a completely randomized experimental design. The experiment was conducted at the University of Rio Verde, in a completely randomized experimental design, in the field, in a 2 x 2 factorial scheme for the soybean crop, the first factor being two sowing seasons 25/09/2021 and 18/10/2021, and the second two water conditions 0 and 100% of crop evapotranspiration (ETc). The second crop corn crop was conducted in a completely randomized design, consisting of two water conditions 0 and 100% of crop evapotranspiration (ETc), sown late, on 03/08/2022, both crops in five replications. The irrigation system was used via surface drip by gravity, and evaluated for both crops, plant population, leaf area, plant height, average weight of a thousand grains, leaf water potential and relative water content, dry matter of stem and leaves, leaf temperature, gas exchange, electrolyte leakage, economic viability, grain yield and for the soybean crop evaluated the chlorophyll a and b index, venation density, chlorophyll a fluorescence, number of productive nodes on the main stem, and number of pods per plant. For the corn crop, the diameter and length of the ear without straw, number of grains per row, number of ears per plant and the number of rows per ear were determined. The obtained results were submitted to analysis of variance, and the means were compared by Tukey test at 5% probability. The use of the irrigation system for both crops allowed better physiological and morphological performance, bringing a significant increase of 355.6 kg ha⁻¹ for soybean and 1331.4 kg ha⁻¹ for corn. In addition, the use of irrigation proved to be economically viable and can be used by producers who aim to achieve high yields, since the lack of water is the most limiting factor for both crops to express their maximum productive potential. The early sowing season allowed the exposure of soybean to the condition of better spatial distribution of precipitation throughout the cycle, bringing a significant increase of 1,175.4 kg ha⁻¹ under irrigation and 1,056.6 kg ha⁻¹ in the rainfed condition.

KEYWORDS: Irrigated agriculture. Evapotranspiration. Localized irrigation. Water stress. Economic feasibility. Grain productivity.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A soja e o milho são duas culturas que apresentam grande destaque no cenário mundial de grãos, tornando-se *commodities* no Brasil, representando uns dos principais produtos da pauta de exportações (ROCHA et al., 2017; SANTOS et al., 2020). A área semeada de soja, no Brasil, na safra 21/22 alcançou 40.950,6 mil hectares, aumento de 4,5% em relação à safra 2020/21. Logo após a finalização da temporada de colheita da safra de soja 2021/22, a produção média total obtida foi de 124.047,8 mil toneladas, valor este 10,2% inferior a safra 2020/21, e a produtividade média alcançada foi de 3.029 kg ha⁻¹ (50,53 sc ha⁻¹), sendo marcado também por queda de 14,1% em relação à safra anterior (CONAB, 2022a).

Essa queda de produção, mesmo com o aumento expressivo da área cultivada, já esteve presente em três diferentes safras no Brasil, em que houve o atraso na semeadura da primeira safra proveniente da instabilidade pluviométrica enfrentada pelos agricultores em estágios iniciais de desenvolvimento da cultura da soja, o que atrasa a colheita da cultura e, conseqüentemente, a semeadura do milho segunda safra (LSPA, 2021).

Além da instabilidade pluviométrica enfrentada no início do período ideal de semeadura da cultura da soja ou no estabelecimento inicial da cultura em campo, a frequência e a intensidade do déficit hídrico são fatores extremamente importantes à limitação ou redução da produção agrícola mundial. Segundo Ortolani e Camargo (1987) sem considerar os efeitos extremos, esta limitação é responsável por 60 a 70% da variabilidade final da produção.

De uma forma histórica, para a região sudoeste do Estado de Goiás, quedas de produtividade em função da baixa disponibilidade hídrica é um problema típico e recorrente, assim como ocorreu na safra 2020/21. Segundo a CONAB (2021) em seu 5º levantamento, houve a presença de déficit hídrico durante a fase vegetativa da soja, e quando a cultura se encontrava em fase inicial, ocorreram replantios em locais de forma pontual, prejudicando o desenvolvimento de algumas cultivares, refletindo em uma queda de produtividade média, e no atraso da colheita da cultura de verão.

Na safra 2021/22 em Goiás, a ocorrência de precipitação, acima da normal climatológica em grande parte de todas as regiões produtoras, foi um fato atípico que propiciou melhor retenção de água no solo em relação às safras anteriores, favorecendo assim, a semeadura antecipada, elevando os percentuais de semeadura da soja em níveis acima da média histórica, gerando uma maior expectativa de colheita para o mês de janeiro. Porém,

dias nublados e chuvosos, no início do desenvolvimento da cultura, fizeram com que o ciclo se alongasse, e o que estava previsto de colheita para o mês de janeiro, de 15% não passou de 8%, tomando forças apenas a partir da segunda quinzena de fevereiro, deixando a semeadura do milho segunda safra fora da época ideal (CONAB, 2022b).

Além disso, segundo a CONAB (2022) em seu 11º levantamento, a drástica redução das precipitações na Região Sul e no Mato Grosso do Sul, durante o desenvolvimento da cultura, foi determinante para a redução da produtividade nessas regiões, afetando negativamente a produção de soja em escala nacional.

O desempenho de milho implantado na segunda safra é dependente principalmente da época de semeadura, que deve ser realizada imediatamente após a colheita da cultura de verão, na época ideal de semeadura, para um maior período de aproveitamento hídrico, pois quanto mais tardia for, menor será o potencial produtivo e maior risco de perdas em produtividade (SIMÃO et al., 2018).

Segundo a CONAB (2021) no 10º levantamento, grande parte das lavouras que receberam o milho, segunda safra no Estado de Goiás no ano de 2021, foram semeadas fora da época ideal devido ao atraso da colheita da soja. Além disso, o milho ficou sob condição de forte déficit hídrico, desde a fase vegetativa até enchimento de grãos, o que impactou diretamente nos componentes de produção da cultura e na produtividade.

No ano de 2022, a maioria dos estados conseguiu realizar a semeadura na época ideal para o desenvolvimento do milho safrinha, porém, em Minas Gerais e Goiás, as perspectivas de aumento da produtividade diminuíram, gerando preocupação devido à redução das precipitações após a primeira quinzena de março e a semeadura de uma parte das áreas fora da época ideal, deixando a cultura sob maior restrição, aliada a geadas, baixas umidades e temperaturas, afetando a polinização e enchimento de grãos, gerando grãos com menor peso e com baixo padrão de qualidade e uniformidade (CONAB, 2022c).

A presença de déficit hídrico sob as culturas desencadeia uma série de adaptações fisiológicas que implicam em efeitos deletérios tais como: redução na condutância estomática (CORNIC, 2000), no teor de clorofila (ZHOU et al., 2015), oxidação de proteínas (FU e HUANG, 2001) e lipídeos da membrana pelo incremento de espécies reativas de oxigênio (GHOBADI; FARSIANI; HOARMAND, 2011), além do decréscimo da taxa fotossintética líquida (LI et al., 2015), afetando a produtividade das culturas.

O fechamento estomático é o principal mecanismo que identifica restrição de água no solo, que tem como função regular a redução das perdas de água da planta para atmosfera.

Além disso, Gonçalves (2017) descreve que o fechamento estomático também é a principal causa da diminuição da fotossíntese devido à redução das taxas de assimilação de carbono.

Diante disso, Gonçalves (2017) cita ainda diversas modificações das culturas relacionadas à arquitetura das plantas (redução da área foliar, limitação do crescimento da parte aérea e radicular, comprometimento da biomassa, redução das células parenquimáticas, e da lâmina foliar, aumento do tecido vascular e espessura da parede celular) que são ocasionadas devido ao estresse hídrico.

Dessa forma, levando em consideração o aumento na demanda por alimentos, a instabilidade pluviométrica enfrentada no início da safra de uma forma histórica, e a frequência de veranicos de forma longa e intensa, a utilização de água no contexto agrícola e o comportamento fisiológico da planta se torna indispensável para assegurar a produtividade das culturas agrícolas (KIRSANOVA et al., 2013).

Nesse contexto, a realização deste projeto propiciou em contribuição para a região, ao fornecer informações sobre os efeitos do déficit hídrico no desempenho e na produtividade das culturas de soja e milho. Adicionalmente, apresenta dados sobre a viabilidade da implementação de um sistema de irrigação no município, subsidiando estratégias para que a cultura não fique vulnerável ao período de estiagem, buscando alternativas como a antecipação da semeadura aliada ou não à irrigação, para viabilização da sucessão de culturas da soja com o milho segunda safra.

Portanto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o desempenho da cultura de soja safra, e milho segunda safra, em diferentes datas de semeadura sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde, região sudoeste do Estado de Goiás.

CAPÍTULO I

DESEMPENHO DE SOJA EM DUAS ÉPOCAS DE SEMEADURA MANEJADA COM E SEM IRRIGAÇÃO

RESUMO

Com a sazonalidade no comportamento do clima que ocorre nas regiões produtoras do Brasil principalmente na variação temporal e espacial das chuvas durante todo o estágio fenológico da cultura, o uso de irrigação pode se tornar uma alternativa para assegurar bons rendimentos, atingindo o máximo potencial produtivo da cultura. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho da cultura da soja, em duas épocas de semeadura manejada com e sem irrigação no município de Rio Verde, região sudoeste do Estado de Goiás. O trabalho foi conduzido a campo, utilizando o delineamento experimental inteiramente casualizado, a campo, em esquema fatorial 2 x 2, sendo o primeiro fator duas épocas de semeadura (25/09/2021 e 18/10/2021) e o segundo duas condições hídricas 0 e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc), em cinco repetições. Foi utilizado o sistema de irrigação via gotejamento superficial por gravidade. Foi avaliada a população de plantas, área foliar, altura de planta, peso médio de mil grãos, clorofila *a* e *b*, potencial hídrico da folha, conteúdo relativo de água, matéria seca de caule e folhas, densidade de venação, temperatura foliar, trocas gasosas, extravasamento de eletrólitos, fluorescência da clorofila *a*, número de nós e vagens por planta e produtividade de grãos. Os resultados foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A utilização da irrigação na semeadura antecipada permitiu maior desenvolvimento morfofisiológico da cultura em relação ao sistema de sequeiro. Na segunda época de semeadura, não houve incremento significativo de produtividade com a utilização da irrigação e o desempenho produtivo na cultura foi significativamente superior quando semeada de forma antecipada com a utilização da irrigação.

PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max*. Antecipação da semeadura. Gotejo. Déficit hídrico. Produtividade de grãos.

SOYBEAN PERFORMANCE IN TWO SEEDING SEASONS MANAGED WITH AND WITHOUT IRRIGATION

ABSTRACT

With the seasonality in the behavior of the climate that occurs in the producing regions of Brazil, mainly in the temporal and spatial variation of rainfall throughout the phenological stage of the crop, the use of irrigation can become an alternative to ensure good yields, reaching the maximum productive potential of the crop. In this context, the objective of this work was to evaluate the performance of the soybean crop, in two sowing seasons managed with and without irrigation in the municipality of Rio Verde, southwest region of the State of Goiás. The work was conducted in the field, using the completely randomized experimental design, in a 2 x 2 factorial scheme, the first factor being two sowing seasons (25/09/2021 and 18/10/2021) and the second two water conditions 0 and 100% of crop evapotranspiration (ETc), in five replications. The irrigation system was used via surface drip by gravity. Plant population, leaf area, plant height, average weight of a thousand grains, chlorophyll a and b, leaf water potential, relative water content, dry matter of stem and leaves, venation density, leaf temperature, gas exchange, electrolyte leakage, chlorophyll a fluorescence, number of nodes and pods per plant and grain yield were evaluated. The results were submitted to analysis of variance, and the means were compared by Tukey test at 5% probability. The use of irrigation in early sowing allowed greater morphophysiological development of the crop compared to the rainfed system. In the second sowing season, there was no significant increase in productivity with the use of irrigation and the productive performance in the crop was significantly higher when sown early with the use of irrigation.

KEYWORDS: *Glycine max.* Anticipation of sowing. Drip irrigation. Water deficit. Increased yield.

1 INTRODUÇÃO

A soja é considerada a cultura agrícola mais importante produzida no Brasil (HIRAKURI, 2014). Com as mudanças climáticas, a produção de grãos oriundos da soja pode ser totalmente afetada. Segundo a Embrapa (2023), o impacto da seca na safra 21/22 foi calculado em R\$ 72 bilhões, com perdas severas principalmente no Rio Grande do Sul, Mato Grosso do Sul, Santa Catarina e Paraná, devido à atuação do fenômeno La Niña nesse período.

Para que ocorra o sucesso da cultura da soja, a disponibilidade hídrica é um fator fundamental, visto que as plantas apresentam uma elevada demanda de água para se manterem fisiologicamente ativas, podendo alcançar um consumo de 8 mm de água por dia na fase reprodutiva (SENTELHAS et al., 2015). A cultura possui fases em que é exigida uma menor necessidade hídrica, porém déficits expressivos independente da fase fenológica pode acarretar danos fisiológicos. Estudos realizados por Rohrig (2021) demonstrou que de 20 safras estudadas, 9 foram marcadas pela ocorrência de déficit hídricos nos períodos mais críticos da cultura, acarretando redução da produtividade da soja originada pela baixa disponibilidade hídrica.

Com isso, o uso da irrigação pode solucionar parcialmente ou totalmente o efeito do déficit hídrico, e com a escolha da época de plantio mais adequada, outras adversidades como temperatura e luminosidade também podem ser amenizadas (HILDEBRANDO, 2021).

As condições climáticas propiciam o desempenho da cultura, elevando, estabilizando e/ou reduzindo a produtividade. A escolha da época ideal para o cultivo da soja irá propiciar a adequada temperatura, fotoperíodo e radiação solar disponíveis para a cultura (POPP et al., 2002), além da disponibilidade hídrica. De certo modo, para o município de Rio Verde, a época de semeadura indicada para cultivares de aproximadamente 110 dias, estende-se de 20/10 a 20/11, já para cultivares de 120 dias, essa faixa é mais ampla, variando de 10/10 a 20/11 (SOARES et al., 2021), semeaduras realizadas no período anterior a 15 de outubro são consideradas como antecipadas (EMBRAPA, 2003). Nesse sentido, CRUZ et al. (2010) observou que o retardamento na semeadura da soja para épocas mais tardias proporciona produtividade baixa em relação à semeadura realizada em épocas mais antecipadas.

A soja é muito sensível à temperatura e ao fotoperíodo, fatores que são influenciados pela época de semeadura, o comprimento do dia e o período da ausência de luz influenciam diretamente no número de plantas durante a germinação, a taxa de desenvolvimento, bem

como a estatura das plantas e o número de primórdios reprodutivos, podendo assim, o adiantamento ou retardamento da semeadura alterar o fotoperíodo que influenciará no tempo compreendido entre a emergência das plântulas e início do florescimento, e conseqüentemente no ciclo da cultura (HILDEBRANDO, 2021).

Diante dos relatos mencionados, é de extrema importância a geração de informações sobre o desempenho fenológico da cultura e na produtividade de diferentes datas de semeadura, sobre os efeitos do déficit hídrico, pois trarão estratégias para que a produção não fique vulnerável ao período de estiagem, buscando elevada produtividade e estabilização da produção.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho da cultura de soja safra em duas épocas de semeadura com e sem irrigação no município de Rio Verde-GO.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar a produtividade de soja em duas épocas de semeadura com e sem irrigação e os efeitos do estresse hídrico nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura (estágio vegetativo e reprodutivo).

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Origem, botânica e introdução da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no Brasil

Os primeiros registros citados do grão estão situados entre 2.883 e 2.838 a.C no livro “Pen Ts’ao Kong Um”, onde este era considerado um grão sagrado, ao lado do arroz, do trigo, da cevada e do milheto. Sua evolução se deu pelo aparecimento de plantas oriundas de

cruzamentos naturais entre duas espécies de soja selvagem com aspecto rasteiro, que se desenvolviam na região da costa leste da Ásia, principalmente, ao redor do rio Yangtse, que posteriormente foram domésticas e melhoradas por cientistas da antiga China (EMBRAPA, 2022).

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivada, no Brasil, é uma planta C3, herbácea da classe Rosidae, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Papilionoideae, tribo Phaseoleae, gênero *Glycine* L. espécie *max* (TRACE, 2020). É uma planta que apresenta grande variabilidade genética, tanto no ciclo vegetativo (período compreendido da emergência da plântula até a abertura das primeiras flores), como no reprodutivo (período do início da floração até o fim do ciclo da cultura). As flores são brancas ou roxas e podem medir cerca de 3 a 8 mm de diâmetro. O início da floração varia conforme a variedade. Normalmente ocorre quando a planta apresenta de 10 até 12 folhas trifolioladas e os botões axilares mostram ráncemos com 2 até 35 flores cada um (FIORESE, 2013).

O cultivo da soja apresentava uma restrição apenas para a região Sul do Brasil, região essa onde a cultura possuía adaptação. Cultivares adaptadas às condições de baixas latitudes, especialmente, para a região Centro-Oeste do Brasil, permitiram a possibilidade de alavancar a produção de soja no país. Isso ocorreu só após a descoberta de genes que controlam a característica do período juvenil longo da cultura, retardando assim o florescimento da soja sob condições de dias curtos, e assim, gerando uma maior expansão da cultura para as demais regiões do Brasil (HARTWIG e KIIHL, 1979; KIIHL et al., 1985). Com essa descoberta, foi possível a quebra de paradigma em escala global, pois antes, nunca havia sido possível esse cultivo de soja com sucesso em regiões tropicais (GAZZONI, 2018).

Segundo Farias, Nepomuceno e Neumaier (2007) suas principais variedades comerciais apresentam caule hispido, com pouca ramificação, e raízes pivotantes com muitas ramificações. Possuem folhas trifolioladas, exceto o seu primeiro par de folhas simples, em seu nó acima do nó cotiledonar. Possuem flores de fecundação autógama, típicas da subfamília Papilionoideae. A cultura possui desenvolvimento de vagens (legumes) levemente arqueados que, à medida que se amadurece, muda-se da cor verde para amarelo-pálido, marrom-claro, marrom ou cinza, podendo conter uma a cinco sementes lisas, elípticas ou globosas, com o tegumento de coloração amarelo-pálido, de hilo preto, marrom ou amarelo-palha.

As cultivares de soja utilizadas, podem apresentar três tipos de crescimento:

- Determinado: a planta tem sua emissão de novos nós cessados após o florescimento. Pode aumentar de tamanho devido ao alongamento dos espaços entre os nós. As flores têm

início no terço médio superior e as últimas no terço inferior do caule. Apresenta vagens auxiliares e no nó terminal. E normalmente, as folhas do ápice são sementes em tamanho das folhas do terço inferior.

- Indeterminado: até o início do florescimento apenas metade da estatura final das plantas vem a ser atingida, portanto, após esse estágio, a planta ainda apresenta crescimento, podendo dobrar seu porte até a maturação. O florescimento ocorre de uma forma escalonada, do terço inferior para o terço superior, podendo conter vagens já bem desenvolvidas na base, e ao mesmo tempo, flores no topo da planta. A planta apresenta crescimento ativo mesmo durante o florescimento, formação das vagens e enchimento de grãos e apresenta no terço superior da planta flores menores que as inferiores e seu nó terminal apresenta poucas vagens.

- Semideterminado ou semi-indeterminado: a planta possui características “intermediárias” aos crescimentos determinado e indeterminado, por exemplo, na classificação desenvolvida por Thseng e Hosokawa (1972) mostrou que o tipo determinado não tem um aumento no número de nós no caule após o florescimento, já o tipo semideterminado ou semi-indeterminado o aumento do número de nós no caule após o início do florescimento é igual ou menor que o número total de nós atingido até o início do florescimento, uma vez que o tipo indeterminado o aumento do número de nós no caule depois do florescimento é maior que o número de nó atingido até o início do florescimento. Outro parâmetro utilizado pelos autores para diferenciar os tipos de crescimento é o período de florescimento do caule, podendo ser classificado como determinado, plantas com florescimento do caule inferior a 15 dias, semi-indeterminado entre 15 e 35 dias, e indeterminado acima de 35 dias.

Portanto, devido à capacidade da planta em aumentar os espaços entre nós sem a origem de novos nós, fez com que seus obtentores lançassem no mercado genótipos do tipo semideterminado ou semi-indeterminado como determinado (THOMAS, 2018).

3.2 Cultivo de soja no Brasil

A soja devido a sua composição química originada através de seu grão de alto valor nutritivo, torna-se um dos principais cultivos da agricultura mundial e brasileira. Essas características conferem multiplicidade de aplicações como na alimentação humana e animal. Apresenta um relevante papel socioeconômico devido a seu elevado potencial produtivo em diferentes regiões, além de se constituir em matéria-prima indispensável para impulsionar

diversos cenários agroindustriais como as indústrias de fertilizantes, sementes, agrotóxicos e máquinas agrícolas (MAUAD et al., 2010).

O Brasil destaca-se como o maior produtor de soja do mundo, com uma área total cultivada de 41.452,0 milhões de hectares, sendo essa, 5% superior que a safra 2020/21, com uma produção recorde de 125.552,3 milhões de toneladas, representando um aumento de 10% sob a safra anterior, e produtividade 14% menor que a do ano anterior, alcançando 3.029 kg ha⁻¹, essa redução da produtividade ocorreu devido à grande influência dos fenômenos La Niña na Região Sul, São Paulo e em Mato Grosso do Sul, que contribuíram para redução da produtividade em escala mundial (CONAB, 2022c).

Diante disso, o Estado do Rio Grande do Sul que era responsável por colher 20,7 milhões de toneladas na safra 20/21 não passou de 9,1 milhões, representando uma queda de 56%, deixando a segunda maior posição e passando a ocupar a quarta posição entre os maiores produtores de grãos. Os maiores Estados produtores do grão atualmente é o Mato Grosso, Goiás, Paraná e Rio Grande do Sul que representam cerca de 62% da produção de soja no Brasil. O estado do Mato Grosso e Goiás vieram a ser responsáveis por cerca de 46% da produção na safra 21/22 atingindo uma produção de 40,7 e 16 milhões de toneladas, respectivamente (CANAL RURAL, 2022).

3.3 Antecipação da semeadura da soja

Levando em consideração que a cultura da soja é influenciada por diversos fatores ao longo de seu ciclo, é relevante destacar a variável época de semeadura, que é a variável que apresenta uma grande interferência no desenvolvimento e rendimento produtivo da cultura (PEIXOTO et al., 2000; BARROS et al., 2003; GUIMARÃES et al., 2008). Após semeadas em diferentes épocas, cada cultivar expressa seu potencial genético em relação às condições ambientais presentes, que mudam em função do espaço e do tempo (BARROS et al., 2003; PELÚZIO et al., 2006).

Em um trabalho realizado por Stülp et al. (2009) com o objetivo de avaliar o efeito da antecipação da semeadura da soja (15/09, 30/09, 15/10, 30/10 e 15/11), nas características agrônômicas e na produtividade de três diferentes cultivares precoces (CD 202, CD 215 e CD 216), em dois diferentes anos agrícolas (2003/04 e 2004/05), foi observado que a semeadura preferencial (novembro), utilizada pelos produtores da região do oeste do Paraná, é desfavorável para altas produtividades, enquanto que a semeadura realizada no final do mês de setembro e no início do mês de outubro para as três cultivares apresentaram maiores

produtividades, sendo assim, uma alternativa viável para região, visto que o mesmo pode ainda viabilizar a sucessão para implementação do “milho safrinha”.

Strieder et al. (2016) citam que antecipar a semeadura da soja pode resultar em redução ou aumento da produtividade de grãos, esse fato vai depender, principalmente, da cultivar e período de antecipação. Portanto, em seu trabalho foi observado que apenas em regiões de elevada altitude a antecipação da semeadura proporcionou aumento de produtividade. Visto que também viabiliza o cultivo do milho safrinha.

Em estudos realizados por Fietz e Rangel (2008) com objetivo de definir a época mais adequada de semeadura da soja para a região de Dourados, Mato Grosso do Sul, mostraram que, de forma geral, as semeaduras da soja em novembro e dezembro são as mais favoráveis para a região. Quando a semeadura é realizada em outubro, das 20 safras analisadas, 18 apresentaram elevado déficit hídrico ao longo de todo o ciclo da cultura. Resultados esses que confirmam que a irrigação na cultura da soja, em caráter complementar, é tecnicamente justificada, devido aos altos índices de deficiência hídrica presentes na safra de verão, podendo antecipar a semeadura da soja, respeitando o vazio sanitário, viabilizando a sucessão soja safra e milho segunda safra.

Nakagawa, Rosolem e Machado (1983) em Botucatu, São Paulo, observaram que o mês de novembro, de maneira geral, tem proporcionado os melhores resultados, sendo o fator época de semeadura a variável que pode afetar diretamente os componentes de produção, tais como: o número de plantas m^{-2} , vagens m^{-2} , número de sementes m^{-2} e peso da semente, vindo a ressaltar esse efeito de redução de produtividade final com a antecipação da semeadura.

3.4 Disponibilidade hídrica

A disponibilidade hídrica é considerada o fator climático de maior efeito sobre a produtividade agrícola (LAWLOR e UPRETY, 1993). A água no solo, estende-se por todo o tecido vegetal, vindo a passar por perdas geradas através da demanda evaporativa da atmosfera, ocasionando uma necessidade contínua de reposição de água perdida que se estende desde as folhas até as extremidades das raízes, passando pelo xilema (FERRARI, PAZ e SILVA, 2015).

Quando a cultura está sob déficit hídrico, ou seja, falta de água acessível à planta que está diretamente ligado à quantidade e distribuição das chuvas e à capacidade do solo em reter água, o “continuum” de água do sistema solo-planta-atmosfera, que passa através da parede celular e no interior das células da planta acaba sendo interrompido e a capacidade desse

sistema em suprir a água necessária para estabelecer o turgor celular confere no sistema determinante da abertura estomática e crescimento celular vem a ser prejudicado, resultando em modificações fisiológicas, químicas e bioquímicas nas plantas (MELO et al., 2007).

Para a cultura da soja o fator de disponibilidade hídrica no solo é extremamente importante em dois períodos de desenvolvimento da cultura: germinação-emergência e durante a floração-enchimento de grãos, no qual, o primeiro período, a sensibilidade da variação desse fator aumenta, sendo tanto o excesso quanto o déficit hídrico prejudiciais, afetando diretamente a uniformidade na população de plantas, já durante o segundo período, momento esse marcado pela maior exigência hídrica da cultura, os déficits hídricos expressivos provocam uma série de alterações fisiológicas na planta, causando quedas prematuras de folhas, flores e abortamento de vagens, resultando em quedas de produtividade, podendo atingir de 80 a 100% (FLUMIGNAN; ALMEIDA e GARCIA, 2015).

Pelo fato da cultura ser constituída por cerca de 90% de água, sua demanda varia em torno de 450 a 800 mm ciclo⁻¹, sua necessidade hídrica aumenta na medida em que ocorre o desenvolvimento da planta, atingindo a máxima exigência durante a floração-enchimento de grãos, porém, seu consumo diário varia conforme as características da cultivar, do manejo e da demanda evaporativa da atmosfera, o que confere na variação conforme as condições climáticas de cada região, variando também em função do ano e de sua época de semeadura utilizada na mesma região (EMBRAPA, 2011). Sentelhas et al. (2015) citam que a soja vem a ser relativamente tolerante ao déficit hídrico na sua fase vegetativa, mas ressalta também que é muito sensível ao estresse durante a formação dos componentes de rendimentos, ou seja, floração-enchimento de grãos.

O impacto do déficit hídrico na produtividade da cultura da soja depende da intensidade, sensibilidade da cultivar, duração e época de ocorrência. Na fase vegetativa, as plantas são pouco desenvolvidas, apresentam folhas pequenas, entrenós curtos e baixo porte de planta. Os tecidos apresentam características de murchos e os folíolos tendem a “fechar” diminuindo assim a área foliar exposta, evitando a perda de água para atmosfera. Durante o estágio reprodutivo, é visível a queda prematura de flores, abortamento de vagens e “chochamento” de grãos interferindo diretamente no número de vagens e no aparecimento de vagens vazias. A seca, além de diminuir a taxa de acúmulo de matéria seca nos grãos, traz também a antecipação da maturação fisiológica e diminui também o tamanho dos grãos (EMBRAPA, 2020).

Então para que a cultura apresente um bom desempenho produtivo, chuvas ao longo do ciclo, principalmente durante as fases mais críticas, mantendo uma adequada distribuição

espacial e temporal vem a ser de extrema importância para assegurar o desempenho da cultura. Diante disso, o interesse pelo uso do sistema de irrigação tem sido cada vez maior, visto que historicamente, os “veranicos” e as estiagens, são os eventos climáticos responsáveis pela perda em produtividade, pois a sua presença durante a fase de maior exigência hídrica da cultura, ou seja, floração-enchimento de grãos vem se tornando cada vez mais presente com o passar dos anos (SISTEMAS DE PRODUÇÃO 17, 2020).

3.5 Sistemas de irrigação

Com o aumento da população mundial, espera-se para 2050 mais de 9 bilhões de habitantes. Diante disso, o aumento da demanda de alimentos se tornará ainda maior. Nesse cenário, estima-se que 50% desses alimentos terão origem de áreas com o cultivo irrigado (ALEXANDRATOS e BRUINSMA, 2012).

Visto que também para Christofidis (2013), a produtividade global em áreas irrigadas é 270% maior que em áreas tradicionais de sequeiro. Porém, a modernização dos sistemas de irrigação, no Brasil, possibilita ainda um aumento de produtividade em torno de 350%, trazendo retorno econômico de sete a oito vezes maior que na agricultura de sequeiro.

Diante disso, o suprimento adequado de água durante o desenvolvimento fenológico das culturas é um fator preponderante para que se atinja elevadas produtividades, como apresentado por Flumignan, Almeida e Garcia (2015), em que através da simulação de 11 diferentes safras de soja na região sul do Mato Grosso do Sul, utilizando dados de 2001 a 2013, concluíram que de fato há a necessidade de complementação com irrigação para que seja atendida a demanda hídrica da cultura, mesmo em safras com quantidade e chuvas adequadas, citam também que, com a semeadura antecipada da soja, poderia ocorrer a redução dos custos de produção com o manejo fitossanitário, além de favorecer o cultivo do milho em sucessão, em que seria semeado na janela de plantio mais favorável.

Portanto, em campo, para que o produtor consiga implementar um sistema de irrigação em sua propriedade, alavancando a produção, deve-se analisar perfeitamente se a limitação maior é o déficit hídrico, pois, caso hajam outras limitações, como a temperatura, altitude e fertilidade do solo, a irrigação de fato não viabilizará o cultivo.

Para que seja feita a escolha adequada dos diversos tipos de sistema de irrigação, deve-se analisar o tamanho da área a ser irrigada, tipo de solo, topografia, clima, cultura, custo do equipamento, energia, quantidade de água disponível, análise técnico-econômica, mão de obra e etc. (BRAGA, 2010). Não existindo, portanto, um melhor sistema de irrigação,

mas sim, aquele que melhor se adequa às variáveis a serem analisadas para escolha do sistema (BERNARDO, SOARES e MANTOVANI, 2008), de forma que disponibilize recursos hídricos de acordo com necessidade da cultura, na quantidade requerida e no momento oportuno.

Segundo Frizzone (2012), existem quatro métodos de irrigação, podendo ser via: aspersão, localizada, superfície e subterrânea. Na agricultura familiar, que possuem áreas menores, os sistemas mais utilizados na cultura do milho são via aspersão e/ou o sistema por gotejamento devido sua grande flexibilidade em acompanhar as variáveis descritas para a escolha do sistema de irrigação (ALBUQUERQUE, 2014).

No sistema de gotejamento, a água é aplicada de forma pontual na superfície do solo. Os gotejadores são instalados sobre a linha, em sua extensão total. Estudos realizados mostram que a vazão dos gotejadores geralmente é inferior a 12 L h⁻¹. O sistema de gotejamento apresenta vantagem, quando se comparado aos demais sistemas, pois a água é aplicada diretamente na superfície do solo, ou seja, não entra em contato com a parte aérea da cultura, já em relação ao subsuperficial sua vantagem é que o sistema de gotejo permite a medição de vazão exata dos gotejadores e a avaliação de sua área molhada.

Devido o sistema de gotejo ficar de forma externa, ou seja, na superfície do solo, acaba apresentando algumas desvantagens, tais como, entupimentos, que é resolvido com o uso de filtros, e o ato de desenterrar as mangueiras gotejadoras quando houver elevadas precipitações, evitando assim o entupimento. Além disso, Segundo Andrade e Brito (2007) o sistema deve ser instalado em superfícies planas ou niveladas a um limite de 1% e, geralmente, deve ter taxa de infiltração inferior a 60 mm h⁻¹.

3.6 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação consiste no fornecimento de água no sistema solo-planta, via solo ou clima (OLIVEIRA, MIKAELA e REIS, 2019). Com o objetivo de disponibilizar água suficiente para as plantas, o manejo deve ser realizado, prevenindo estresse hídrico, promovendo aumento de produtividade e qualidade da produção, tornando mínima a perda de água, a lixiviação de nutrientes e a degradação do meio ambiente (ALBUQUERQUE e ANDRADE, 2001).

Para Santos et al. (2017) a irrigação é a forma mais eficaz para alavancar e assegurar a produção de alimentos, podendo atingir o triplo da produtividade, comparando-se com a agricultura de sequeiro. A agricultura irrigada ocupa aproximadamente 17% de toda a terra

agricultável no mundo e corresponde a 40% de toda produção de alimento consumido (RODRIGUES e DOMINGUES 2017).

Vista no passado apenas como uma técnica de aplicação de água para suprir o período seco do ano, a agricultura irrigada acabou tomando grande foco do agronegócio, exigindo um manejo eficiente para que não haja escassez do regime hídrico (OLIVEIRA, MIKAELA e REIS, 2019).

Quando realizado o manejo adequado do sistema de irrigação, ele proporciona maior eficiência no uso da água, que propicia o aumento da produtividade e diminuição dos custos de produção. No meio rural, a irrigação é a variável responsável pela maior parte do consumo de água e energia elétrica, pois muitas das vezes, parte dessa energia utilizada na irrigação é perdida em razão das perdas de água, devido ao manejo inadequado. O produtor, por não adotar uma estratégia de manejo eficiente, irriga sempre em excesso, temeroso para que a cultura não sofra déficit hídrico, aumentando o consumo de água e, conseqüentemente, o custo de produção (MOREIRA, 2010).

Com o uso excessivo de água, o produtor terá altos gastos com energia elétrica devido ao bombeamento desnecessário de água, fazendo com que ocorra a saturação do solo, impedindo a aeração, ocasionando lixiviação de nutrientes, salinização, ou até mesmo ocasionar a eutrofização, prejudicando os mananciais hídricos (RESENDE e ALBUQUERQUE, 2002; MOREIRA, 2010 e CORREIA, ROCHA e RISSINO, 2016).

Para que o manejo seja feito de maneira correta, deve-se conhecer alguns conceitos necessários para programar e manejar a irrigação de forma adequada, como no fornecimento de água “via clima”, que exige o conhecimento dos conceitos da evapotranspiração da cultura (ET_c), que pode ser obtida através da multiplicação da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo coeficiente da cultura (k_c) que varia conforme o tipo da cultura e seu estágio de desenvolvimento, dando origem a real necessidade hídrica da cultura expressada em milímetros por dia (mm dia⁻¹) (CARVALHO et al., 2011). Esses indicadores estão relacionados a aspectos ambientais e fisiológicos das plantas, devendo ser realizada de forma individual para as determinadas condições onde será realizado o manejo (MEDEIROS, ARRUDA e SAKAI, 2004). A evapotranspiração de referência (ET_o), é obtida através da transpiração da grama batatais ou cultura hipotética em pleno crescimento, sem deficiência de água, e a evaporação de água do solo (ALBUQUERQUE e RESENDE, 2002).

No meio rural, pode-se utilizar também outras medidas evaporativas, tais como a medição da evaporação em tanques Classe A, taxa de transpiração das plantas, abertura estomática, entre outros parâmetros, que fornecem dados para calcular a real necessidade

hídrica de uma cultura (MOREIRA, 2010). Portanto, devido à superfície do solo estar exposta em seus estágios iniciais, a perda de água se dá basicamente pela evaporação. Com o decorrer do ciclo das plantas, a cultura cria parte aérea e faz com que a evaporação da água do solo diminua, aumentando, assim, a transpiração e a evaporação (MONTEIRO, 2009).

No manejo “via solo”, é necessário o conhecimento da umidade do solo na capacidade de campo, no ponto de murcha permanente e no ponto de umidade crítica para determinada cultura, dados esses que podem ser obtidos a partir da curva de retenção de água no solo (FRIZZONE et al., 2012). A diferença entre a umidade na capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, corresponde à disponibilidade total de água (DTA) no solo (SOUSA et al., 2004). Entretanto, para a realização de uma nova irrigação, não se deve esperar que a planta absorva toda a DTA, pois à medida que ocorre a perda de água via evaporação e transpiração das plantas, ocorre um aumento na dificuldade das plantas em absorver água, deixando assim um baixo valor de umidade no solo, que proporciona o déficit hídrico à cultura, sendo denominado como umidade crítica, que varia conforme as características do solo e a cultura. Essa variação que existe entre a umidade na capacidade de campo e a crítica, pode ser representada por um fator de reposição, denominado como f , em relação a DTA do solo. O fator f (%), fator de disponibilidade de água no solo, apresenta o quanto de água pode ser retirado da DTA do solo, para que então de fato ocorra a irrigação com objetivo de repor a água perdida ou absorvida pelas plantas, fator esse que possibilita a reposição hídrica sem que ocorra o déficit hídrico à cultura (SOUSA et al., 2004).

Alguns instrumentos podem ser utilizados para maior precisão do manejo da irrigação como tensiômetros (RICHARD e GARDNER, 1936), blocos de gesso (BOUYOUCOS E MICKS, 1947), sensores térmicos (SHAW e BAVER, 1939) e psicrômetros (RICHARDS e OGATA, 1958). Desses instrumentos, o tensiômetro tem sido um dos mais comercializados sendo inclusive aplicados em esquemas de automação para o acionamento de sistemas de irrigação (PHENE, 1986).

De modo geral, o seu funcionamento é simples, quando o solo estiver saturado, nenhuma água passará pela porcelana e não haverá vácuo. À medida que o solo passa a perder água, a mesma passa a sair do tensiômetro pela capsula porosa, criando um vácuo no interior do tubo, sendo ele equivalente à tensão de água retida no solo. A intensidade desse vácuo será expressa no manômetro conectado ao tensiômetro. Porém, para que se tenha um bom funcionamento, o mesmo deve ser instalado na zona de absorção do sistema radicular da planta, sendo no caso para culturas anuais a instalação nas profundidades de 10, 20 e 30 cm (SILVA et al., 1999).

Moreira (2010) cita também que para um melhor manejo, a irrigação no dia da sementeira deve ser realizada como principal objetivo de irrigar o solo em uma determinada profundidade, até a capacidade de campo. Com a semente já no solo, demandará umidade para dar início ao seu processo germinativo, após os seus gastos de reserva energética o cotilédone deve romper uma camada superficial do solo para encontrar radiação solar, portanto, manter o solo úmido após a sementeira, é de extrema importância. Devido nessa fase não ter praticamente nada na superfície do solo, essa perda de água se dá pela evaporação em superfície.

Isso faz com que os ambos os métodos venham depender da variável capacidade de água disponível (CAD), que teoricamente, define a lâmina máxima bruta de água que poderá ser armazenada no solo e utilizada pelas plantas. Sendo a mesma estar totalmente relacionada a profundidade efetiva do sistema radicular e textura do solo (SILVA e NEVES, 2020).

Além disso, conhecer vazão e a taxa de infiltração de água no solo que podem variar conforme a sua classe textural é essencial para o manejo, pois, esse fator indica como a lâmina aplicada, via irrigação, se comporta em relação ao tempo que a água demora para infiltrar no solo, conhecer essa variável além de ajudar para determinar o tempo de irrigação, será importante na condução e definição de técnicas relacionadas à conservação do solo (SENAR, 2019).

Diante disso, a uniformidade de distribuição do sistema de irrigação apresenta também elevada influência no manejo, sendo que, uma baixa uniformidade de distribuição de água faz com que determinadas plantas recebam mais água e até mesmo adubo do que outras, gerando assim um desenvolvimento desuniforme dentro da propriedade. Essa avaliação está relacionada a diversos parâmetros tais como; vazão, tempo de irrigação e de fato a uniformidade de distribuição de água (SILVA e SILVA, 2005). Segundo Keller e Bliesner (1990), o conceito que vem ser mais apropriado para definir a uniformidade de aplicação de água de um sistema via gotejamento é o conceito de coeficiente de uniformidade de emissão, também designado CUE, já para irrigação localizada, segundo López et al. (1992), o mais adequado é o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), realçando uma média mais restrita, dando maior peso às plantas que recebem menos água. O conjunto dessas técnicas fornecem maior rentabilidade ao produtor, além de possibilitar a correção de falhas, melhorando o sistema e adquirindo subsídios para desenvolvimento e aperfeiçoamento dos sistemas de irrigação localizada (PINTO, SOARES e NASCIMENTO, 1991).

Estudos realizados em campo mostram que, para aplicação de um excedente hídrico de aproximadamente um milímetro em uma área de 100 hectares, gera uma condução

desnecessária de 1.000 m³ de água, consumindo, assim, dependendo do equipamento cerca de 3 a 8 kWh de energia (MAROUELLI et al., 1996). Já outros estudos, mostraram que o uso de água em excesso elevado na irrigação, causa um aumento de até 25% dos custos total de produção, diminuindo assim a renda final do produtor (MORAES et al., 2014).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área

O solo encontrado na área experimental é classificado como LATOSSOLO VERMELHO, com características de solo tipicamente profundo, bem drenado, bastante poroso, com avançado estágio de intemperismo e processo intensivo de lixiviação (EMBRAPA, 2006).

O clima da região de Rio Verde é Aw Tropical (Köppen), com duas estações climáticas bem definidas, sendo uma seca e amena (abril a setembro) e outra quente e chuvosa (outubro a março) (LOPES SOBRINHO et al., 2020). O município se caracteriza com valores médios diário de temperatura do ar de 23±6,0°C, umidade relativa de 66,3±13,6%, velocidade do vento de 1,4±0,8 m s⁻¹, brilho solar de 6,1±3,0 h, radiação solar de 17,3±3,8 MJ m⁻² e evapotranspiração de referência de 3,8±0,4 mm (CASTRO e SANTOS, 2017). A precipitação média é de 1.621 mm ano⁻¹, concentrando de outubro a março (86,8%). Neste período, há excedente hídrico de 607 mm, sendo os meses de março (185 mm) e fevereiro (142 mm) os mais intensos. A deficiência hídrica é de 217 mm, sendo os meses de setembro (73 mm) e agosto (67,3 mm) os mais críticos. A reposição total de água no solo ocorre, historicamente, após o dia 20 de novembro.

4.2 Delineamento estatístico

O experimento foi implantado em delineamento inteiramente casualizado, com os tratamentos arranjados em esquema fatorial 2 x 2, correspondendo a duas épocas de semeadura e duas condições hídricas 0 e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc) em cinco repetições.

Os dados foram submetidos à análise de variância conjunta, e as médias comparadas pelo teste Tukey (5% de probabilidade) (FERREIRA, 2019). Foi utilizado o programa estatístico SISVAR para realização desses procedimentos.

4.3 Implantação e manejo

O experimento foi conduzido a campo no município de Rio Verde-GO (17°47'06,7 S 50°57'54,1 O e altitude de 780 m). Foi utilizada para a semeadura da safra a cultivar BRASMAX-BÔNUS IPRO, com as seguintes características agronômicas: grupo de maturação 7.9, hábito de crescimento indeterminado, porte alto e com um índice de ramificação médio.

A correção química do solo de textura média para o cultivo de soja e milho em sucessão foi realizada dia 10/08/2021, através do resultado da análise de solo na profundidade de 0-0,2 e 0,2-0,4 m (Tabela 1). Por apresentar saturação por alumínio (m%) baixa, saturação de bases (V%) abaixo da condição recomendada para os cultivos, níveis de fósforo muito baixo e potássio médio, foi realizada a fosfatagem corretiva com superfosfato simples contendo 21% P₂O₅ na dose de 714,3 kg ha⁻¹ em função do teor de argila no solo, juntamente com a potassagem corretiva, utilizando o cloreto de potássio contendo 58% de K₂O na dose de 86,2 kg ha⁻¹ em função do teor de K no solo, e a correção da acidez do solo pelo método de saturação por bases, com objetivo de elevá-la a 60% em sistema irrigado e sequeiro, utilizando calcário calcítico com poder relativo de neutralização total (PRNT) de 100% na dose total de 1,3 t ha⁻¹ (SOUZA e LOBATO, 2004).

Tabela 1 - Caracterização química e textural do solo da área experimental nas camadas de 0 a 0,2 e 0,2 a 0,4 metros de profundidade

Amostra	Ca+Mg	Ca	K	Mg	Al	H+Al	K	P (Mel)	M.O
			cmol _c dm ⁻³					mg dm ⁻³	g kg ⁻¹
0,0-0,2 m	3,09	2,31	0,13	0,78	0,05	4,29	50	9,58	23,46
0,2-0,4 m	2,19	1,69	0,06	0,50	0,05	3,96	25	2,24	19,61
Amostra	CaCl ₂	M	V	CTC	SB	Fe	Mn	Cu	Zn
	pH		%	cmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³		
0,0-0,2 m	4,90	1,53	42,87	7,51	3,22	189,4	75,7	2,9	0,9
0,2-0,4 m	5,63	2,17	36,27	6,21	2,25	216,5	47,3	2,6	0,1
Amostra	Argila		Silte		Areia		Classe textural		
			%				Textura		
0,0-0,2 m	33,32		12,73		53,95		Média		

Ca - Cálcio; K - Potássio; Mg - Magnésio; Al - Alumínio; H+Al - Acidez potencial; P (Mel) - Fósforo extraído pelo método de Mehlich⁻¹; M.O - Matéria Orgânica; pH CaCl₂ - pH em Cloreto de cálcio; m - Saturação por alumínio; V - Saturação por Bases; CTC - Capacidade de Troca Catiônica; SB - Soma de Bases; Fe - Ferro; Mn - Manganês; Cu - Cobre; Zn - Zinco.

Como na área experimental não existia cultivo frequente, as adubações de correção e os corretivos foram incorporadas com o uso de um arado subsolador na profundidade de 0,4 m, logo após foi realizado um destorroamento subsuperficial com o uso de uma grade de disco e, finalizando, com uma grade niveladora para uniformização da área experimental, as devidas adubações, como a de correção, a de plantio e a de cobertura, foi realizada utilizando a metodologia proposta por Souza e Lobato (2004).

Após o manejo físico e químico do solo da área experimental, foram determinadas as duas datas de semeadura para cultura da safra de soja, sendo elas: 25/09/2021 logo após o término do vazio sanitário no estado de Goiás e 18/10/2021 data utilizada por grande parte dos produtores do município na agricultura de sequeiro (volume de chuva acumulado superior a 80 mm) (Figura 1A). Cada tratamento experimental foi constituído de 20 m de comprimento por 6,5 m de largura totalizando 130 m², obtendo uma área total de 520 m² cultivados (Figura 1B).

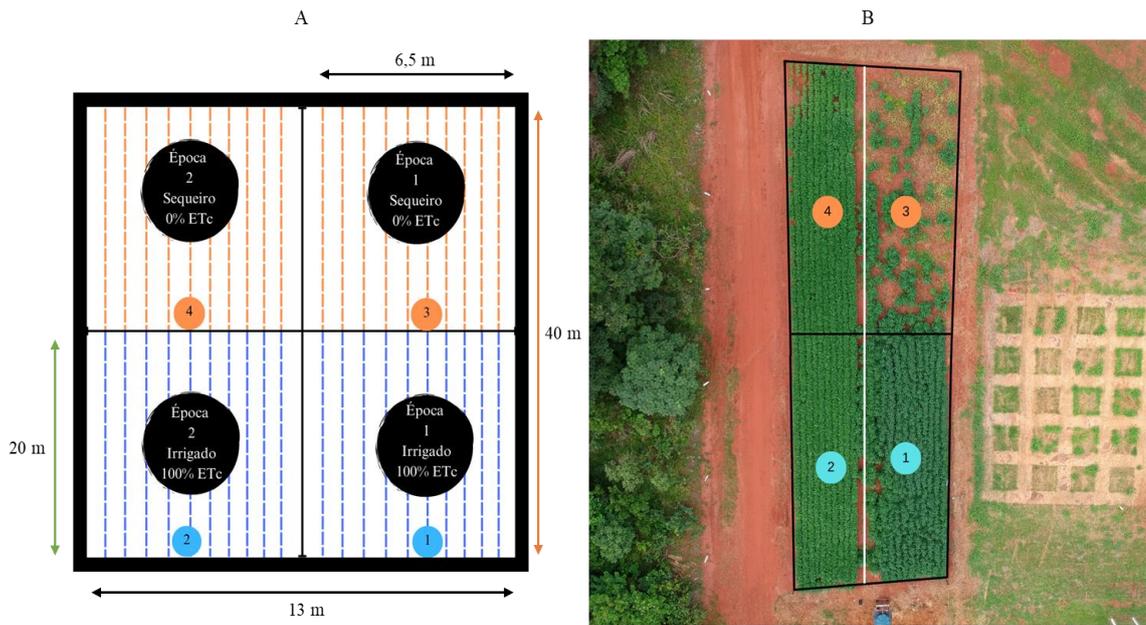


Figura 1 - Exemplificação (A) e distribuição (B) dos blocos na área experimental adotado para o cultivo de soja (*Glycine Max*) safra.

Foi realizada a dessecação pré-semeadura na área determinada para a primeira época de semeadura, no dia 15/09/2021 utilizando Glifosato – sal de potássio “2 L p.c ha⁻¹”; Cletodim “0,45 L p.c ha⁻¹” devido ao surgimento de algumas gramíneas como capim-pé-degalinha (*Eleusine indica*) e milho tiguera RR que poderia prejudicar o desenvolvimento inicial da soja ou se desenvolver dificultando o controle posteriormente (após a semeadura – pós emergente). O manejo com os mesmos produtos e doses, devido à incidência diária de precipitações para segunda época de semeadura, foi realizado dia 18/10/2021 (aplique-plante), quando obteve-se controle para o desenvolvimento inicial da cultura em ambas as aplicações.

Foi realizado o tratamento de sementes da soja no dia do plantio, Clorantraniliprole “100 mL p.c 100 kg⁻¹ semente”; Tiofanato-metílico + Fluazinam “215 mL p.c 100 kg⁻¹ semente”; Cobalto e Molibdênio “100 mL p.c 100 kg⁻¹ semente”; *Bradyrhizobium japonicum* – SEMIA 5079 e 5080 “400 mL p.c 100 kg⁻¹ semente”; *Azospirillum brasilense* – Cepas Ab-V5 e Ab-V6 UFPR “100 mL p.c 100 kg⁻¹ semente”; Polímero “400 mL p.c 100 kg⁻¹ semente”.

A semeadura foi realizada com uma plantadora adubadora de cinco linhas, Jumil 2670 POP exacta acoplada a um trator Agrale 5085.4 de 85 cv, semeando dez linhas de plantio de 20 m de comprimento, depositando a semente na profundidade de 3-4 cm, em cada parcela experimental. A densidade de plantas adotada foi de 250.000 plantas ha⁻¹, mantendo o espaçamento de 0,5 m entre linhas para ambas épocas de plantio.

Para a adubação de sementeira da soja, devido às dificuldades para a formulação, utilizou-se então a mistura de grânulos mais homogênea possível adicionada ao recipiente da plantadora adubadora, em que, como fonte de fósforo (P) foi utilizado o superfosfato simples, e fonte de potássio, o cloreto de potássio (KCl), utilizando as respectivas doses com base em 5 t ha⁻¹ de expectativa de produtividade da cultura; P₂O₅ = 100 kg ha⁻¹ e K₂O = 100 kg ha⁻¹. Para evitar que houvesse salinização devido à alta dose de K₂O próximo à semente, a dose foi dividida em duas aplicações sendo 50% da dose de K₂O no sulco de sementeira e, posteriormente, 50% da dose de K₂O aplicados na forma de cobertura aos 30 DAS (dias após a sementeira) (SOUZA e LOBATO, 2004).

Aos 14 DAS, foi observado um início de danos na área foliar da cultura devido à alta infestação de cascudinho-verde (*Megascelis aeruginosa*) e a presença de percevejo marrom (*Euschistus heros*) e mosca-branca (*Bemisia tabaci*). Diante disso, foi realizada uma aplicação em toda a área experimental com Tiametoxam + Lambda-cialotrina “200 mL p.c ha⁻¹”; Acetamiprido “300 g p.c ha⁻¹”.

O manejo pós – emergente, para o controle de gramíneas na soja da primeira época de sementeira (25/09/2021), ocorreu 23 DAS para ambas condições hídricas, e na segunda (18/10/2021) aos 20 DAS nas mesmas condições, com Glifosato-sal de potássio sendo a primeira época “1,5 L p.c ha⁻¹” e na segunda “2 L p.c ha⁻¹”; Cletodim “0,45 L p.c ha⁻¹” na primeira época, e “0,7 L p.c ha⁻¹” na segunda época de sementeira, aplicação essa realizada devido à presença de capim-colchão (*Digitaria horizontalis*), capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*), capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*) e poaia-branca (*Richardia brasiliensis*), o aumento da dose para segunda época de sementeira está relacionado com o surgimento de maior intensidade de capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) e capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*) devido à elevada precipitação, gerando assim maior quantidade de sementes germinadas por área.

O manejo de prevenção contra os possíveis danos ocasionados por patógenos na área experimental ocorreu 37 DAS para ambas as épocas de sementeira e condições hídricas (pré-fechamento das entrelinhas da cultura), com Bixafem + Protioconazol + Trifloxistrobina “0,5 L p.c ha⁻¹”; Tiametoxam - Lambda-cialotrina “200 mL p.c ha⁻¹”; Acetamiprido “300 g p.c ha⁻¹”; Óleo vegetal (0,25% v v⁻¹).

A segunda aplicação de fungicida para a primeira época de sementeira foi realizada 60 DAS, com Azoxistrobina + Ciproconazol “300 mL p.c ha⁻¹” devido as condições favoráveis para o desenvolvimento mancha-alvo (*Corynespora cassiicola*), sendo observada a presença já de alguns sintomas em determinadas plantas; Tiametoxam + Lambda-cialotrina “200 mL

p.c ha⁻¹”; Acetamiprido “300 g p.c ha⁻¹”; Bifentrina “160 mL p.c ha⁻¹”, devido à presença de percevejo-verde (*Nezara viridula*) e da lagarta-da-soja (*Anticarsia gemmatalis*).

A presença de oídio (*Blumeria graminis f.sp tritici*), na segunda época de semeadura, fez com que fosse realizada a segunda aplicação de fungicida na área aos 53 DAS, utilizou-se então como método sistêmico o Fenpropimorfe “0,5 L p.c ha⁻¹”; Adjuvante (0,25% v v⁻¹). Deixando assim a segunda época de semeadura sob uma 3ª aplicação de fungicida relacionada às doenças de finais de ciclo.

Foi realizada então 88 DAS a 3º aplicação de fungicida apenas na segunda época de semeadura em ambas condições hídricas, com Picoxistrobina + Ciproconazol “300 mL p.c ha⁻¹”; Tiametoxam - Lambda-cialotrina “200 mL p.c ha⁻¹”; Acetamiprido “300 g p.c ha⁻¹”; Indoxacarbe “400 mL p.c ha⁻¹” visando também o controle de mosca-branca (*Bemisia tabaci*) e a lagarta-da-soja (*Anticarsia gemmatalis*) + Óleo vegetal (0,25% v v⁻¹).

A dessecação, na primeira época de semeadura, foi realizada 114 DAS, apenas no tratamento irrigado com Glufosinato – sal de amônio “2 L p.c ha⁻¹”; Tiametoxam - Lambda-cialotrina “200 mL p.c ha⁻¹”; Óleo vegetal (0,5% v v⁻¹) e a colheita dia 27/01/2022, a dessecação da condição de sequeiro ocorreu 136 DAS e a colheita no dia 18/02/2022. Na segunda época de semeadura, a aplicação foi realizada 126 DAS simultaneamente na condição irrigado e sequeiro, utilizando as mesmas doses e produtos, a colheita foi realizada no dia 03/03/2022.

As diversas aplicações mencionadas foram realizadas com o uso de um pulverizador costal de pressão constante à base de CO₂ (30 lb pol⁻²), com uma barra contendo 4 bicos, com pontas de pulverização do tipo leque 11002-AD, espaçadas em 0,5 m, proporcionando um volume de aplicação de calda equivalente a 150 L ha⁻¹.

Foi utilizado o sistema de irrigação via gotejamento (autocompensante) superficial por gravidade com vazão média de 0,6 L h⁻¹ (CV = 4%) com espaçamento entre linhas de 0,5 m, e entre os gotejadores de 0,33 m. O manejo da irrigação foi realizado considerando como fonte entrada de água a precipitação (P), e como fonte de saída a evapotranspiração da cultura (ETc = ETo x kc), sendo realizado o cálculo e a reposição de água no solo na forma diária.

O Balanço Hídrico Climatológico Sequencial (BHCS) da cultura foi realizado de acordo com o método proposto por Thornthwaite e Mather (1955), considerando os valores médios decendiais de temperatura do ar e da precipitação pluviométrica, relacionando com a CAD (capacidade de água disponível no solo), sendo adotado o valor de 67,5 mm para a CAD, estimada em função da água média do solo para a classificação do município (1,5 mm cm⁻¹), e

a profundidade do sistema radicular (45 cm) (FARIAS, ALMEIDA e GARCIA, 1997; MAROUELLI, SILVA e SILVA, 2017).

Os dados meteorológicos para a estimativa da ETc (evapotranspiração da cultura) foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O cálculo diário de ETc foi realizado no *software* Sistema para Manejo da Agricultura Irrigada (MARIANO et al., 2011) pelo método de *Penman-Monteith* (Padrão FAO). Foi utilizado coeficiente da cultura (kc) da soja conforme proposto por Fietz e Rangel (2004) e Doorenbos e Kassan (1979), respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2 - Duração da fase fenológica e coeficiente de cultivo da cultura da soja (kc)

Cultura	Fase fenológica	Dias	kc
Soja Tardia	S a V2	15	0,39
	V2 a R1	36	1,09
	R1 a R5	31	1,61
	R5 a R8	36	1,28

S - Semeadura; V2 - Segunda folha trifoliolada; R1 - Início do florescimento; R5 - Início da formação e enchimento dos grãos; R8 - Maturidade completa.

4.4 Características avaliadas

Foi avaliada a uniformidade de molhamento do sistema de irrigação através dos Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC; Equação 1), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD; Equação 2) e Eficiência do sistema de irrigação (Ef); (Equação 3).

$$CUC = 100 \cdot \left[1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n \cdot \bar{X}} \right] \quad \text{EEq.1}$$

Em que,

CUC = Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (%)

n = Número de amostragens

X_i = Volume de água por emissor (L h⁻¹)

\bar{X} = Volume média de água por emissor (L h⁻¹)

$$CUD = \frac{X_{25}}{\bar{X}} \quad \text{EEq. 2}$$

Em que,

CUD = Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (%)

X_{25} = Volume média dos 25% menores valores de água por emissor (L h⁻¹)

\bar{X} = Volume média de água por emissor (L h⁻¹)

$$Ef = K_s \cdot CUD \quad \text{EEq. 3}$$

Em que,

Ef = Eficiência do sistema de irrigação (%)

K_s = Coeficiente de transmissividade (Adotado como 95%)

CUD = coeficiente de distribuição (%)

Foi considerada a interpretação de CUC, CUD e Ef representados na (Tabela 3) conforme proposto por Mantovani (2001) e Benício et al. (2009).

Tabela 3 - Interpretação dos valores do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e Eficiência do sistema de irrigação (Ef)

Classificação	CUC (%)	CUD (%)	Classificação	Ef (%)
Excelente	> 90	> 84	Ideal	≥ 95
Bom	80 – 90	68 – 84	Aceitável	80 – 95
Razoável	70 – 80	52 – 68	Inaceitável	< 80
Ruim	60 – 70	36 – 52	-	-
Inaceitável	< 60	< 36	-	-

Fonte: Mantovani (2001) e Benício et al. (2009).

Em relação aos índices físicos do solo e morfofisiológicos, foram avaliados para a cultura da soja:

- Velocidade de infiltração básica (VIB), determinada seguindo a metodologia de BERNARDO et al. (2006), utilizando o método do infiltrômetro de anéis concêntricos, sendo o menor com diâmetro de 25 cm e o maior com 50 cm, e altura de 30 cm, onde após a fixação dos anéis, enterrado até a metade de sua altura, colocou-se água ao mesmo tempo nos dois anéis e deu-se início às leituras durante 250 min.
- População de plantas: Foram amostradas cinco repetições de 2,5 m² e quantificadas as plântulas emergidas aos 14 DAS.

- Fluorescência da clorofila *a*: realizada no estágio fenológico R₂-R₃, a fluorescência transiente OJIP da clorofila foi determinada com o uso de fluorômetro portátil FluorPen FP 100 (Photon Systems Instruments; Drasov, Czech Republic), entre às 07h e às 10h em folhas jovens, completamente expandidas, não destacadas, previamente adaptadas ao escuro por 30 minutos para oxidação completa do sistema fotossintético de transporte de elétrons. Posteriormente, foram submetidas a pulso de 3000 $\mu\text{mol}^{-2} \text{s}^{-1}$ de luz azul medindo-se a fluorescência mínima (F_o) em 50 μs quando todos os centros de reação PSII estão abertos e definido como o passo O, seguida pelo passo J (a 2 m), passo I (a 30 m) e fluorescência máxima (F_m) quando todos os centros de reação PSII estão fechados, estes valores foram utilizados para calcular vários índices bioenergéticos do fotossistema II, conforme Strasser et al. (2000).
- Potencial hídrico: foi medido antemanhã e às 12h no estágio fenológico R₂-R₃, por meio da câmara de pressão do tipo Scholander.
- A densidade de venação: realizada no estágio fenológico R₂-R₃ com o objetivo de analisar a quantidade de nervuras totais presentes nas folhas, fragmentos da parte central da lâmina foliar foram coletados de cinco plantas aleatória dentro de cada tratamento preservados em FAA e utilizados no processo de clarificação, que consistiu em imergir as amostras foliares em hidróxido de sódio (NaOH) a 5% para clareamento químico durante dois dias até ficarem transparentes e macias. Após esse processo, as folhas foram lavadas várias vezes em água e passadas por uma série de diluição etanólica (30, 50, 70 e 100%). Após a passagem pelo etanol 100%, as folhas foram cobertas com safranina 1% (preparada em etanol 100%), deixadas por 15 minutos e lavadas gentilmente com etanol 100%; posteriormente foram cobertas com 1% de fast Green (preparada de etanol 100%) por alguns segundos, lavadas novamente com etanol 100% e submetidas a uma série de diluição reversa para tirar o excesso de corante (100%, 90%, 70%, 50%, 30% e água). Após estes passos, os fragmentos foliares foram montados em lâmina histológicas e fotografadas (JENSEN, 1977). A área do fragmento foliar e a densidade de venação foram determinadas com auxílio do software ImageJ (National Institutes of Health).
- Trocas gasosas: realizado estágio fenológico V₃-V₄ e R₂-R₃ as trocas gasosas das plantas foram avaliadas para registro das taxas fotossintética (A, $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

e transpiratória (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Estas avaliações foram realizadas utilizando analisador de gases por infravermelho CI 340 (CID Biosciences, Camas, WA, USA), entre às 08h e 11h, a temperatura ambiente ($26 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) e densidade de fluxo de fótons fotossintéticos ajustados para $1.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

- Índice de clorofilas: os índices de clorofilas foram determinados no estágio fenológico V_3 - V_4 e R_2 - R_3 por meio do medidor portátil, ClorofiLog CFL1030® (Falker®, Porto Alegre, RS, Brasil), sendo obtido o índice de clorofila a , clorofila b e clorofila total, expressos como índice de clorofila Falker (ICF). Adicionalmente, foi calculada a razão entre as clorofilas a e b .
- Extravasamento de eletrólitos (TLE): a avaliação do extravasamento de eletrólitos dos tecidos foliares, indicador da descompartmentalização celular, foi realizada mediante a taxa de liberação de eletrólitos segundo adaptação da metodologia descrita por Vasquez-Tello et al. (1990) e Pimentel et al. (2002). Foram coletados 15 discos foliares, de cinco mm de diâmetro, de cada repetição. Os discos foram lavados previamente com água e então submersos em 30 mL de água deionizada, em frascos âmbar, por período de 24 h à temperatura ambiente. Após este período, foi mensurada a condutividade livre (CL, $\mu\text{S cm}^{-1}$), utilizando condutímetro portátil CD-850. Posteriormente, os mesmos frascos foram colocados em estufa por uma hora sob temperatura de 100°C e, após o resfriamento até temperatura ambiente, foi medida a condutividade total (CT, $\mu\text{S cm}^{-1}$). Para evitar o erro nos resultados, o sensor foi lavado entre cada leitura com água deionizada. A taxa de liberação de eletrólitos foi obtida utilizando a fórmula $\text{TLE (\%)} = \text{CL/CT} \times 100$. As coletas dos discos foliares foram realizadas no horário entre 07 e 11h no estágio fenológico V_3 - V_4 e R_2 - R_3 .
- Temperatura foliar: foi mensurada a temperatura foliar do terço médio de cinco plantas no estágio fenológico V_3 - V_4 e R_2 - R_3 , por meio de termômetro digital infravermelho, no horário compreendido entre 09 e 10h, posicionado a 5 cm acima da epiderme adaxial das folhas.
- O conteúdo relativo de água (CRA): realizado segundo a metodologia descrita por Barrs e Weatherley (1962), fragmentos de folhas foram coletados do terço médio de cinco plantas e pesados imediatamente após a remoção para obter a matéria fresca (MF). Em seguida, os fragmentos foram colocados para flutuar em água deionizada por 24 h e então pesados, para obtenção da massa túrgida (MT). A

seguir, as amostras foram colocadas em estufa a 75°C por 72 h, para obtenção da matéria seca (MS). A partir desses dados foi calculado o conteúdo relativo de água, de acordo com a fórmula: $CRA = (MF-MS) / (MT-MS) \times 100\%$. As coletas para avaliação de CRA foram realizadas no horário entre às 07 e 11h no estágio fenológico V₃-V₄ e R₂-R₃.

- Altura de plantas: antes da colheita, a altura de plantas foi determinada a partir de cinco amostras de 3,0 m de comprimento, tomando-se a distância entre o nível do solo e o ápice da planta, realizado no estágio fenológico V₃-V₄ e R₂-R₃.
- Área foliar: determinou-se por meio da obtenção da imagem digital da folha, integração e cálculo da área foliar utilizando o *software* ImageJ® no estágio fenológico R₂-R₃.
- Matéria seca de caule e folhas: composto pela seleção de cinco amostras aleatórias no estágio fenológico R₂-R₃, destacadas e, previamente, secados a 75°C por 72h e, posteriormente, pesados, com valores representando a média da variável.
- Número de nós produtivos na haste principal: composto pela seleção de cinco plantas aleatórias no estágio fenológico R₂-R₃ de 3,0 m de comprimento, e realizada a contagem manual do número de nós produtivos apenas na haste principal da cultura.
- Número de vagens: composto pela seleção de cinco plantas aleatórias de 3,0 m de comprimento, e em seguida realizada a contagem do número de vagens, com os valores representando a média da variável.
- Peso de mil grãos: após determinar a produtividade, foi efetuada a contagem de cinco amostras de mil grãos por repetição de cada tratamento, utilizando o equipamento Sanik ESC 2011 para separar a quantidade delimitada, e então pesadas em balança de precisão com três casas decimais. A correção de umidade para 13% foi realizada através da fórmula:

$$\text{Peso corrigido para Ud\%} = \text{Peso úmido} \cdot \frac{100 - Ua\%}{100 - Ud\%}$$

Em que,

Ud% = Umidade desejada;

Ua% = Umidade atual.

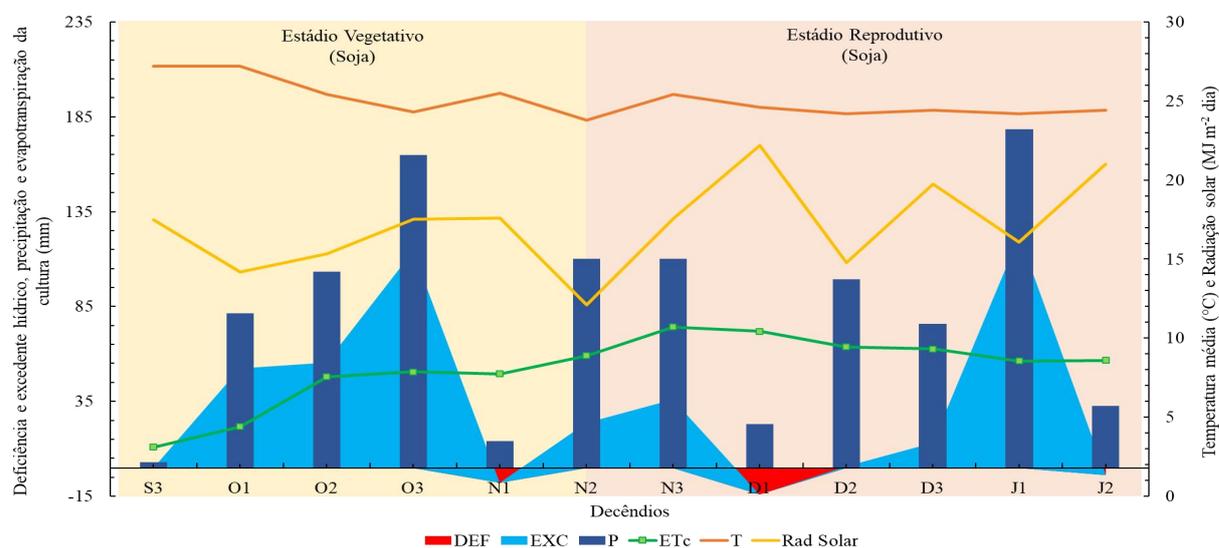
A massa de mil grãos foi determinada de acordo com as regras para Análises de Sementes (BRASIL, 2009).

- Produtividade de grãos: determinada a partir da colheita manual de 5,0 m em cinco repetições dentro de cada tratamento, limpo e pesado. Após isso, a umidade foi corrigida para 13%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

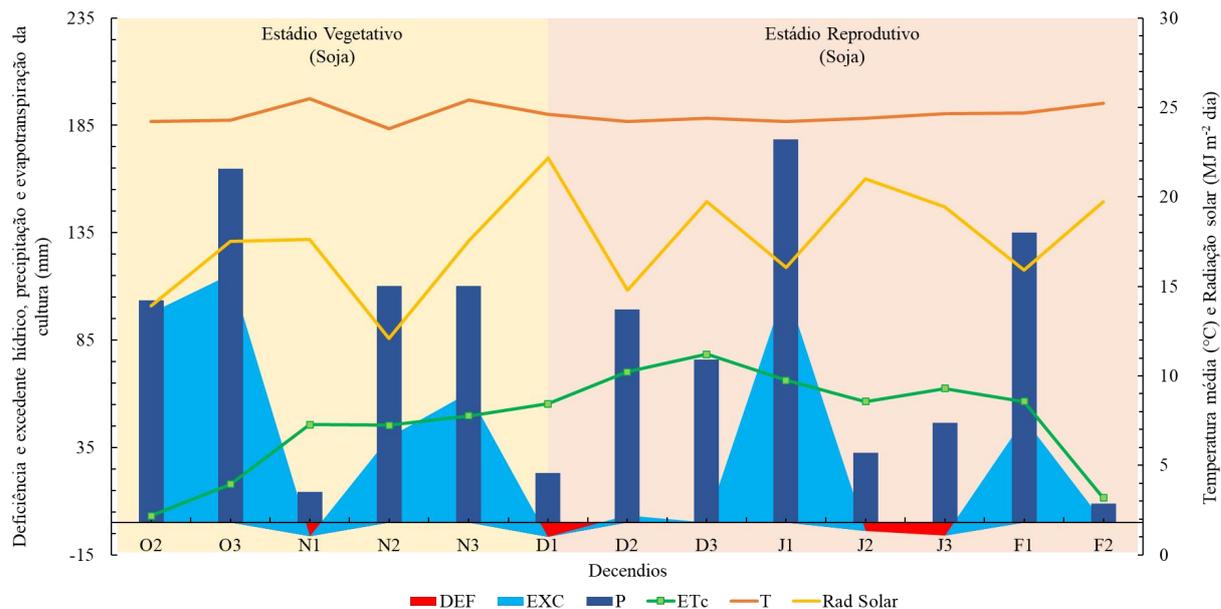
5.1 Balanço hídrico climatológico decendial para cultura da soja

Na primeira data de semeadura, a precipitação total durante o desenvolvimento da soja foi de 996,4 mm, sendo concentrada durante os meses de outubro e janeiro, porém, a cultura ficou sob deficiência hídrica (DEF) de 25,7 mm durante todo seu ciclo (Figura 2). Já para a segunda data de semeadura, a precipitação foi de 1005,3 mm concentrada durante o mês de novembro e janeiro, deixando a cultura sob DEF total de 22,9 mm (Figura 3). Portanto, a segunda data de semeadura permitiu um maior volume hídrico, proporcionando menor deficiência hídrica para o desenvolvimento da cultura.



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) - Estação: Rio Verde GO – A025. DEF: Deficiência hídrica; EXC: Excedente hídrico; P: Precipitação; ETc: Evapotranspiração da cultura; T: Temperatura média; Rad.

Figura 2 - Balanço hídrico normal decendial em sistema de sequeiro para o município de Rio Verde-GO, no ano agrícola 2021/22, para primeira época de semeadura. Solar: Radiação solar média. Dados representados por médias decendiais.



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) Estação: Rio Verde GO – A025. DEF: Deficiência hídrica; EXC: Excedente hídrico; P: Precipitação; ETc: Evapotranspiração da cultura; T: Temperatura média; Rad Solar: Radiação solar média. Dados representados por médias decendiais.

Figura 3 - Balanço hídrico normal decendial em sistema de sequeiro para o município de Rio Verde-GO, no ano agrícola 2021/22, para segunda época de semeadura.

No período de semeadura da primeira data, o armazenamento de água no solo (ARM) era de 60,07 mm, e a CAD veio a ser atingida (67,5 mm) já no primeiro decêndio de outubro, obtendo excedente hídrico (EXC) de 52,4 mm, mantendo-se até o terceiro decêndio de outubro, atingindo um total acumulado de 222,1 mm de EXC.

Na segunda data de semeadura, o ARM foi de 67,5 mm (100% da CAD) e com EXC de 97,8 mm. Esse cenário se manteve até o terceiro decêndio de outubro, atingindo um total acumulado de 106,7 mm de EXC. Segundo Doorenbos e Kassam (1979), o teor de água no solo, durante a germinação para determinada cultura não deve exceder 85% nem ficar abaixo de 50% de água disponível, pois, tanto a falta de água quanto o excesso podem trazer prejuízos para o estabelecimento inicial da cultura em campo, fato esse observado para a segunda data de semeadura, no qual a CAD se encontrava totalmente saturada (100%), e na primeira data de semeadura, o valor da CAD se encontrava acima de 88,9%.

O desenvolvimento vegetativo foi marcado por baixos valores de DEF, sendo eles para a primeira época de semeadura de 7,8 mm, com intensidade no primeiro decêndio de novembro e para a segunda época de semeadura 6,3 mm com maior intensidade no mesmo período. Segundo Farias et al. (2001), quando o déficit hídrico ocorre durante o desenvolvimento vegetativo, a soja pode tolerar curtos períodos de déficit por apresentar um sistema radicular profundo.

Durante a floração da soja, os valores de precipitação supriram a demanda hídrica da cultura para primeira época de semeadura, que ocorreu a partir do primeiro decêndio de novembro, porém, para a segunda época de semeadura, o estágio de florescimento da cultura ocorreu a partir do terceiro decêndio de dezembro marcado por um DEF decendial de 6,6 mm.

Segundo Ritchie et al. (1994) e Fageria, Baligar e Clark (2006) a presença de déficits hídricos expressivos com ocorrência durante o florescimento ou enchimento de grãos acarretam grandes prejuízos à produtividade da cultura. Isso devido à indução do fechamento estomático, reduzindo assim a taxa fotossintética líquida e a produção de biomassa, resultando também em limitações à divisão e ao alongamento celular. Sadeghipour e Abbasi (2012) cita que, a presença de déficit hídrico durante o florescimento pode acarretar em reduções diretas no potencial produtivo da cultura, podendo ser de 24 a 50%.

A temperatura média, no período do cultivo da soja para ambas as épocas de semeadura, ficou em torno de 25,1 e 24,6°C. Trabalho realizado por Godoy, Barros e Xavier (2012) com o objetivo de avaliar o impacto de cinco regimes de temperatura no desenvolvimento da ferrugem-asiática (*Phakopsora pachyrhizi*), doença essa a mais severa na cultura da soja, a temperatura média em torno de 24°C é a mais favorável para o desenvolvimento do patógeno.

Durante o desenvolvimento reprodutivo da soja para primeira época de semeadura, houve 17,9 mm de DEF com maior intensidade no primeiro decêndio de dezembro, enquanto a segunda época apresentou 16,5 mm de DEF no primeiro decêndio de dezembro como também segundo e terceiro decêndio de janeiro. Segundo Souza, Egli e Bruening (1997) a deficiência hídrica a partir do estágio R2 pode causar um sério comprometimento aos parâmetros produtivos, isso devido à menor atividade fotossintética da folha e menor remobilização de carbono e nitrogênio para os grãos.

A colheita da soja na primeira época de semeadura ocorreu no terceiro decêndio de janeiro, período este marcado com 32,6 mm de precipitação, enquanto, a colheita para a segunda época de semeadura ocorreu no segundo decêndio de fevereiro, momento esse marcado por 9,0 mm de precipitação. Segundo Tsukahara et al. (2016) a umidade dos grãos de soja é diretamente influenciada pelo número de dias com precipitação pluvial igual ou superior que 3 mm dia⁻¹, durante o estágio fenológico R8.2, podendo acarretar o atraso na colheita da cultura e deterioração do grão devido seu maior tempo em campo para obter a umidade ideal.

5.2 Uniformidade de molhamento

A uniformidade de molhamento determinada pelas variáveis CUC, CUD e Ef comprovaram que houve um molhamento superficial uniforme na área experimental da condição irrigada, proporcionando uma vazão média de 0,61 L h⁻¹. Para ambas as épocas de semeadura, os tratamentos irrigados obtiveram um CUC e CUD de interpretação excelente e Ef aceitável, segundo a metodologia proposta por Mantovani (2001) e Benício et al. (2009) (Tabela 4 e Figura 4).

Tabela 4 - Classificação da uniformidade de molhamento e eficiência de irrigação

Época de Semeadura	Tratamento	CUC (%)	CUD (%)	Ef (%)	Vazão (L h ⁻¹)
25 de setembro	100% ETc	94,7	92,6	88,0	0,64
18 de outubro	100% ETc	93,9	90,0	85,5	0,59
	Interpretação	Excelente	Excelente	Aceitável	0,61

ETc: Evapotranspiração da cultura; CUC: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen; CUD: Coeficiente de Uniformidade de Distribuição; Ef: Eficiência de molhamento.



Figura 4 - Teste de uniformidade de irrigação na área experimental no município de Rio Verde-GO.

5.3 Velocidade de infiltração básica (VIB)

A velocidade de infiltração básica (VIB) foi marcada por altos valores no início da avaliação e com o passar do tempo foi diminuindo até se estabilizar após 100 min de avaliação, comportamento esse semelhante ao encontrado por Riquelme, Luz e Silva Filho (2012) que afirmam que a VIB inicialmente é alta e diminui gradativamente até alcançar um

valor constante. Além disso, o solo da área experimental foi classificado como de VIB muito alta (Figura 5), pois a velocidade de infiltração foi de 9 cm h⁻¹ ou 90 mm h⁻¹ (BERNARDO, SOARES e MANTOVANI, 2006).

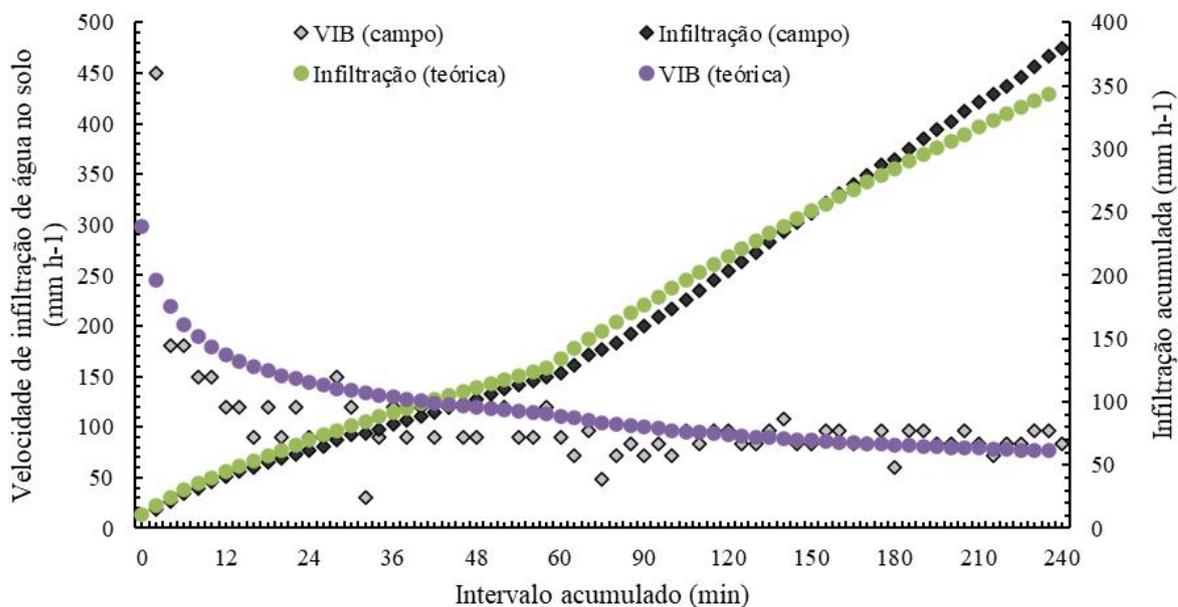


Figura 5 - Velocidade de infiltração de água no solo (VIB) e infiltração acumulada em função do intervalo acumulado do solo da área experimental no município de Rio Verde GO.

A infiltração pelo método do papel log-log ficou representado pela seguinte equação: $y = 0,7159x + 0,8313$ e $R^2 = 0,9922$ enquanto, 0,7159 é o ponto de interseção para o tempo de um minuto e o valor de $n = 0,8313$ corresponde à declividade da reta. Para transformação logarítmica dos dados foi determinada pela seguinte equação: $It = 6,78 \cdot IA^{0,7159}$, em que IA representa o intervalo acumulado e It resultando na infiltração teórica, para a transformação da VIBt (Velocidade de infiltração de água no solo teórica) a equação resultou em: $VIBt = 0,7159 \cdot 6,78 \cdot IA^{(0,7159-1)} \cdot 60$

A presença da gradagem aproximadamente 25 dias antes da prática pode ter contribuído para uma maior VIB no início da avaliação. O que segundo Souza et al. (2018) em seu trabalho realizado utilizando quatro diferentes tratamentos em relação ao manejo físico do solo, o solo arado há 15 dias juntamente com o arado há 6 meses foram os tratamentos que apresentaram maiores médias do que os demais manejos do solo (sem o revolvimento do solo). Fator esse que pode ser explicado devido após o preparo físico do solo, ocorrer então a abertura de novos poros (descompactação), promovendo assim maior

capacidade de armazenamento de água e maior quantidade de água infiltrada por unidade de tempo (MACHADO et al., 2017).

Além disto, esse estudo se torna fundamental para elaboração de projetos de irrigação e drenagem, manejo de conservação do solo, escolha do melhor sistema de irrigação e emissores aspersores ou microaspersores, evitando assim perdas de água por escoamento superficial e determinação da lâmina bruta total que poderá ser aplicada sobre o solo (BORKOWSKI e SILVA, 2021).

5.4 População de plantas

Para população de plantas realizada aos 14 DAS, as plantas cultivadas na primeira época de semeadura sob a condição irrigada obtiveram médias de 214.000,0 plantas ha⁻¹, diferindo-se estatisticamente da condição de sequeiro no qual essa média foi 97,1 % inferior à condição irrigada, correspondendo a 6.200,0 plantas ha⁻¹ (Figura 6A).

Durante a segunda época de semeadura, também, foi observado um comportamento semelhante, porém de menor contraste entre os tratamentos, apresentando médias de 204.000,0 e 178.000,0 plantas ha⁻¹, respectivamente (Figura 6B).

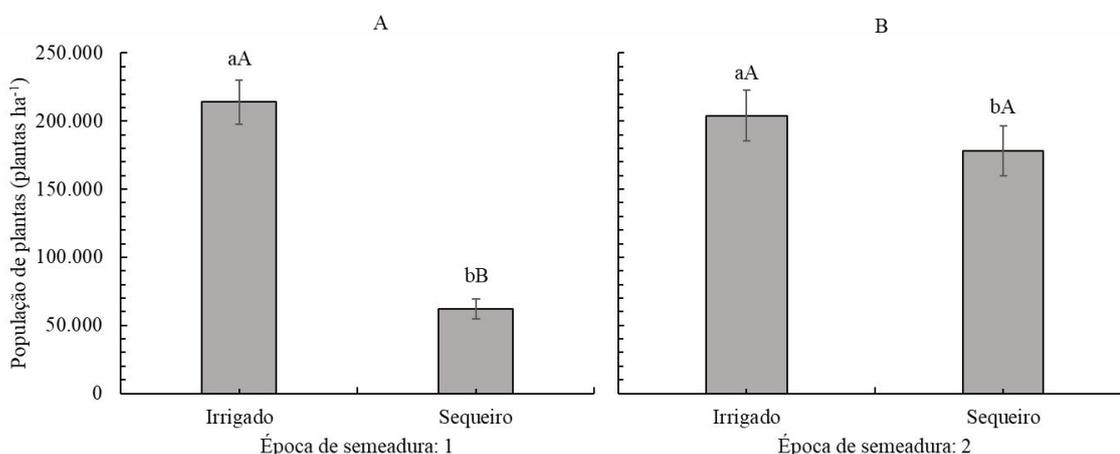


Figura 6 - População de plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem-se entre si para época de semeadura pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A significância pode ser explicada devido à baixa disponibilidade hídrica enfrentada pelas sementes em estágios iniciais de seu desenvolvimento, no qual o solo se encontrava

extremamente seco, com uma única precipitação, antecedendo a semeadura, que ocorreu dia 13/09/2021 com $1,4 \text{ mm}^{-1}$ e no dia da semeadura (25/09/2021) sendo registrado $0,2 \text{ mm}^{-1}$. Segundo Peske e Delouche (1985), a disponibilidade insuficiente de água no solo é um problema típico e recorrente durante a época de semeadura da soja, o qual acaba ocasionando a baixa germinação e uma desuniformidade na emergência de plântulas. Isso ocorre pois, no início do processo germinativo, durante a fase de embebição da semente, a limitação de água pode diminuir a velocidade germinativa e até mesmo impedi-la, ocasionando a morte do embrião e deterioração da semente no solo (TAVARES et al., 2015). Além disso, trabalhos realizados por Keeling (1974) mostraram que caso esse processo de germinação seja lento pela influência do déficit hídrico, ocorrerá um ataque de microrganismos estimulados pela exsudação de carboidratos solúveis (açúcares), gerados através do processo germinativo da semente. Hadas (1976), em seu trabalho, citou ainda que o déficit hídrico foi capaz de promover redução da atividade enzimática, afetando diretamente o desenvolvimento meristemático das sementes. Além disso, a redução da população de plantas leva à cultura uma baixa capacidade em lidar com a competição intraespecífica com plantas daninhas, visto que, a redução de plantas por metro leva a menor capacidade da planta, em cobrir grande parte da superfície do solo (KLEIN; SHAPIRO, 2011).

Em relação às épocas de semeadura, houve diferença significativa apenas sob a condição de sequeiro, em que plantas da segunda época (semeadas em 18/10) obtiveram maiores médias. Comportamento esse que pode ser explicado devido à presença de aproximadamente 80 mm de precipitação antes da semeadura, o que contribuiu para o desenvolvimento germinativo dessas sementes. Como a antecipação de semeadura em condição de sequeiro é realizada, muitas vezes, antes que as chuvas ocorram, a ausência de precipitação 5 a 10 dias após a semeadura resultará na baixa capacidade de germinação e emergência, o qual evidencia ainda mais os resultados de baixo estande encontrado no trabalho quando submetido às plantas a antecipação da semeadura (PESKE, 1983).

5.5 Índice de clorofilas *a*

A variável clorofila *a* realizada na primeira época (V₃-V₄) foi marcada por diferença significativa sob a fonte de variação condição hídrica e época de semeadura, sendo que, tanto na primeira época quanto na segunda, o tratamento irrigado foi o que obteve maiores médias 29,1 e 44,6 respectivamente (Figura 7A). Sob a fonte de variação época de semeadura, ambas as condições da segunda época obtiveram maiores médias. Durante a segunda época de

avaliação (R₂-R₃), foi observada diferença apenas entre as épocas de semeadura, no qual, plantas semeadas, na segunda data, obtiveram maiores médias (Figura 7B).

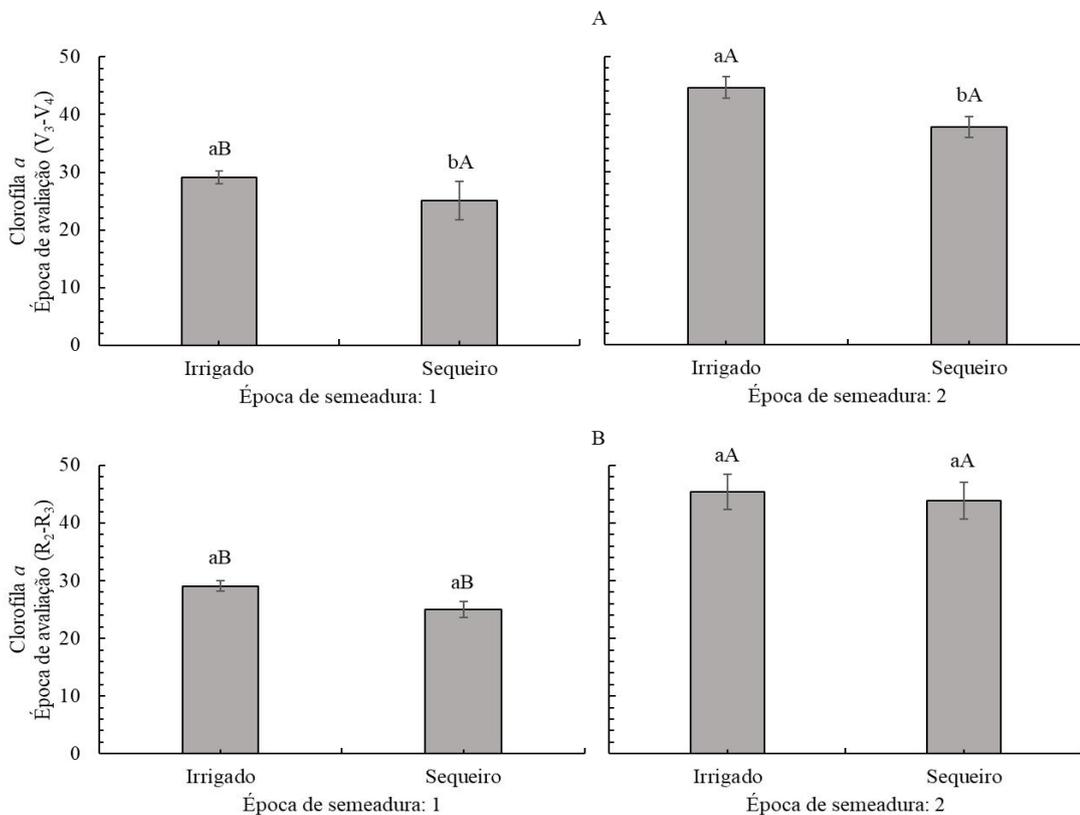


Figura 7 - Índice de clorofila *a* realizado em duas épocas de avaliação (V₃-V₄, A e R₂-R₃, B) em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, 1 e 18/10/2021, 2) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem-se entre si para época de semeadura pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A presença de déficit hídrico no estágio vegetativo V₃-V₄ foi capaz de causar a redução de clorofila *a*, causando um distúrbio no equilíbrio osmótico como na perda de água, diminuindo a turgescência e levando à degradação da clorofila *a*, pigmento esse extremamente importante e essencial para realização da fotossíntese (MARQUES, 2010). Além disso, a redução da quantidade de pigmentos fotossintéticos causada pelo déficit hídrico pode ser decorrente do aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (ERO's), ocasionando a peroxidação lipídica. Desse modo, Mesquita (2010) ao avaliar cultivares de soja tolerante e sensível ao déficit hídrico submetidos à irrigação, estresse hídrico moderado e

severo, não observou comportamento significativo para as cultivares utilizadas, apenas para os teores de clorofila *a* em condições de estresse hídrico severo (-1,5 Mpa).

5.6 Índice de clorofilas *b*

A variável clorofila *b* mensuradas no estágio vegetativo V₃-V₄, também foi marcada por reduções significativas de 48,6 e 74,2%, respectivamente, para ambas as épocas de semeadura, sendo as plantas cultivadas na segunda época as que obtiveram maiores médias sobre a variável mensurada (Figura 8A). Na fase R₂-R₃, houve diferença apenas sob a fonte de variação época de semeadura, no qual, as plantas semeadas na segunda época obtiveram maiores médias tanto para condição irrigada quanto para a condição de sequeiro (Figura 8B).

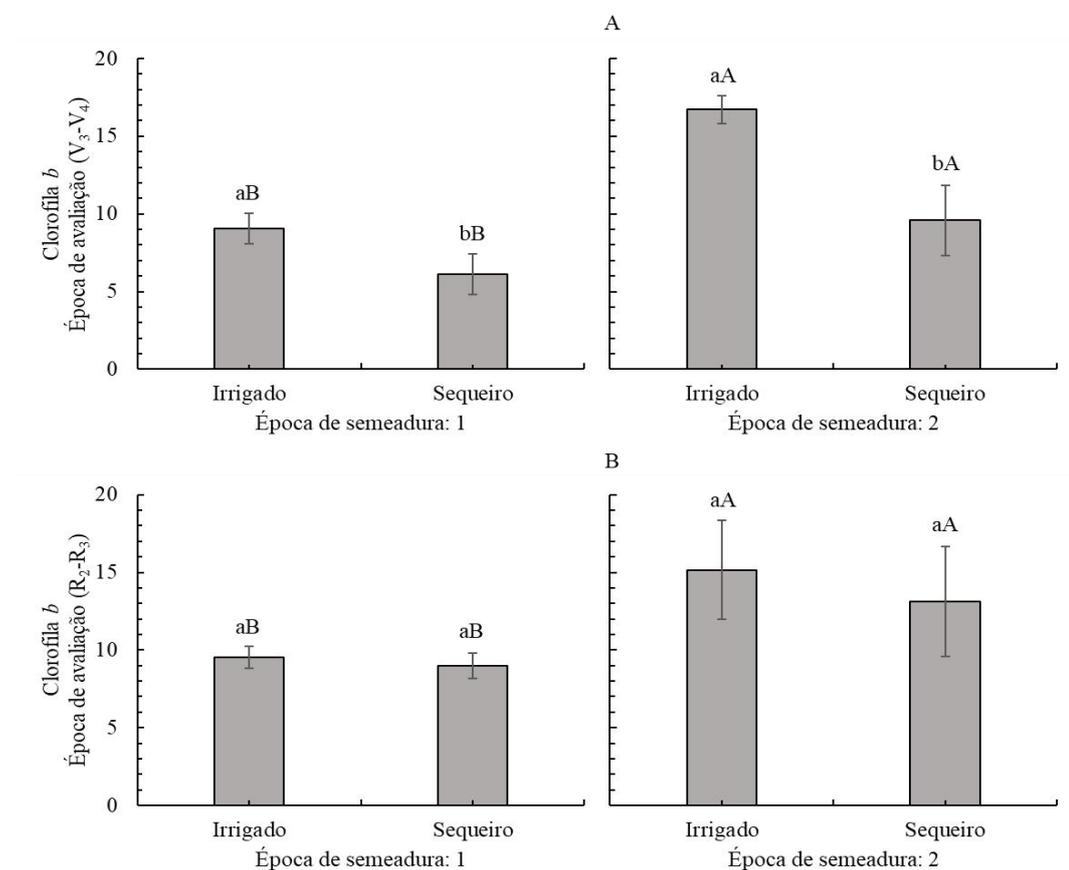


Figura 8 - Índice de clorofila *b* realizado em duas épocas de avaliação (V₃-V₄, A e R₂-R₃, B) em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, 1 e 18/10/2021, 2) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem-se entre si para época de semeadura pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Segundo Ashraf e Harris (2013), a presença de déficit hídrico, mesmo que não seja severo, pode gerar danos nos pigmentos fotossintéticos, sendo capaz de alterar a relação de clorofila *a* e clorofila *b*, sendo a clorofila *b* a variável que reduz mais intensamente, sobre a determinada condição, dados condizentes com o trabalho. Portanto, a redução deste pigmento em plantas sob a determinada condição, também, podem estar associadas a um mecanismo de defesa da planta ao estresse e, para que isso se confirme, é necessário validar se ocorre aumento na razão clorofila *a/b* e a conversão de clorofila *b* em *a*.

5.7 Razão entre clorofilas (*a/b*)

A razão entre clorofila *a/b* avaliada em V₃-V₄ (Figura 9A), para ambas épocas de semeadura, mostra que a intensidade do déficit hídrico foi capaz de gerar as plantas sob o cultivo de sequeiro degradação de ambas clorofilas (clorofila *a* e *b*), o que impactou diretamente no aumento da razão entre clorofilas *a/b*. Não houve diferença significativa para a variável analisada em R₂-R₃ (Figura 9B).

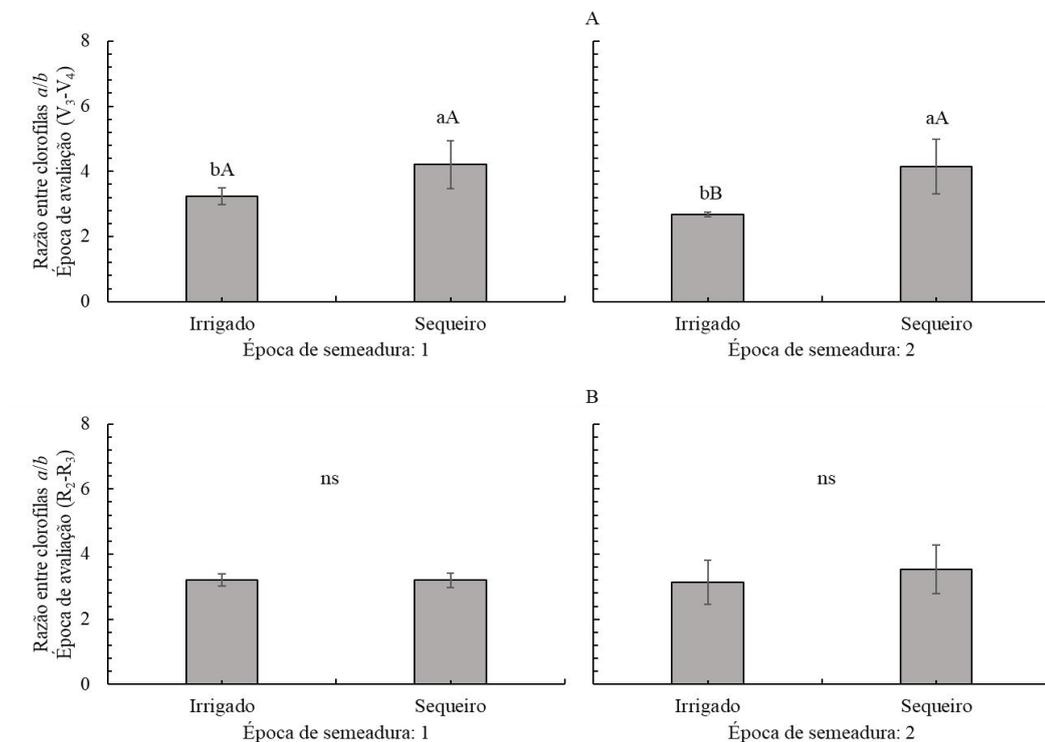


Figura 9 - Razão entre clorofila (*a/b*) realizada em duas épocas de avaliação (V₃-V₄, A e R₂-R₃, B) em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, 1 e 18/10/2021, 2) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem-se entre si para época de semeadura pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

5.8 Índice de clorofilas totais ($a+b$)

Os índices de clorofilas totais ($a+b$) avaliados no estágio vegetativo (V_3-V_4) variaram tanto para a fonte de variação condição hídrica delimitada, quanto para a época de semeadura (Figura 10A). A condição irrigada foi superior 22,5 e 29,3%, respectivamente, em ambas as épocas, sendo a segunda época de semeadura a qual apresentou maiores médias tanto para condição irrigada (61,3) quanto para condição de sequeiro (47,4).

Já a mensuração no estágio reprodutivo da soja (R_2-R_3), houve diferença significativa apenas para fonte de variação época de semeadura, no qual, plantas semeadas na data de 18/10/2021 foram marcadas por maiores médias (60,6 e 57,0, respectivamente) (Figura 10B).

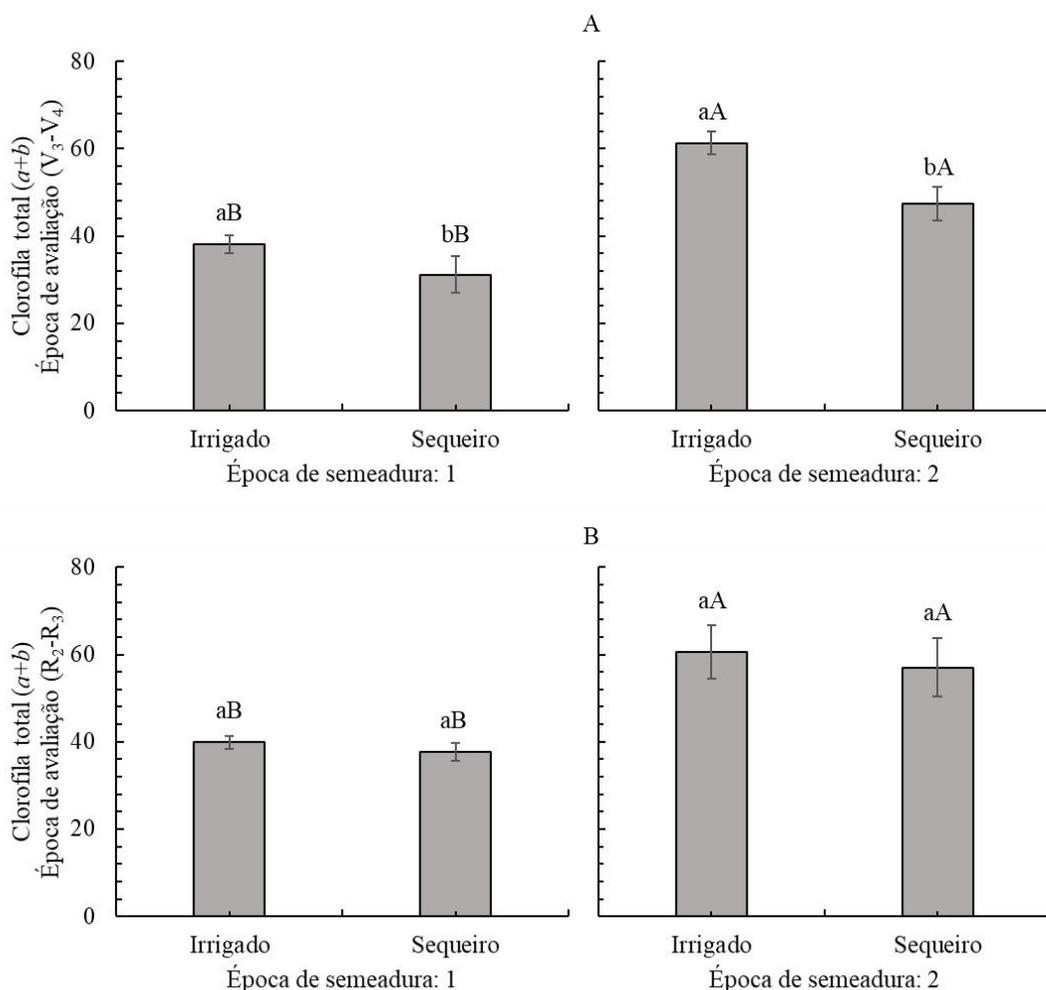


Figura 10 - Índice de clorofila total ($a+b$) realizado em duas épocas de avaliação (V_3-V_4 , A e R_2-R_3 , B) em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, 1 e 18/10/2021, 2) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem-se entre si para época de semeadura pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Como a manutenção da eficiência fotossintética nas plantas é dependente principalmente da concentração dos pigmentos fotossintéticos responsáveis pela absorção de energia luminosa, em condições de déficit hídricos, é normal que ocorra degradação dos pigmentos fotossintéticos como alternativa de reduzir a absorção de energia luminosa, evitando assim, maiores danos causados pelo excesso de elétrons livres (ROSA, 2020). Nesse sentido, para a semeadura antecipada (25/09/2021, Figura 10A) a presença de DEF 7,8 mm por decêndio, foi capaz de trazer reduções nos teores de clorofilas totais presente na cultura.

Assim sendo, comportamento semelhante ao encontrado por Sinclair et al. (2007) no qual em seu estudo com o objetivo de avaliar o desempenho de vários genótipos de soja sensíveis e tolerantes a déficit hídrico (tolerantes – R01 – 581F, R01 – 416F, R02 – 1325; sensíveis – CD 215 e BRS 317) observaram redução no teor de clorofilas totais sob a restrição hídrica em todos os genótipos avaliados.

No estudo de Huseynova (2012) com o objetivo de avaliar diferentes genótipos de trigo sob irrigação normal (100% ETc), também obteve um comportamento semelhante, no qual, constatou que a escassez de água promoveu reduções das clorofilas nos tratamentos sem irrigação (0% da ETc).

Do mesmo modo, Rodolfo Júnior et al. (2016) ao caracterizarem diversas variedades de cana-de-açúcar submetidas a 0 e 100% da ETc constataram também reduções nos teores de clorofilas totais em condição de sequeiro. Essa redução observada no presente trabalho também pode ser um indicativo de possíveis reduções na eficiência fotossintéticas devido à presença e intensidade do déficit hídrico.

5.9 Potencial hídrico, taxa fotossintética, transpiração, e temperatura foliar

O potencial hídrico foliar realizado na antemanhã as 5h (Ψ_{w5}) tendo como principal finalidade indicar a disponibilidade hídrica do solo, uma vez que há uma tendência de equilíbrio entre as condições da planta e do solo no momento da mensuração da variável (SILVA et al., 2003). Diferiu-se em ambas as épocas para condição hídrica delimitada, quando as plantas semeadas no dia 25/09/21 (Figura 11A) apresentaram média de 0,3 MPa para condição irrigada e 0,5 MPa para condição de sequeiro (56% superior à condição irrigada). Porém, a mensuração na segunda época (Figura 11B) houve um comportamento contrário ao esperado, no qual, a condição irrigada superou a condição de sequeiro com 16,9%.

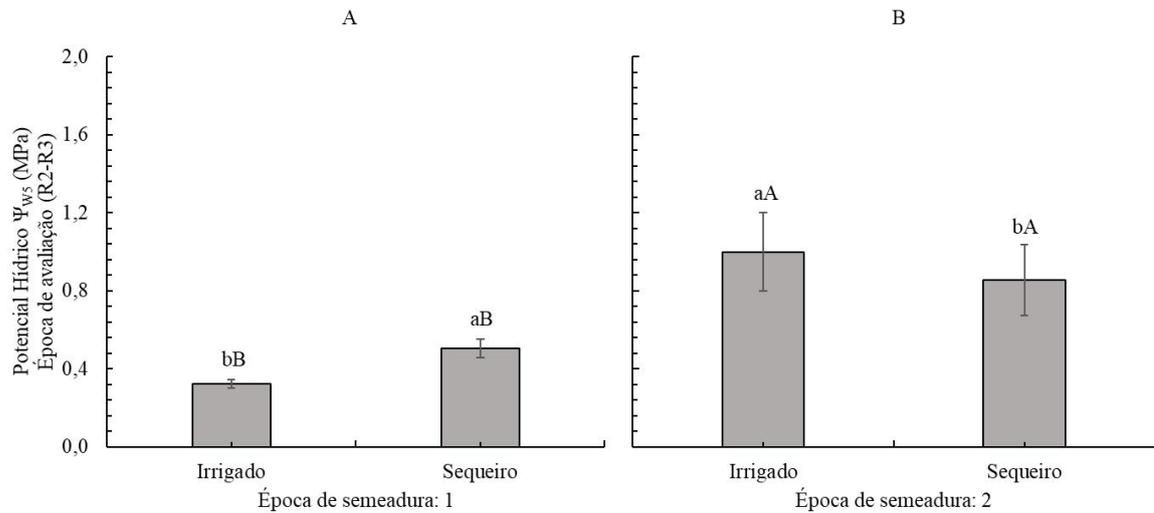


Figura 11 - Potencial hídrico (Ψ_{w5}) realizado em plantas de soja cultivadas em duas épocas de sementeira (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem-se entre si para época de sementeira pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A intensidade do déficit hídrico e uma má distribuição espacial da precipitação pluviométrica geradas pela baixa precipitação no mês da mensuração da primeira época de sementeira (23 mm) foi o fator que atribuiu ao solo da condição de sequeiro baixo potencial hídrico, gerando dificuldade da planta em repor água perdida do xilema para os tecidos mais próximos (folhas, vagens e grãos) (WANG et al., 2018).

O potencial hídrico foliar realizado às 12h (Ψ_{w12}) diferiu estatisticamente tanto para fonte de variação época de sementeira quanto para condição hídrica delimitada, no qual, as plantas semeadas, na primeira época, obtiveram menores médias. Para primeira época de sementeira, a condição de sequeiro foi inferior 71% em relação à condição de irrigada (Figura 12A), enquanto na segunda época a diferença entre a mesma comparação foi de 62% (Figura 12B).

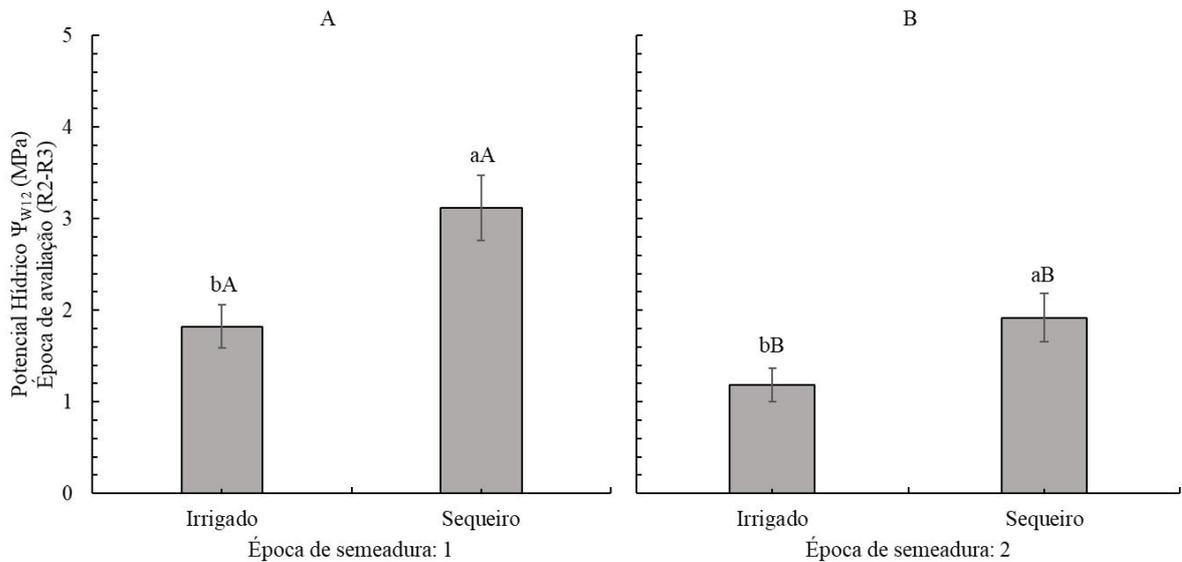


Figura 12 - Potencial hídrico (Ψ_{w12}) realizado em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem-se entre si para época de semeadura pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Essa redução observada é reflexo do déficit hídrico enfrentado pela planta, o qual possivelmente acabou gerando reduções nas trocas gasosas, inibindo vários processos bioquímicos e fisiológicos, como respiração, absorção de íons e metabolismo dos nutrientes. Sendo isso, devido ao fechamento estomático, a planta adapta-se com o objetivo de reduzir a perda de água, favorecendo a turgescência celular, evitando que o potencial hídrico atinja níveis críticos, buscando estabilidade do sistema de transporte de água (OREN et al., 1999; SILVA et al., 2004; GONÇALVES, 2013)

Os resultados obtidos para taxa fotossintética corroboram às informações mencionadas anteriormente, no qual houve diferença significativa para a variável condição hídrica delimitada no estágio V_3-V_4 e R_3-R_4 , em que no estágio vegetativo apenas à primeira época de semeadura, as plantas sob sequeiro obtiveram reduções de 34,7% em comparação com o cultivo irrigado (Figura 13A). Já no estágio reprodutivo, apenas as plantas semeadas na segunda época de semeadura obtiveram diferenças significativas, quando a condição irrigada obteve média de $28,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e a condição de sequeiro $24,7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (-17%) (Figura 13B).

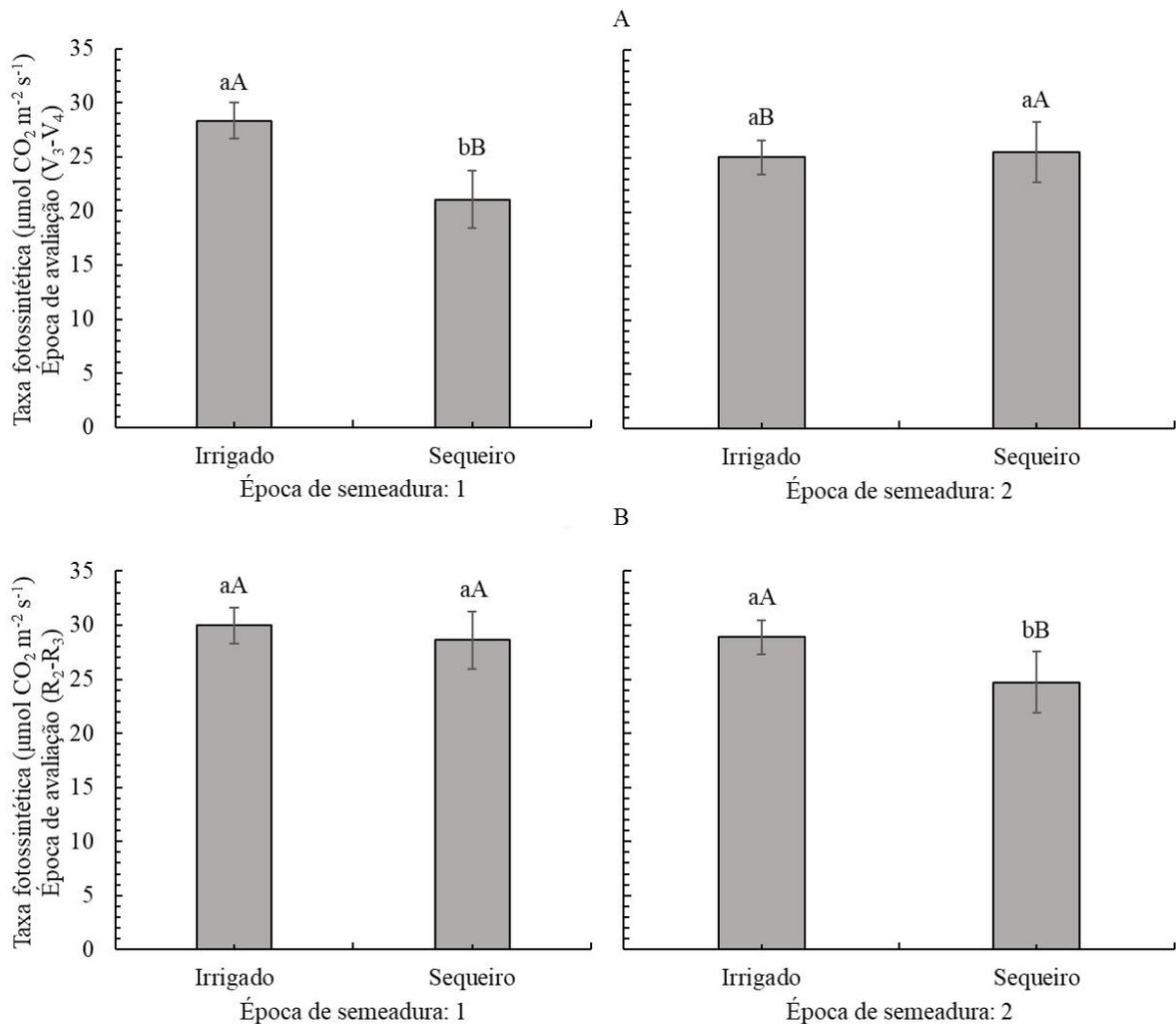


Figura 13 - Taxa fotossintética realizada em duas épocas de avaliação (V₃-V₄, A e R₂-R₃, B) em plantas de soja cultivadas em duas épocas de plantio (25/09/2021, 1 e 18/10/2021, 2) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem-se entre si para época de semeadura pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A presença de 7,8 mm decêndio⁻¹ e de 6,6 mm decêndio⁻¹ de DEF no momento da determinação da taxa fotossintética, possivelmente, foi capaz de alterar o desenvolvimento fisiológico das plantas, atuando na diminuição do potencial hídrico foliar, gerando uma menor taxa de assimilação líquida de CO₂, afetando parte do processo fotossintético (SILVA et al., 2015). Informação essa que contradiz com as de Ferrari, Paz e Silva (2015) no qual citam que estresses hídricos moderados na cultura da soja não atrapalham as reações fotossintéticas nos cloroplastos.

Com a restrição do CO₂ para o processo fotossintético, ocorre decréscimo da redução do carbono pelo ciclo de Calvin-Benson e, em consequência, o NADP⁺ que tem função final

de acceptor de elétrons, acaba sendo oxidado. Diante disso, a ferredoxina na forma reduzida, elétrons do fotossistema I gerados através da quebra da molécula de água, são transferidos para o oxigênio, produzindo uma gama de espécies reativas de oxigênio (ERO's) (CARNEIRO, 2011). Com o acúmulo de ERO's, gerados através deste desequilíbrio sob ação do estresse, há efeitos danosos ao metabolismo e à estrutura de macromoléculas funcionárias da célula (FANG e XIONG, 2015).

Estudos realizados por Flexas et al. (2006) mostram que, caso a presença de estresse hídrico ocorra em estágios iniciais de desenvolvimento da cultura, o processo fotossintético acaba sendo intensamente limitado principalmente pela restrição da difusão de CO₂, ou seja, redução da condutância estomática e condutância do mesófilo, devido à baixa regeneração da rubisco.

A variável taxa transpiratória se diferiu estatisticamente para ambas as fontes de variação no estágio vegetativo V₃-V₄, porém, no estágio reprodutivo R₂-R₃, houve diferença apenas sob a fonte de variação época de semeadura. Na condição de sequeiro, mensurado no estágio vegetativo, é possível observar que houve uma redução de 20% em relação à condição irrigada, enquanto o comportamento na segunda época foi contrário ao apresentado anteriormente, com a condição de sequeiro superior à irrigada (11%) (Figura 14A). Já a realizada no estágio reprodutivo, as plantas conduzidas sob a segunda época obtiveram menores médias (4,04 mmol m⁻² s⁻¹ irrigado, 4,5 mmol m⁻² s⁻¹ sequeiro) (Figura 14B).

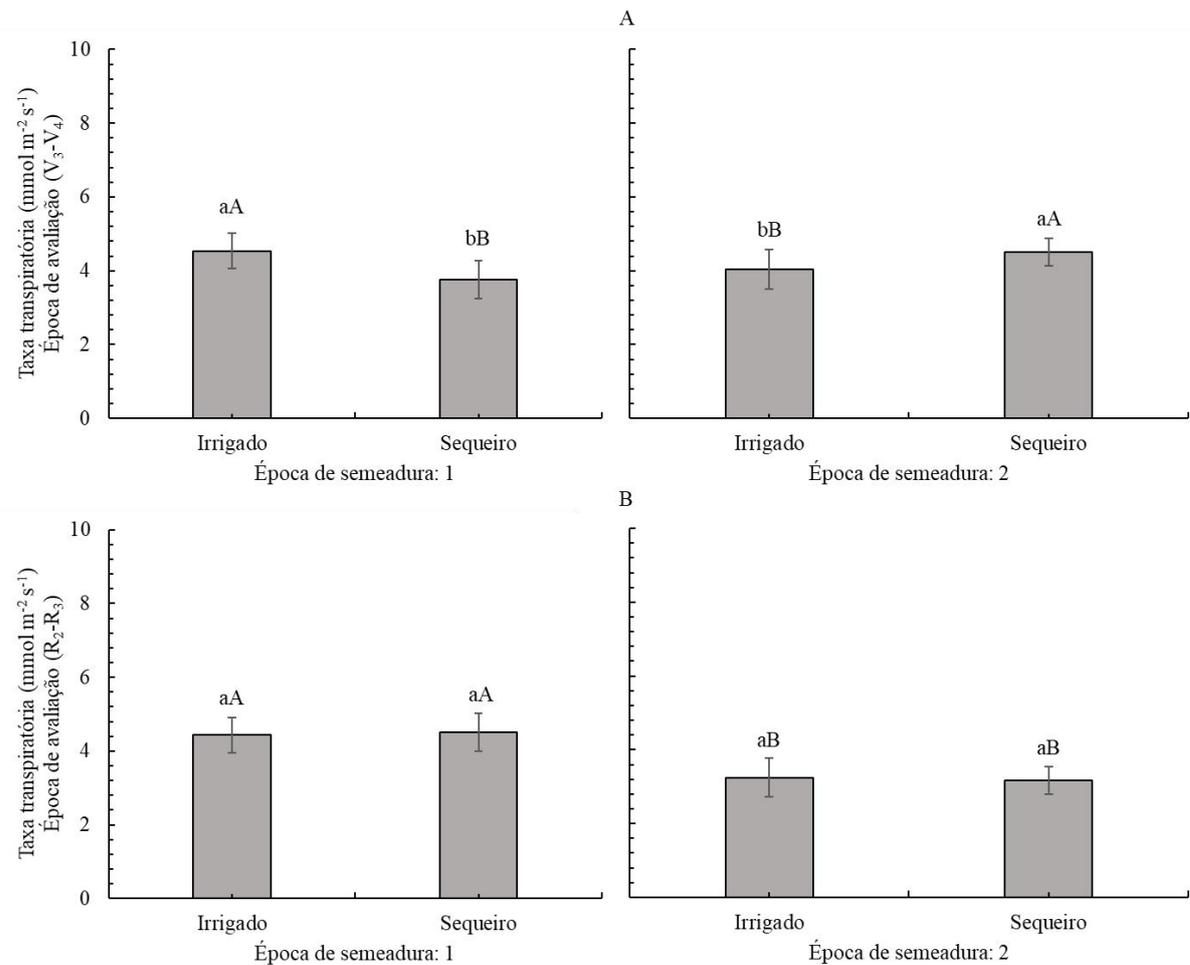


Figura 14 - Taxa transpiratória realizada em duas épocas de avaliação (V₃-V₄, A e R₂-R₃, B) em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, 1 e 18/10/2021, 2) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem-se entre si para época de semeadura pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados semelhantes foram encontrados por Fioreze (2013) nos quais plantas cultivadas sob déficit hídrico apresentaram redução na taxa fotossintética e de transpiração, comportamento esse obtido por consequência do fechamento estomático, sendo uma estratégia das plantas para limitar as perdas excessivas de água.

Diante disso, é possível observar que 7,8 mm déficit hídrico no início do desenvolvimento vegetativo da cultura para condição de sequeiro foi capaz de gerar mudanças fisiológicas que implicaram na limitação da entrada de CO₂ pelos estômatos, restringindo assim as atividades fotoquímicas e bioquímicas da fotossíntese, corroborando com os resultados de Catuchi et al. (2011). Na segunda época de semeadura, esse comportamento não foi evidente, no qual houve redução do potencial hídrico foliar, porém as plantas mantiveram

suas taxas fotossintéticas ativas, e aumentaram sua transpiração. Supostamente a baixa presença de deficiência hídrica ($6,3 \text{ mm decêndio}^{-1}$), ocorrida antes da avaliação não foi suficiente para promover mudanças bioquímicas e fisiológicas nas plantas.

Já para segunda época de avaliação R₂-R₃ (Figura 14B), a baixa transpiração pode estar relacionada com o excesso de chuvas aliado aos dias nublados, diminuindo a fotossíntese, a fixação de nitrogênio e, ainda, reduzindo o enchimento de grãos conforme Pelegrini (2018).

A elevada transpiração observada para as plantas, por um lado facilita a entrada de CO₂ para carboxilação, porém, pode levar à desidratação dos tecidos vegetais devido à elevada perda de água, dados esses observados na primeira época de semeadura durante o estágio reprodutivo R₂-R₃ (Figura 14B). Então, para evitar o aumento da transpiração ocorre o fechamento estomático, sendo ele benéfico para manutenção de água nos tecidos, porém, leva à deficiência de CO₂ para o processo fotossintético, comportamento semelhante ao encontrado no presente trabalho no estágio vegetativo V₃-V₄ (Figura 14A), portanto, esse comportamento acaba desencadeando também o aumento da temperatura foliar (CHRISTMANN et al., 2007).

Para a variável temperatura foliar, houve diferença significativa para fonte de variação época de semeadura em ambos os estádios mensurados. Porém, para condição hídrica delimitada, apenas as plantas mensuradas no estágio vegetativo V₃-V₄ sob a primeira época de semeadura obtiveram aumento significativo (Figura 15A). Durante o estágio reprodutivo R₂-R₃, houve diferença apenas para fonte de variação época de semeadura, sendo as plantas cultivadas na primeira época as que obtiveram maiores médias (33°C para condição irrigada e 33°C para condição de sequeiro) obtendo um aumento de 18,3% e 14,9%, respectivamente (Figura 15B).

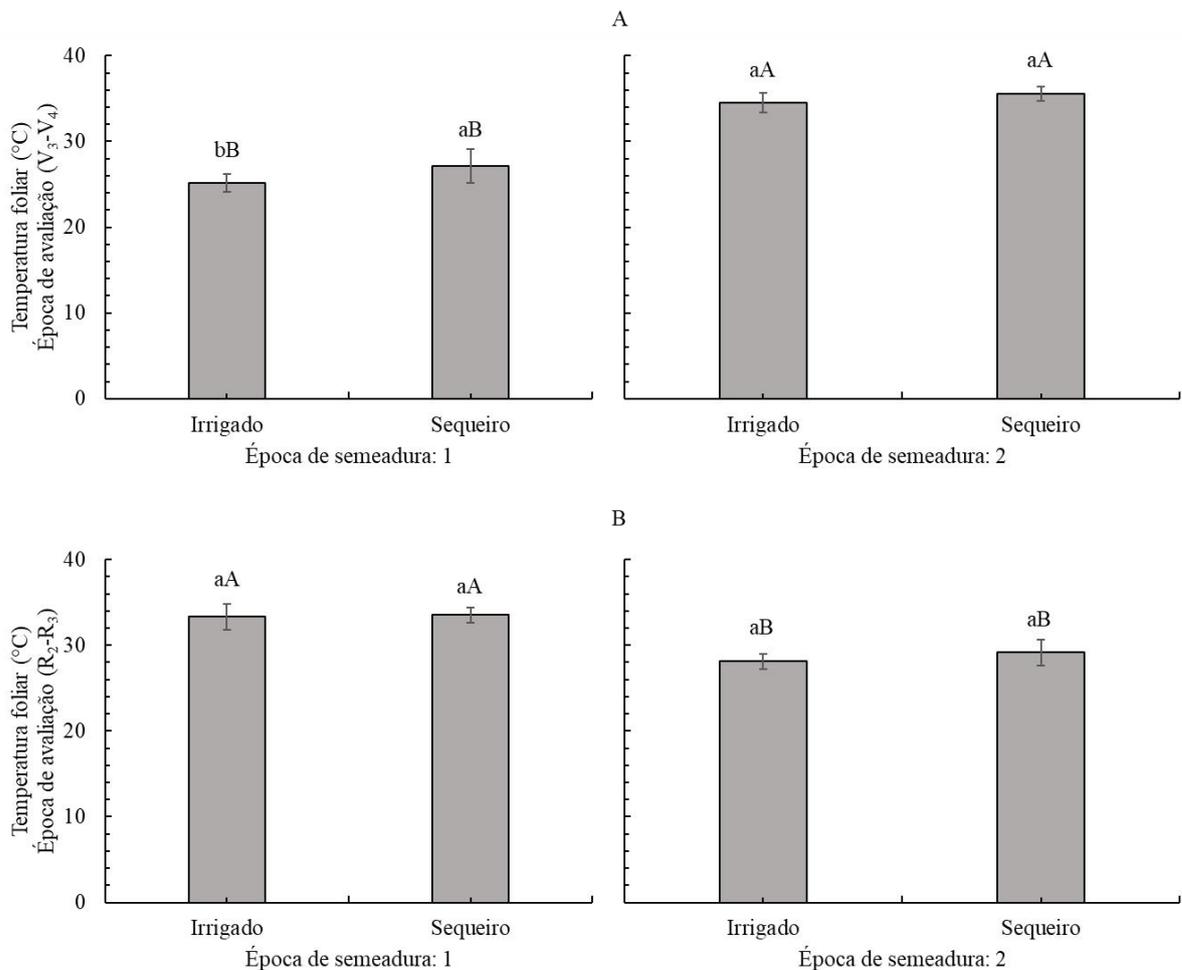


Figura 15 - Temperatura foliar realizada em duas épocas de avaliação (V₃-V₄, A e R₂-R₃, B) em trifólios do terço médio das plantas de soja cultivadas em duas épocas de sementeira (25/09/2021, 1 e 18/10/2021, 2) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem-se entre si para época de sementeira pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

As maiores médias de temperatura foliar situadas na segunda época de sementeira durante o estágio vegetativo e para a primeira época durante o estágio reprodutivo pode ser justificada pelo comportamento obtido da transpiração foliar, no qual a mesma não estava sendo efetiva em propiciar o “refrigeração” foliar, permitindo que a temperatura não ficasse menor que a do ar circulante (SALINET, 2009). Além disso, é possível afirmar que a intensidade do déficit hídrico mesmo não sendo severo, aliado à baixa radiação solar presente no estágio vegetativo para primeira época de sementeira, foi capaz de desencadear mecanismos fisiológicos como um possível fechamento estomático para evitar a perda de água excessiva e manter baixos níveis de temperatura foliar. Portanto, para segunda época de sementeira as determinadas condições foram capazes de promover a redução do potencial

hídrico foliar e o aumento da temperatura foliar, ocasionado pela elevada taxa transpiratória, porém, não foi observada uma possível resposta de defesa das plantas, dando início ao fechamento estomático.

5.10 Conteúdo relativo de água na folha (CRA)

Para conteúdo relativo de água na folha (CRA) não houve diferença significativa em nenhuma das fontes de variação utilizada. (Figura 16A e 16B).

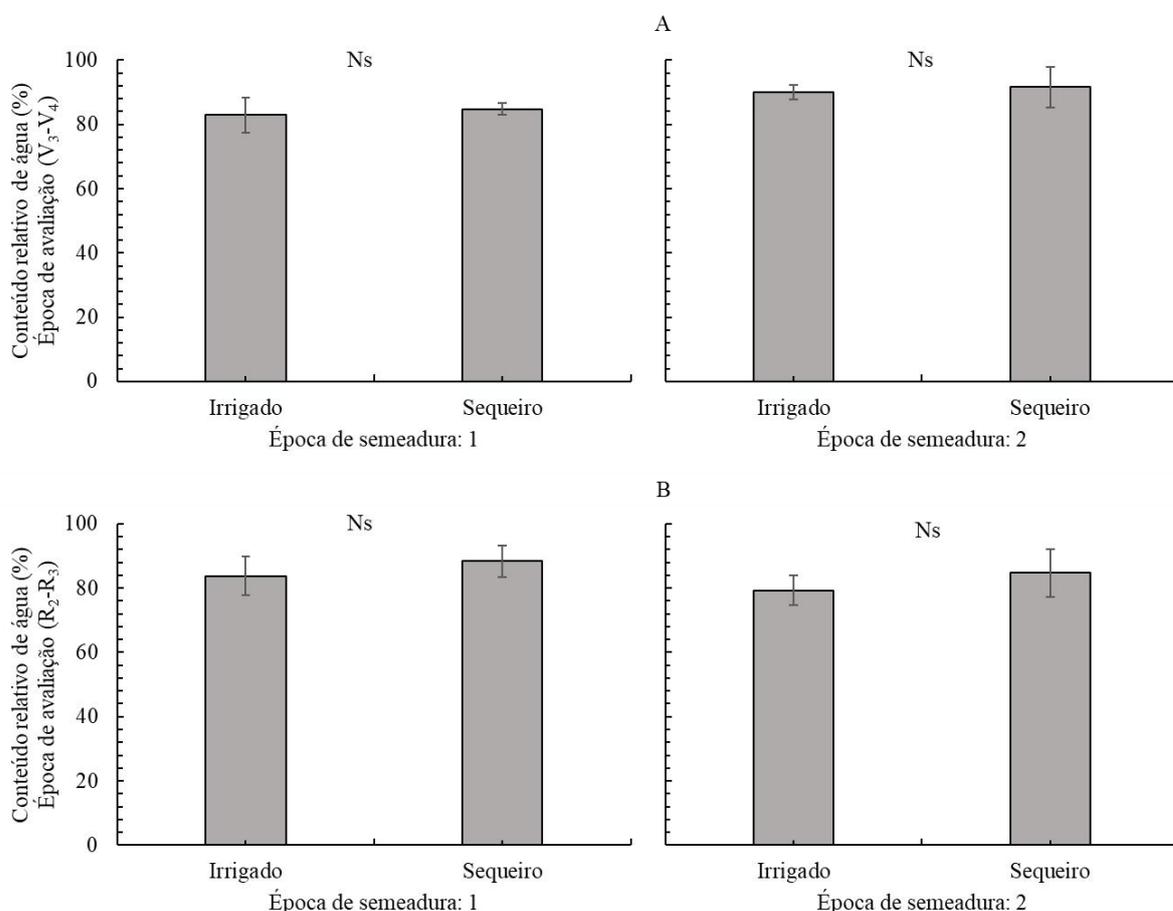


Figura 16 - Conteúdo relativo de água na folha realizado em duas épocas de avaliação (V_3-V_4 , A e R_2-R_3 , B) em folíolos do terço médio das plantas de soja cultivadas em duas épocas de sementeira (25/09/2021, 1 e 18/10/2021, 2) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem-se entre si para época de sementeira pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados obtidos para CRA são contrários aos de Graça et al. (2010), no qual observaram redução quando submeteram três diferentes cultivares de cana de açúcar ao

estresse hídrico. Trabalhos realizados com feijão (GUIMARÃES, 2001 e MACHADO, 2007) e soja (ZOZ, 2009) foram marcados também por reduções significativas no conteúdo relativo de água na folha quando as determinadas culturas foram submetidas ao estresse hídrico.

Diante disso, a média dos teores observados estão acima de 80%, simbolizando que esse decréscimo pode ser superado com possíveis alterações na concentração atmosférica de CO₂. Caso esses teores fossem menores que 75%, a planta passaria a assimilar oxigênio, tornando-se menos reversível com o aumento do CO₂ atmosférico, trazendo redução nas taxas fotossintéticas (LAWLOR e CORNIC, 2002).

Possivelmente a intensidade de déficit hídrico presente ao longo do desenvolvimento da cultura não foi suficiente para promover a redução do conteúdo relativo de água nas células, no qual, afeta diretamente os processos de fotossíntese e expansão foliar (LAWLOR e UPRETY, 1993, e TAIZ e ZEIGER., 1998). Segundo Hsiao (1990), o CRA apesar de simples, pode ser tão eficiente quanto à determinação do potencial hídrico das folhas, porém nas condições do presente trabalho, o comportamento do CRA foi contrário ao do potencial hídrico. Esse comportamento se dá devido à menor disponibilidade de água no solo associada à perda de água via transpiração. Portanto, nas condições do presente trabalho não foi possível observar essa resposta, sendo a variável apontada como eficiente no estudo da adaptação de plantas à seca (JONES, 2007).

5.11 Extravasamento de eletrólitos (TLE)

O extravasamento de eletrólitos (TLE) realizado no estágio vegetativo V₃-V₄, apresentou diferença significativa apenas para fonte de variação condição hídrica delimitada na primeira época de semeadura (Figura 17A), quando a condição de sequeiro foi superior à condição irrigada (0,6%). Já a realizada no estágio reprodutivo R₂-R₃, houve um comportamento contrário, no qual ocorreu diferença apenas para segunda época de semeadura, quando a condição de sequeiro foi inferior 19% ao cultivo irrigado (Figura 17B).

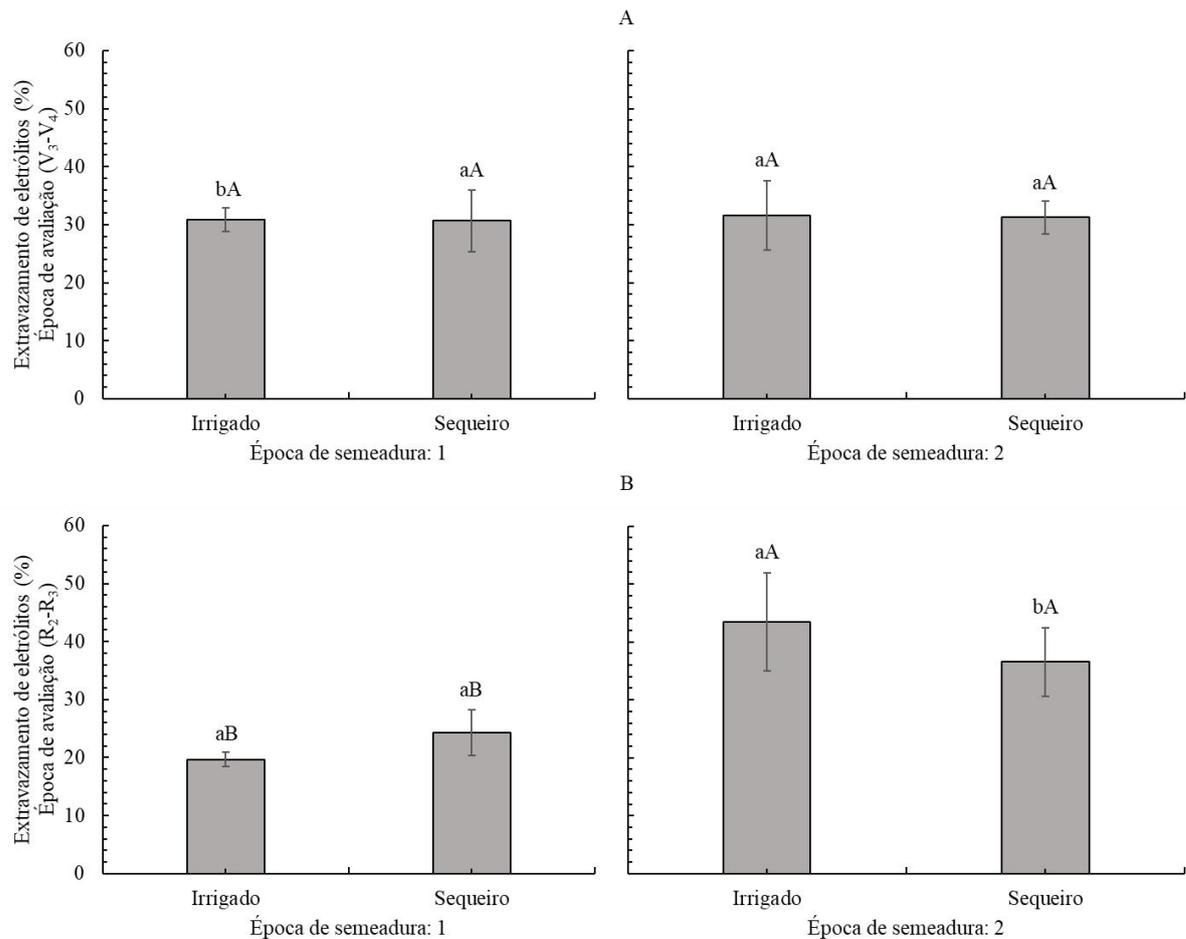


Figura 17 - Extravasamento de eletrólitos realizado em duas épocas de avaliação (V₃-V₄, A e R₂-R₃, B) em discos foliares coletados em folíolos do terço médio das plantas de soja cultivadas em duas épocas de sementeira (25/09/2021, 1 e 18/10/2021, 2) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem-se entre si para época de sementeira pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Mesmo a cultura tendo sido semeada na segunda época, possivelmente sua intensidade de deficiência hídrica foi mais severa próximo ao estágio fenológico R₃ no qual permitiu um maior extravasamento para ambas as condições. A baixa significância entre as condições hídricas delimitadas e/ou mal comportamento da variável pode ser explicada pelo fato da liberação de eletrólitos ocorrer mais intensamente em níveis mais severos de déficits hídricos, por conta do aumento da quantidade de espécies reativas de oxigênio (superóxidos), radicais livres e de enzimas de “lise” (ROY-MACAULEY et al., 1992), que dão origem na ruptura e aumento da permeabilidade das membranas e, muitas vezes, geram danos irreversíveis nas organelas e moléculas presentes no interior das células (ALONSO et al., 1997). Nesse sentido, o déficit enfrentado pelas plantas foi capaz de provocar danos mecânicos na parede celular da

espécie apenas no estágio vegetativo V₃-V₄ das plantas cultivadas sob a primeira época de semeadura (Figura 17A).

5.12 Densidade de venação

A densidade de venação realizada no estágio R₂-R₃ foi marcada por diferença significativa na primeira época de semeadura para ambas as fontes de variação delimitada, sendo o cultivo na condição de sequeiro o tratamento que obteve maiores médias (57,8 cm) superior 21,8% em relação à condição irrigada (Figura 18A). A segunda época de semeadura foi marcada apenas por valores superiores à primeira época (Figura 18B).

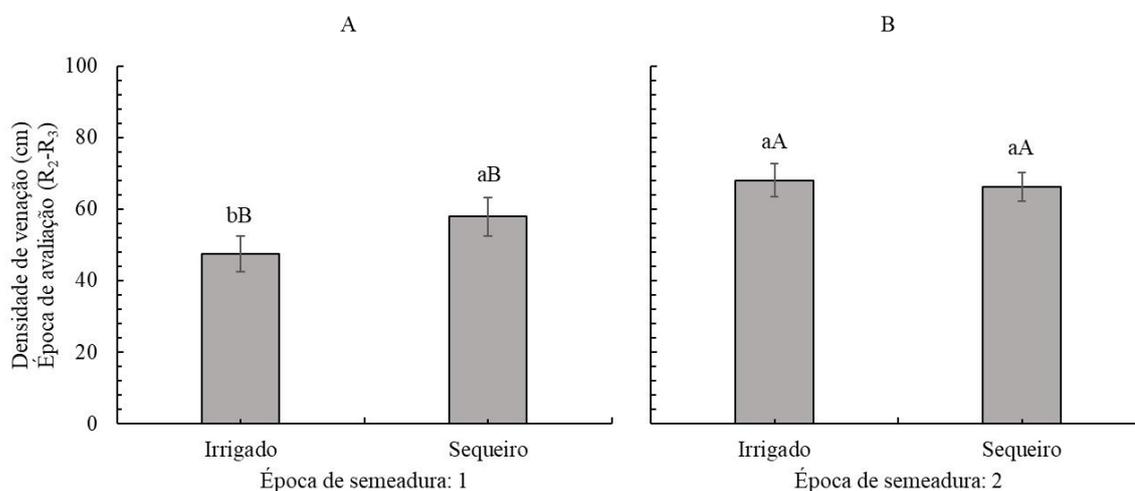


Figura 18 - Densidade de venação realizada em folíolos do terço médio das plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem-se entre si para época de semeadura pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Os dados observados no presente trabalho estão coerentes com o obtido por Alves (2018), que observou alterações morfológicas e fisiológicas das plantas de baru quando submetidas a diferentes ciclos repetidos de seca. Isto representa que as plantas semeadas na primeira época na condição de sequeiro, deu origem a vias xilemáticas mais numerosas por unidade de área e vias mais curtas para o movimento de água via xilema até os estômatos, sendo intimamente relacionada com o potencial fotossintético na abertura e fechamento estomático (SACK e HOLBROOK, 2006; BRODRIBB, FEILD e JORDAN, 2007).

Segundo estudos conduzidos por Scoffoni et al. (2011), a alta densidade de venação sob baixa disponibilidade hídrica também reduz a vulnerabilidade hidráulica e a ocorrência de

cavitação, fatores esses que contribuem para a manutenção da condutividade hidráulica foliar. Este comportamento se deu pela cultivar em momento de déficit, investir na emissão de novas folhas o que provavelmente não permitiu que as células atingissem o seu grau máximo de expansão.

5.13 Eficiência quântica do fotossistema II (Fm/Fo)

Para eficiência quântica do fotossistema II (Fm/Fo), houve diferença significativa sob a fonte de variação condição hídrica delimitada em ambas as épocas de semeadura, quando, a primeira época foi marcada por reduções intensas (com aproximadamente 96%) em relação à condição irrigada (Figura 19A), já na segunda época de semeadura, é possível observar também uma redução, porém de menor intensidade (29% inferior à condição irrigada) (Figura 19B).

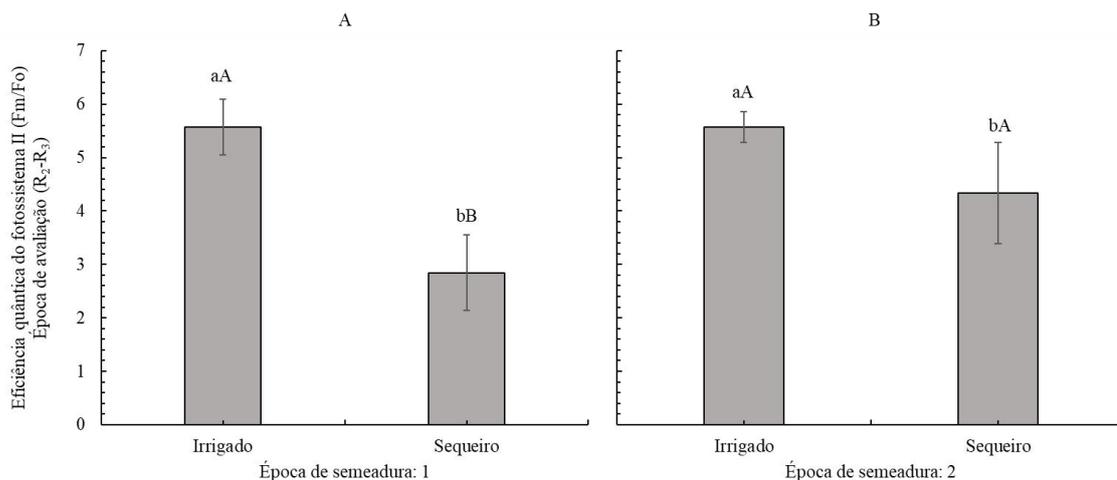


Figura 19 - Eficiência quântica do fotossistema II realizada em folíolos do terço médio das plantas de soja submetidos ao escuro por 30 min cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem-se entre si para época de semeadura pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A queda da taxa fotossintética em função do déficit hídrico no presente trabalho foi acompanhada pelo decréscimo na eficiência quântica do fotossintema II. Queda nos valores da razão Fm/Fo indica decréscimo na eficiência fotoquímica, o que gera uma redução da eficiência do aparelho fotossintético na absorção e transferência de energia luminosa até os

centros de reação e queda na reoxidação dos receptores de elétrons do PSII (plastoquinonas) (BACARIN e MOSQUIM, 2002).

Segundo Krause e Weis (1991), plantas em condições de estresse apresentam decréscimo na eficiência quântica potencial do fotossistema II, o que pode ser facilmente observado no presente trabalho, evidenciando que as plantas sofreram danos intensos através do decréscimo da razão F_m/F_o .

He, Wang e Liang (1995) observaram danos fotoinibitórios ao fotossistema II (FSII), que verificou degradação das proteínas D1 e D2, principalmente da D2 quando submetidos plantas de trigo ao déficit hídrico, evidenciando ainda mais que as plantas foram marcadas por degradação das determinadas proteínas presentes no FSII.

5.14 Índice de desempenho fotossintético (Pi/Abs)

O índice de desempenho fotossintético (Pi/Abs) obteve comportamento semelhante ao da eficiência quântica do fotossistema II, obtendo diferença significativa apenas sob a fonte de variação condição hídrica delimitada para ambas as épocas de semeadura 25/09/2021 (Figura 20A) e 18/10/2021 (Figura 20B) a condição de sequeiro foi a que obteve menores médias.

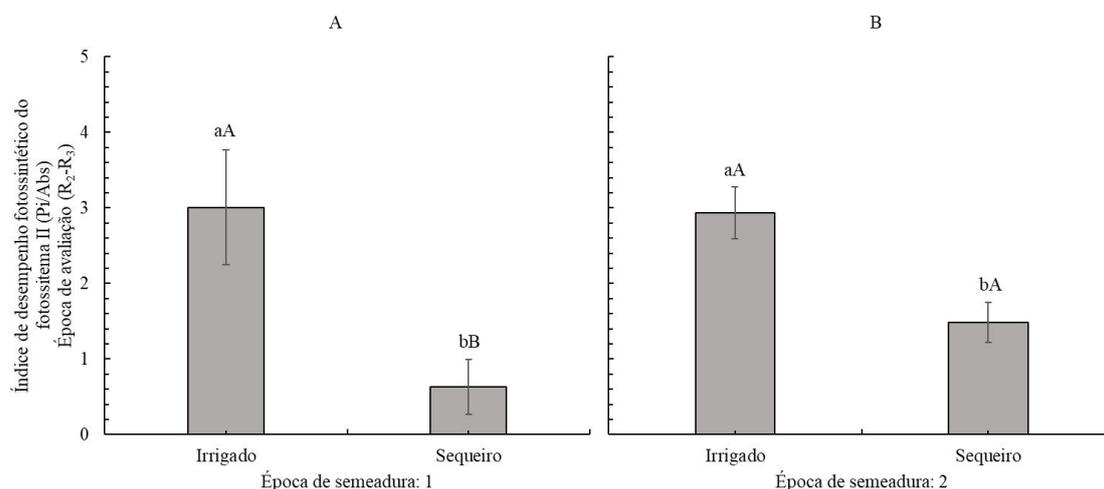


Figura 20 - Índice de desempenho fotossintético do fotossistema II realizado em folíolos do terço médio das plantas de soja submetidos ao escuro por 30 minutos cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem-se entre si para época de semeadura pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O parâmetro tem sido considerado mais sensível para detecção e quantificação de estresse nas plantas do que a resposta da eficiência máxima do fotossistema II. Isto pelo fato da variável relacionar a eficiência de absorção, captura e transferência de energia de excitação do fotossistema II, proporcionando uma visão mais ampla de efeito do ambiente estressante (GONÇALVES e SANTOS JR, 2005), ou seja, mais consistência para avaliar a resposta do FSII tem sido obtido com essa variável do que apenas para a razão F_m/F_o , confirmando a informação mencionada no item 5.10.

5.15 Taxa de transporte de elétrons (Phi/Eo)

A taxa de transporte de elétrons (Phi/Eo) foi marcada também por reduções de maior intensidade na primeira época de semeadura (45%) (Figura 21A), porém não houve redução significativa para segunda época de semeadura nas determinadas condições hídricas (Figura 21B), apresentando médias de 0,45 para condição irrigada e 0,4 para condição de sequeiro.

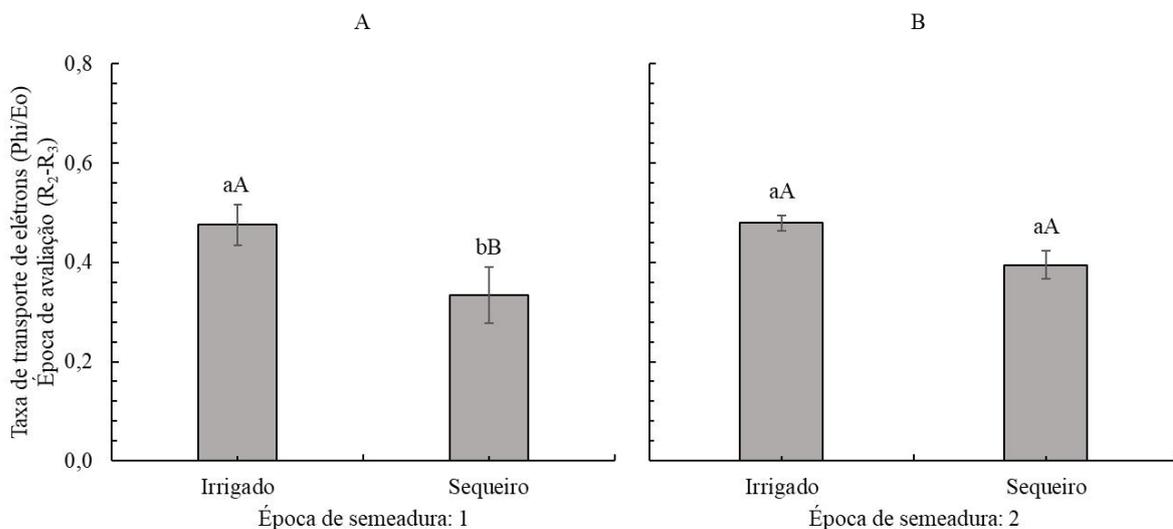


Figura 21 - Taxa de transporte de elétrons realizada em folíolos do terço médio das plantas de soja submetidos ao escuro por 30 minutos cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem-se entre si para época de semeadura pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Esse desempenho pode ser explicado, pois plantas sob deficiência hídrica tendem a reduzir a taxa de transporte de elétrons como estratégia de defesa contra danos fotooxidativos

e formação de espécies reativas de oxigênio (ERO's), limitando a etapa fotoquímica da fotossíntese (GURURANI, VENKATESH e TRAN, 2015; YAMORI, 2016).

Zhang et al. (2011) e Wang et al. (2018) citam que o déficit hídrico gera um desequilíbrio entre a produção e utilização de elétrons, pois leva ao excesso de energia luminosa no complexo antena, trazendo então redução na eficiência fotoquímica e ocasionando danos no centro de reação do FSII. Portanto, essa possível indução na redução da Phi/Eo para segunda época de semeadura foi capaz de reduzir a taxa fotossintética líquida.

5.16 Altura de plantas

A condição irrigada foi a que apresentou maior altura de plantas em quase todas medições, exceto na época de avaliação V₃-V₄ realizada nas plantas cultivadas na segunda época de plantio, quando não houve diferença significativa entre as condições delimitadas (Figura 22A).

Para a primeira época de avaliação, as plantas cultivadas na condição irrigada sob a antecipação da semeadura apresentaram melhor desempenho (36%) em relação à segunda época de semeadura, com médias de 0,38 m e 0,28 m, respectivamente. Sob a condição de sequeiro, as plantas cultivadas na primeira época de semeadura apresentaram menor desempenho (71,8%) em relação às cultivadas na segunda época de semeadura, apresentando médias de 0,15 m e 0,26 m, respectivamente.

Na época de avaliação R₂-R₃, as plantas cultivadas na condição irrigada da primeira época de semeadura obtiveram médias 7,4% superiores à segunda época, com médias de 1,01 m e 0,94 m, respectivamente. Sob o cultivo de sequeiro, as condições da segunda época propiciaram em melhor desenvolvimento em relação à primeira época, com um acréscimo de 53,0% para variável mensurada (Figura 22B).

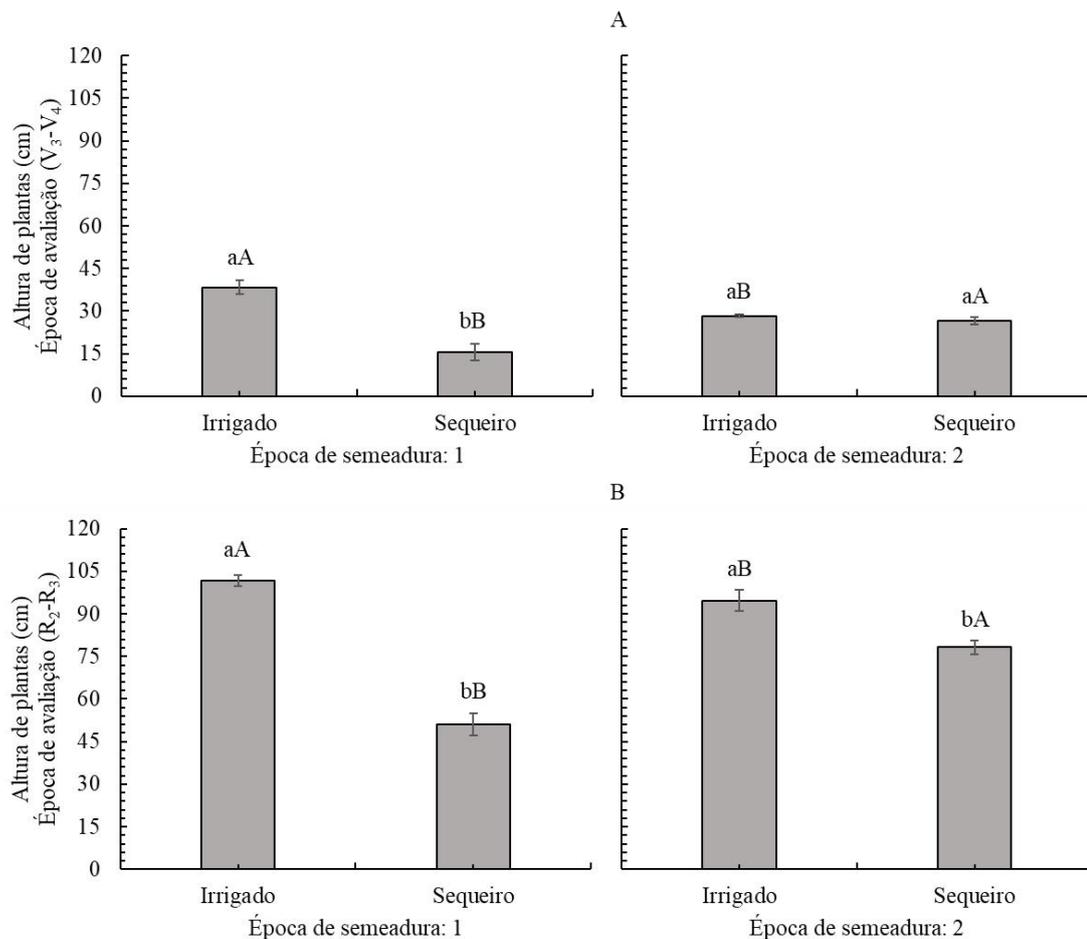


Figura 22 - Altura de plantas realizada em duas épocas de avaliação (V₃-V₄, A e R₂-R₃, B) em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, 1 e 18/10/2021, 2) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem-se entre si para época de semeadura pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Essa significância é explicada devido à baixa disponibilidade hídrica enfrentada pelas plantas que foram submetidas à antecipação da semeadura sob a condição de sequeiro, em que acabou ocasionando uma baixa população de plantas observada na variável estande, mensurada no trabalho.

Estudo realizado por Silva et al. (2020) com o objetivo de observar o comportamento de 5 diferentes cultivares de soja inclusive a BONUS IPRO, utilizada no presente trabalho, sob o manejo da irrigação em plantio direto, observou que a cultivar específica acompanhada da BRS 1003 IPRO, DESAFIO RR e CD 2737 RR obtiveram menores alturas quando submetida ao cultivo de sequeiro, comportamento esse devido à influência da baixa densidade

de plantas, quando é elevada, promove então maior competição por luz, e conseqüentemente a alongação do caule.

Barbosa et al. (2020) citam também que, a variável altura de planta é totalmente influenciada pela disponibilidade hídrica, sendo a água o principal constituinte dos tecidos vegetais, estando ligada à manutenção da turgência celular, fator esse extremamente relevante para taxa fotossintética e conseqüentemente para o crescimento das plantas.

Porém, o aumento da altura de planta também pode ser um aspecto negativo, por contribuir para o acamamento de plantas, resultando em reduções de produção, e até mesmo no aumento da severidade de doenças por propiciar um microclima favorável para o desenvolvimento do patógeno e dificultar a eficiência do controle químico (KNEBEL et al., 2006).

5.17 Área foliar

Para área foliar realizada nas plantas cultivadas na primeira época de semeadura, apresentaram valores de 3.819,9 cm² para a condição irrigada, diferindo-se estatisticamente da condição de sequeiro, em que obteve médias de 7.496,2 cm² (96,2% superior ao tratamento irrigado) (Figura 23A). Já para segunda época de semeadura, não houve diferença significativa entre os tratamentos (Figura 23B).

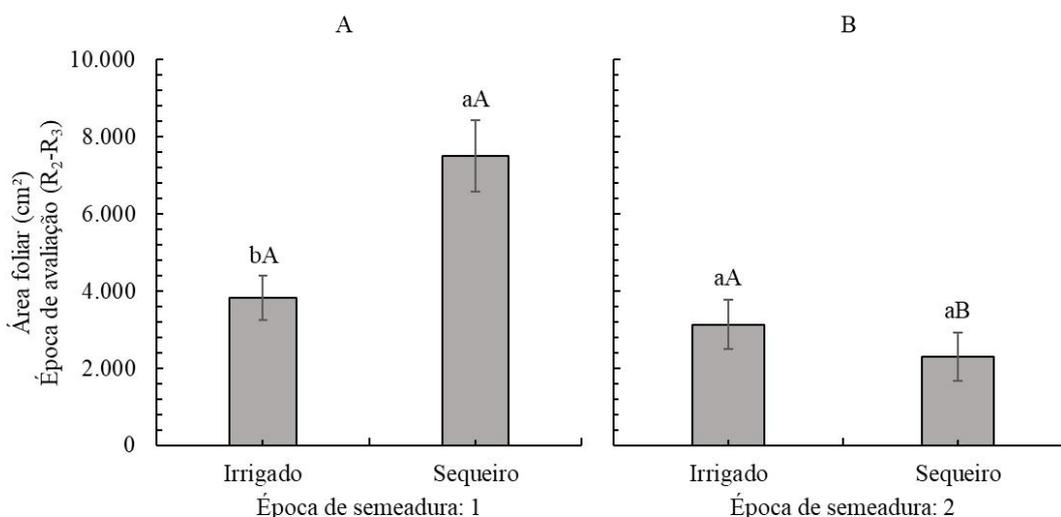


Figura 23 - Área foliar realizada em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem-se entre si para época de semeadura pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A maior área foliar obtida nas plantas cultivadas sob a primeira época de semeadura, na condição de sequeiro, pode ser justificada pela grande capacidade da cultivar Bônus em compensar espaços disponíveis pela formação de maior área foliar por planta, originado pelo baixo estande de plantas obtidos nesta determinada condição de cultivo, sendo esse um mecanismo extremamente relevante de plasticidade fenotípica da soja (RITCHIE et al., 1994, COX e CHERNEY, 2011). Yusuf, Siemes e Bullock (1999) afirmam que caso a cultura da soja esteja sob baixo estande, a mesma possui uma alta capacidade de compensar espaços, dando origem a maiores ramificações laterais, as quais terão maior número de vagens e grãos, compensando a produtividade de grãos. Já Linzmeyer Júnior et al. (2008) avaliando diferentes população de plantas, observaram que não houve modificação no índice de área foliar.

A elevada área foliar observada no presente trabalho pode gerar baixa produtividade da cultura devido ao alto gasto energético da planta provocado pela respiração e fotorrespiração, ocasionando perdas de folhas do terço inferior através de sua senescência precoce, ataque de pragas e doenças, podendo gerar até o acamamento destas plantas (BALBINOT JÚNIOR et al., 2018).

Zabot et al. (2004) citam que o incremento de área foliar pode aumentar a produção de matéria seca, mas devido ao auto sombreamento das folhas, a taxa fotossintética média por unidade de área acaba sendo reduzida. Ou seja, à medida que o índice de área foliar aumenta, as folhas inferiores são mais sombreadas e, conseqüentemente, a taxa fotossintética média em toda área foliar é reduzida. Este aumento expressivo nos valores de área foliar indica elevada demanda de fotoassimilados para manutenção do crescimento vegetativo. Porém, esse direcionamento de fotoassimilados para a fase vegetativa acaba reduzindo a disponibilidade para a fase reprodutiva, contribuindo assim para uma menor produtividade (DOLFERUS e RICHARDS, 2011).

5.18 Matéria seca de caule e de folhas

Para a variável matéria seca de caule das plantas cultivadas na primeira época de semeadura, houve diferença significativa para a fonte de variação condição hídrica delimitada, no qual o sequeiro obteve maiores médias (49,1% superior à condição irrigada) (Figura 24A). Já nas plantas cultivadas sob a segunda época de semeadura, não foi observada diferença significativa entre as condições delimitadas (Figura 24B). Para a fonte de variação época de semeadura, apenas a condição de sequeiro se diferiu estatisticamente, quando a primeira época obteve maiores médias.

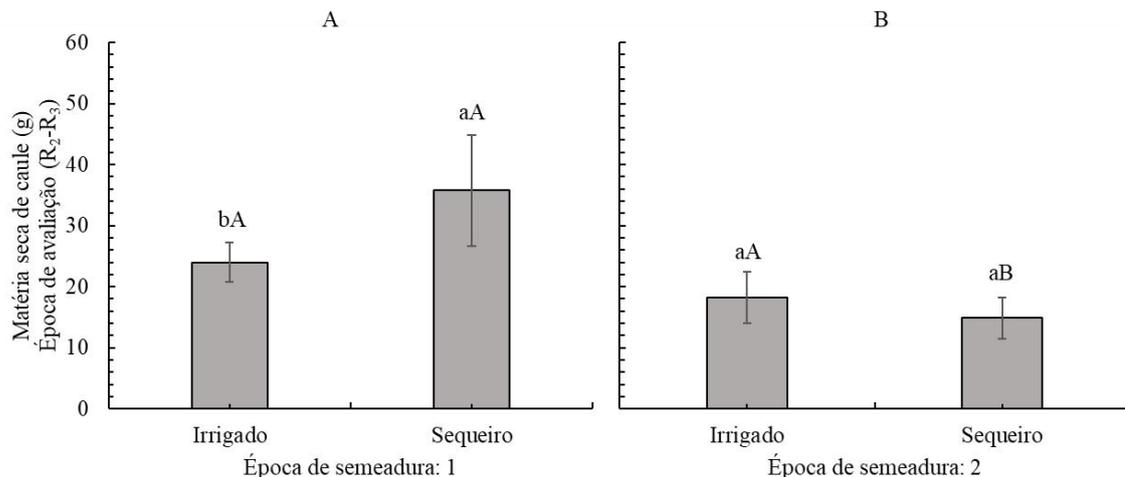


Figura 24 - Matéria seca de caule realizado em plantas de soja cultivadas em duas épocas de sementeira (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem-se entre si para época de sementeira pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A matéria seca de folhas houve comportamento semelhante ao da variável matéria seca de caule, porém, esse incremento observado foi ainda maior ao citado anteriormente (123%) (Figura 25A). Já em relação à época de sementeira, houve diferença apenas para condição de sequeiro, sendo as plantas da segunda época as que obtiveram menores médias (Figura 25B).

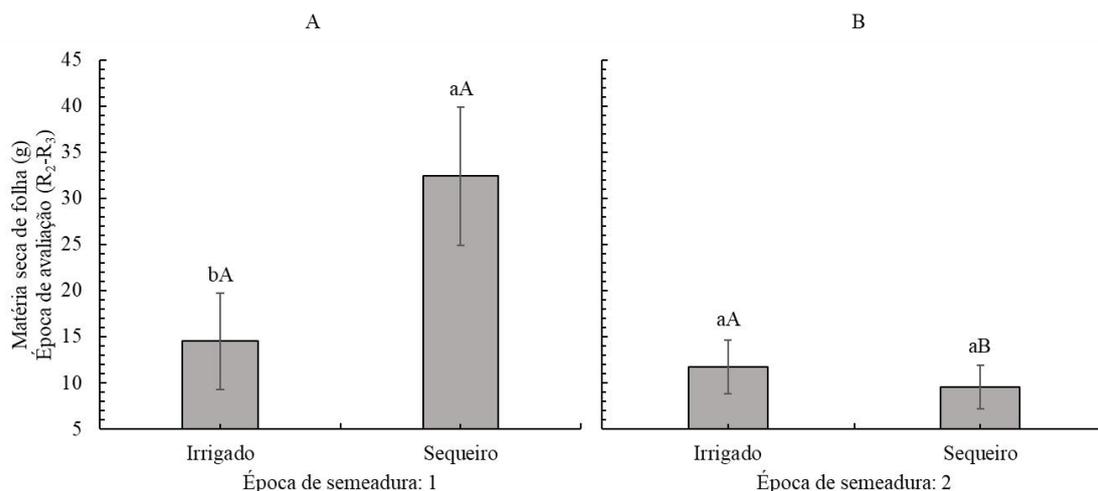


Figura 25 - Matéria seca de folha realizado em plantas de soja cultivadas em duas épocas de sementeira (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem-se entre si para época de sementeira pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O comportamento obtido sobre as duas variáveis, confirmam as informações mencionadas anteriormente de Ritchie et al. (1994) e Cox e Cherney (2011), justificando a grande plasticidade fenotípica da soja em se adaptar em determinadas condições.

A significância observada para o cultivo na primeira época de semeadura em sequeiro é reflexo principalmente da redução na expansão foliar e investimento das plantas na emissão de novas folhas em condições limitantes de água no solo, buscando maior interceptação de radiação solar e partição de fotoassimilados para os órgãos reprodutivos, com o objetivo de sobrevivência e manutenção da produtividade de grãos (BOARD e MODALI, 2005).

5.19 Número de nós produtivos na haste principal e vagens por planta

A variável número de nós produtivos por planta na haste principal mostrou que a quantidade de nós por planta na condição irrigada foi 9% superior ao tratamento de sequeiro, marcado por 10,3 nós, enquanto a condição irrigada apresentou 11,4 nós, um acréscimo de aproximadamente um nó a mais por planta na haste principal (Figura 26A).

Na segunda época de semeadura, a significância esteve presente do mesmo modo, no qual o tratamento irrigado foi 29% superior ao tratamento de sequeiro, sendo marcado por 5,9 nós por planta enquanto a condição irrigada apresentou 8,4 nós, aproximadamente uma redução de 2,4 (~2) nós por planta (Figura 26B). As plantas semeadas na primeira época de semeadura foram as que obtiveram maior produtividade sob a variável descrita (Figura 26A).

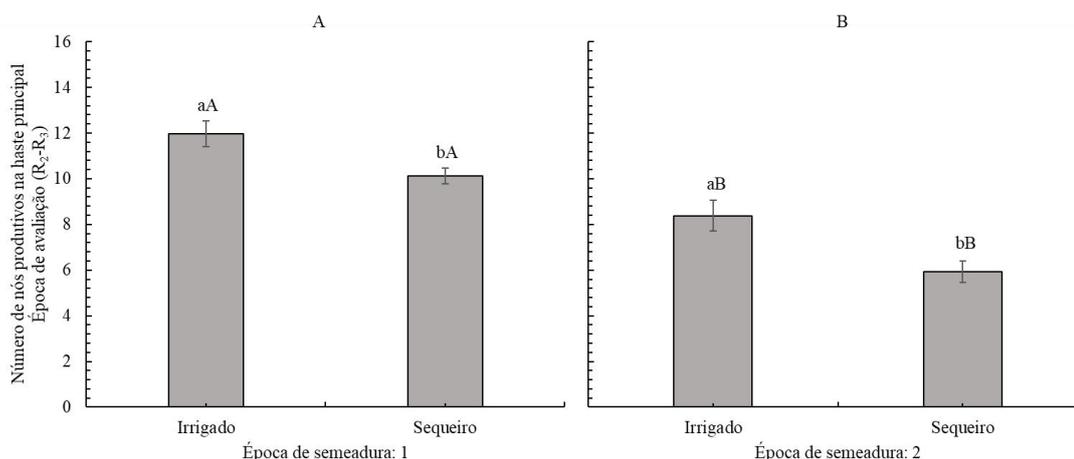


Figura 26 - Número de nós produtivos na haste principal realizado em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem-se entre si para época de semeadura pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A variável número de vagens por planta avaliada no dia da colheita também apresentou diferença significativa tanto para fonte de variação época de semeadura, quanto para condição hídrica delimitada. Durante o cultivo na primeira época de semeadura, o tratamento de sequeiro se destacou com incremento de 232% em comparação à condição irrigada, obtendo médias de 248,4 e 74,9 vagens por planta, respectivamente (Figura 27A). Não houve diferença significativa para condição hídrica delimitada na segunda época de semeadura (Figura 27B).

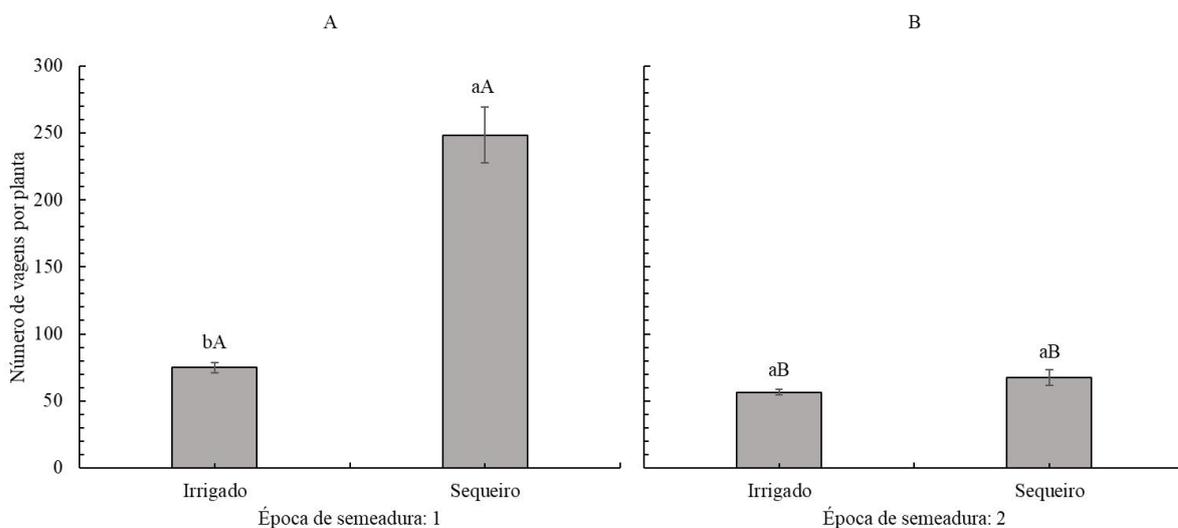


Figura 27 - Número de vagens realizado em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem-se entre si para época de semeadura pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Diante disso, Martins et al. (1999) citam que a população de plantas influencia diretamente o crescimento da soja, além de interferir na competição inter e intraespecífica por recursos do solo, pode provocar mudanças morfofisiológicas nas plantas (ARGENTA et al., 2001), como no número de nós produtivos, no qual dará origem ao surgimento de gemas reprodutivas.

Ainda nesse sentido, Petry (2000), Thomas e Costa (1994) citam que quando ocorre uma redução na altura das plantas devido à presença de déficit hídricos, isso reflete diretamente na diminuição dos números e comprimentos de nós.

As informações observadas para variável número de vagens por planta no presente trabalho corroboram com as de Yusuf, Siemes e Bullock (1999) mencionadas anteriormente

no qual citam que a cultura sob déficit hídrico e baixa população de plantas gera ramificações laterais com o objetivo de compensar a produção de grãos por planta.

5.20 Peso de mil grãos e produtividade de grãos

O cultivo em sequeiro sob a primeira época de semeadura para a variável peso de mil grãos foi marcado por uma redução de 10% em comparação com o cultivo irrigado, quando passou de 202,4 g para 184,5 g, respectivamente (Figura 28A). Não houve diferença significativa para o peso de mil grãos na segunda época de semeadura (Figura 28B).

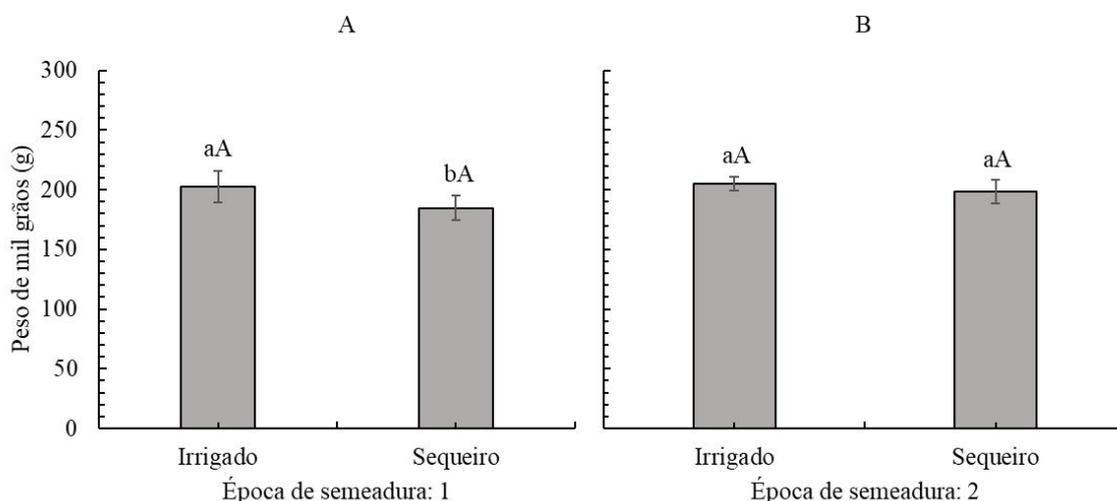


Figura 28 - Peso de mil grãos (g) realizado em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem-se entre si para época de semeadura pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A maior intensidade de déficit hídrico ao longo do ciclo da cultura semeada na primeira época de semeadura (25,7 mm) como também em estágios iniciais de seu desenvolvimento foi o fator que contribuiu para redução de 10% para variável descrita. Segundo informações de Carmo et al. (2018) caso o cultivo da soja seja realizado sob déficit hídrico, aumenta a quantidade de grãos pequenos e enrugados, uma vez que a menor disponibilidade de água para as plantas reduz as taxas fotossintéticas e também o período de enchimento de grãos.

Segundo Desclaux, Huynh e Roumet (2000), o estresse por seca pode levar também à redução direta no peso dos grãos de soja caso ocorra durante o período de enchimento de

grãos, dados esses condizentes com o presente trabalho, no qual aproximadamente 65% do déficit foi situado no estágio reprodutivo da cultura.

O mesmo ocorreu para variável produtividade de grãos, no qual houve uma redução de 7,0% em comparação com o cultivo irrigado, passando de 5.390,8 para 5.035,3 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 29A). Porém ainda assim, o cultivo da primeira época manteve maiores produtividades (5.035,3 kg ha⁻¹) em comparação com o cultivo da segunda época (3.978,7 kg ha⁻¹) para a condição de sequeiro (Figura 29B). Já para condição irrigada, as plantas, semeadas na primeira época, obtiveram melhores produtividades (5.390,8 kg ha⁻¹), em comparação com as semeadas na segunda época (4215,4 kg ha⁻¹).

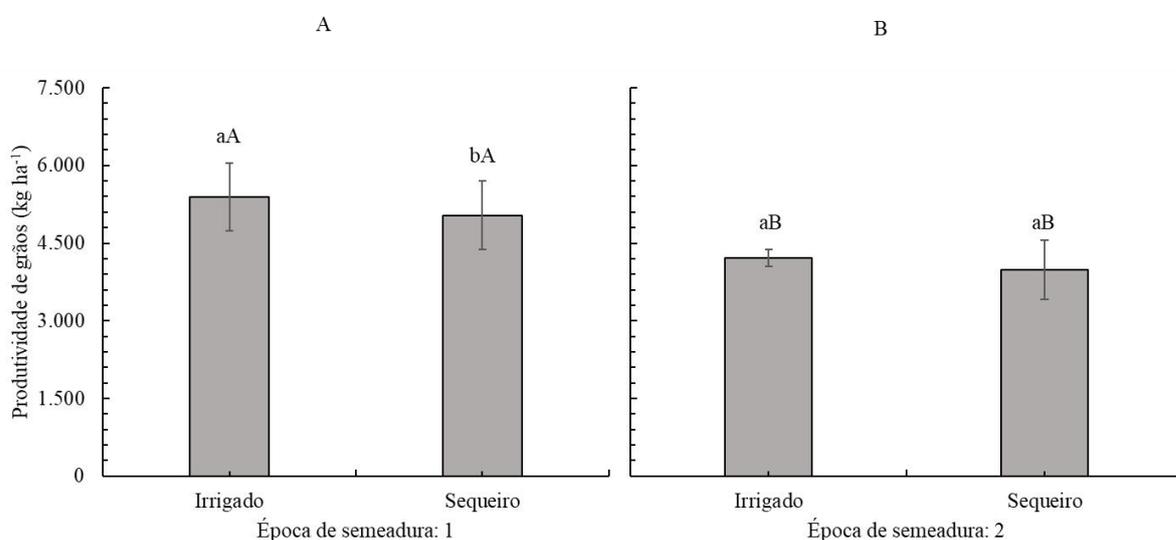


Figura 29 - Produtividade de grãos realizada em plantas de soja cultivadas em duas épocas de semeadura (25/09/2021, A e 18/10/2021, B) no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem-se entre si para época de semeadura pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com Battisti et al. (2018), a falta de água é um dos principais fatores para redução da produtividade de grãos da soja em âmbito nacional, o que corrobora com o apresentado no trabalho, em que mesmo à baixa falta de água ao longo do ciclo da cultura, foi capaz que influenciar negativamente nos componentes de produção da variedade e consequentemente na produtividade.

Dados contrários aos encontrados por Yusuf, Siemes e Bullock (1999), no qual citam que soja sob baixa população de plantas tem como preferência destinar seu desenvolvimento às ramificações laterais e à redução dos entrenós produtivos, sendo esse mecanismo

mencionado pelo autor como uma estabilização de produção da cultura, comportamento presente no trabalho.

Com o avanço da época de semeadura para o cultivo de sequeiro, houve redução significativa da produtividade (26%) que esteve associada ao menor acúmulo de matéria seca para os grãos, justificado pelo encurtamento da fase reprodutiva e/ou vegetativa, como destacado por Carvalho et al. (2020). Com o aumento da fase vegetativa, a cultura consegue maior capacidade de fixar carbono, acumular nitrogênio e conseqüentemente ter um maior desenvolvimento vegetativo, que são fundamentais no aumento do potencial produtivo (SINCLAIR et al., 2005).

A antecipação da semeadura teve como fator mais limitante do seu potencial produtivo o estresse hídrico por falta de água, e o uso da irrigação possibilitou as maiores produtividades encontradas no trabalho. Para segunda época de semeadura, não houve a necessidade de irrigação.

6 CONCLUSÃO

A produção da cultura foi superior quando se fez o uso da irrigação na semeadura antecipada. As menores produtividades ocorreram na ausência da irrigação na segunda época de semeadura. Não houve incremento significativo do uso da irrigação para a segunda época de semeadura.

O uso da irrigação com a semeadura antecipada permitiu melhor e maior desempenho fotossintético, altura de plantas, número de nós produtivos, peso de mil grãos e produtividade de grãos.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P. E. P. D. A necessidade de irrigar o milho. **AGROLINK**, 2014. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/culturas/arroz/artigo/a-necessidade-de-irrigar-o-milho_160130.html>. Acesso em: 19 maio 2022.
- ALBUQUERQUE, P. E. P. D.; RESENDE, M. Cultivo do milho Manejo de Irrigação. **Embrapa**, 2002. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/487012/1/Com47.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2022.
- ALBUQUERQUE, P. E. P.; ANDRADE, C. L. T. Planilha eletrônica para a programação da irrigação de culturas anuais. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, p.14, 2001.
- ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision**. ESA Working paper Rome: FAO, 2012.
- ALONSO A.; QUEIROZ C. G. S.; MAGALHÃES A. C. Chilling stress leads to increased cell membrane rigidity in roots of coffee (*Coffea arabica L.*) seedlings. **Biochimica et Biophysica Acta**, n.13, v.23, p.75-84, 1997.
- ALVES, R. D. F. B. **Memória à seca no cerrado: Aclimação diferencial do baru (*Dioteryx alata vogel*)**. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Conservação) – Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2018.
- ANDRADE, C. D. L. T. D.; BRITO, R. A. L. Cultivo do Milho. **Embrapa**, 2007. ISSN ISSN. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/69854/1/Irigacao-2.pdf>>. Acesso em: 19 maio 2022.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; SANGOL, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, v.31, n.6, p.1075-1084, 2001.
- ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Photosynthesis under stressful environments: an overview. **Photosynthetica, Praga**, v.51, n.2, p.163-190, 2013.
- BACARIN, M. A.; MOSQUIM, P. R. Cinética de emissão de fluorescência das clorofilas de dois genótipos de feijoeiro. **Ciência Agrotécnica**, v.26, n.4, p.705-710. 2002.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; PRIETO, J. P. C.; MORAES M. T.; WERNER, F.; FERREIRA, A. S. Crescimento e distribuição de raízes de soja em densidade de plantas, **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.17, n.1, p.12-22, 2018.
- BARBOSA, J. R.; PEREIRA FILHO, J. V.; OLIVEIRA, V. M.; SOUSA, G. G.; GOES, G. F.; K. N. Produtividade da cultura da soja irrigada com déficit hídrico regulado no cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.14, n.4, p. 4200-4210, 2020.

BARROS, H. B.; PELUZIO, J. M.; SANTOS, M. M.; BRITO, E. L.; ALMEIDA, R. D. Efeitos das épocas de semeadura no comportamento de cultivares de soja, no sul do Estado do Tocantins. **Revista Ceres** **50**: p.565-572, 2003.

BARRS, H. D.; WEATHERLEY, P. E. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. **Australian Journal of Biological Science**, v.15, p.413-428, 1962.

BATISTA, F. P. DA S. **Potencial de tolerância à seca de genótipos de trigo e soja em condição de Cerrado**. Brasília, 2017 180 p. Tese de Doutorado (D) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2017.

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

BENÍCIO, F. R.; CARVALHO, C. M.; ELOI, W. M.; GONÇALVES, F. M.; BORGES, F. R. M. Desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão na cultura da goiaba em Barbalha-CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.3, n.2, p.55-61, 2009.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. 8. Ed. Atual. e Ampl. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual da irrigação**. Viçosa - MG. Editora UFV. p.625, 2008.

BOARD, J. E.; MODALI, H. Dry matter accumulation predictors for optimal yield in soybean. **Crop Science**, v.45, n.1, p.1790-1799, 2005.

BORKOWSKI, J. P.; SILVA, P. J da.; **Infiltração de água em solos sob uso agrícola e pousio no estado do Amapá**/Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) Universidade Federal Rural Da Amazônia. p.31, 2021.

BOUYOUCOS, G. J.; MICK, A. H. Improvements in plaster of Paris absorption block electrical resistance method for measuring soil moisture under field condition. **Soil Science**, Baltimore, v.63, p.455-465, 1947.

BRAGA, M. B. Sistema de Produção de Melão. **Embrapa Semiárido**. Ago/2010. Disponível em<[BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399p.](http://www.cpatia.embrapa.br:8080/sistema_producao/spmelao/irrigacao.html#:~:text=A%20escolha%20do%20sistema%20de,%2Dde%2D%20obra%2C%20etc.></p></div><div data-bbox=)

BRODRIBB T. J.; FEILD T. S.; JORDAN G. J. Leaf maximum photosynthetic rate and venation are linked by hydraulics. **Plant Physiol.**, v.144, p.1890-1898, 2007.

CARMO, E. L.; BRAZ, G. B. P.; SIMON, G. A.; DA SILVA, A. G.; ROCHA, A.G.C. Desempenho agrônômico da soja cultivada em diferentes épocas e distribuição de plantas. **Rev. Ciênc. Agrovet**, v.17, n1, 2018. DOI: 10.5965/223811711712018061.

CARNEIRO, M. M. L. C. Trocas Gasosas e Metabolismo **Antioxidativo em Plantas de Girassol em Resposta ao Déficit Hídrico**. 2001. 43f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia vegetal) –Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.

CARVALHO, E. de V.; PELUZIO, J. M.; FREIBERGER, C. N.; PROVENCIO, L. Z.; MOTA, W. C. dos. S. A época de semeadura na produção de sementes de soja em condições de várzea tropical. **Rev. Sítio Novo**, v.5, n.1, 2020.

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.3, p.456-465, 2011.

CASTRO, P. A. L de; SANTOS, G. O. **Métodos de estimativa de evapotranspiração potencial como ferramenta de gestão ao uso da água**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Engenharia Ambiental. Universidade de Rio Verde, p.20, 2017.

CATUCHI, T. A.; GUIDORIZZI, F. V. C.; GUIDORIZZI, K. A.; BARBOSA, A. M.; SOUZA, G. M. Respostas fisiológicas de cultivares de soja à adubação potássica sob diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n.47, v.4, p.519-527, 2012.

CHRISTMANN, A.; WEILER, E. W.; STEUDLE, E.; GRILL, E. A hydraulic signal in root-to-shoot signalling of water shortage. **The Plant Journal**, v.52, n.1, p.167-174, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2007.03234.x>.

CHRISTOFIDIS, D. Água, irrigação e agropecuária sustentável. **Revista de política agrícola**, v.22, n.1, p.115-127, 2013.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v.9, safra 2021/22, n.10, **décimo levantamento**, julho 2022a.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v.9, safra 2021/22, n.5, **quinto levantamento**, fevereiro 2022 b.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v.9, safra 2021/22, n.10, **decimo levantamento**, julho 2022.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v.8, safra 2020/21, n.10, **decimo levantamento**, julho 2021.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v.9, safra 2021/22, n.9, **nono levantamento**, junho 2022c.

CORNIC, G. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture—not by affecting ATP synthesis. **Trends in plant Science**, v.5, p.187-188, 2000.

CORREIA, G. R.; ROCHA, H. R. O.; RISSINO, S. D. Automação de sistemas de irrigação com monitoramento via aplicativo web. **REVENG: Engenharia na agricultura**, v.24, n.4, p.314-325, 2016.

COX, W. J.; CHERNEY, J. H. Growth and yield responses of soybean to row spacing and seeding rate. **Agronomy Journal**, n.103, p.123-128, 2011.

CRUZ, T. V. da.; PEIXOTO, C. P.; MARTINS, M. C.; LEDO, C. A. da. S. Efeitos da época de semeadura sobre a composição química e a produtividade de grãos de diversas cultivares de soja no oeste da Bahia. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas** v.14, p.63-71, 2010.

DESCLAUX, D.; HUYNH, T.; ROUMET, P. Identification of soybean plant characteristics that indicate the timing of drought stress. **Crop Science**, v.40, n.3, p.716-722, 2000.

DOLFERUS, R.; JI, X.; RICHARDS, A. R. Abiotic stress and control of grain number in cereals. **Plant Science**. n.181, p.331-341, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **História da soja**. Acesso em: 05 jul. 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Mudanças climáticas pesquisa, desenvolvimento e inovação produção vegetal: **Pesquisadores combinam tecnologias para enfrentar a seca na soja**. 13 jun. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Tecnologias de Produção de Soja. **Sistemas de Produção**, p. 1-348, 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA: Região Central do Brasil 2014. Londrina: **Tecnologias de produção de soja**, (Embrapa Soja. Sistemas de Produção,16), p.265, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja** - Paraná - 2003/04. Londrina: Embrapa/CNPSO, 2003. 218p. (Sistemas de Produção, 3).

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. **Physiology of crop production**. New York: The Haworth, p.345, 2006.

FANG, Y.; XIONG, L. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v.72, n.4, p.673-689, 2015.

FAO-FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Report on the agro-ecological zones project. **Methodology and results for Africa**. Roma: FAO, v.2, 2008.

FARIAS, J. R. B.; ALMEIDA, I. R. de; GARCIA, A. Zoneamento agroclimático da cultura da soja par ao Estado do Paraná. (Embrapa-CNPSO. Documentos, 102) Londrina: **EMBRAPA-CNPSO**, p.84, 1997.

- FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R.; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, p.415-421, 2001.
- FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia da Soja, **Circular Técnica 48**. Londrina, PR, p.1-9, 2007.
- FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. Déficit hídrico no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas no Mato Grosso. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v.3, p.67-77, 2015.
- FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. de C.; Déficit hídrico no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas no mato grosso. **Revista Nativa Sinop**, v.03, n.01, p.67-77, 2015.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista brasileira de biometria*, [S.l.], v.37, n.4, p.529-535, dec. 2019. doi: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.
- FIETZ, C. R.; RANGEL, M. A. S. Efeito da Deficiência Hídrica e do Fotoperíodo no Rendimento de Grãos da Soja Semeada na Região de Dourados, MS. **Comunicado Técnico 89**, Embrapa, 2004.
- FIETZ, S. C. R.; RANGEL, M. A. Época de semeadura da soja para a região de Dourados - MS, com base na deficiência hídrica e no fotoperíodo. **Engenharia de Água e Solo**, v.29, n. 6, p.666-672, 2008.
- FIGUEIREDO, K. F. Avaliação das características agronômicas e produtividade de cultivares de soja em diferentes sistemas de semeadura. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Brasília, Distrito Federal, p.32, 2013.
- FIGUEIREDO, S. L.; RODRIGUES, J. D.; CARNEIRO, J. P. C.; SILVA, A. DE. A.; LIMA, M. B. Fisiologia e produção da soja tratada com cinetina e cálcio sob déficit hídrico e sombreamento. **Pesq. agropec. bras.**, v.48, n.11, p.1432-1439, 2013.
- FLEXAS, J.; BOTA, J.; GÁLMÉS, J.; MEDRANO, H.; RIBAS-CARBÓ, M. Keeping a positive balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. **Physiologia Plantarum, Kobenhavn**, n.127, p.343-352, 2006.
- FLUMIGNAN, D. L.; ALMEIDA, A. C. S.; GARCIA, R. A. Necessidade de irrigação complementar da soja na região sul de Mato Grosso do Sul. Dourados: **Embrapa Agropecuária Oeste**, 8p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Circular técnica, 34), 2015.
- FRIZZONE, J. A. **OS MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO**. Piracicaba: Esalq - USP. 32 slides, color, 2012.
- FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão**. 1 ed. Maringá: Editora Eduem, p.356, 2012.
- FU, J.; HUANG, B. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.45, n.2, p.105-114, 2001.

- GHOBADI, M. E.; FARSIANI, A.; HONARMAND, S. J. The effect of water deficit and sowing date on yield components and seed sugar contents of Sweet corn (*Zea mays* L.). **African journal of agricultural research**, v. 6, p.5769-5774, 2011.
- GODOY, C. V.; BARROS, D. C. M.; XAVIER, S. A. Avaliação de regimes de temperatura no desenvolvimento da ferrugem-asiática da soja, **Cimapest**, 2012.
- GONÇALVES, C. G. **Modificações morfológicas, fisiológicas e seletividade da soja a diferentes herbicidas em resposta ao estresse hídrico**. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - Campos Jaboticabal (Tese de Doutorado). 120p. 2017.
- GONÇALVES, J. G. R. **Identificação de linhagens de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes à seca**. 82f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, 2013.
- GONÇALVES, J. F. C.; SANTOS JR., U. M. Utilization of the chlorophyll a fluorescence technique as a tool for selecting tolerant species to environments of high irradiance. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.17, p.307-313, 2005.
- GUIMARÃES, F. de S.; REZENDE, P. M. de.; CASTRO, E. M. de.; CARVALHO, E. de A.; ANDRADE, M. J. B. de.; CARVALHO, E. R. Cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] para cultivo de verão na região de Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32,p.1099-1106, 2008.
- GURURANI, M. A.; VENKATESH, J.; TRAN, L. S. P. Regulation of photosynthesis during abiotic stress-induced photoinhibition. **Molecular Plant**, v.8 p.1304-1320, 2015.
- HADAS, A. Water uptake and germination of leguminous seeds under changing external water potential in osmotic solutions. **Journal of Experimental Botany**, v.27, n.98, p.480-489, 1976.
- HARTWIG, E. E.; KIIHL, R. A. S. Identification and utilization of a delayed flowering character in soybean for short-day conditions. **Field crops Research**, v.2, p.145-151, 1979.
- HE, J. X.; WANG, J.; LIANG, H. G. Effect of water stress on photochemical function and protein metabolism of photosystem II in wheat leaves. **Physiologia Plantarum**, v.93, p.771-777, 1995.
- HILDEBRANDO, J. P. **Condições hídricas do solo e a emergência da soja em diferentes épocas de semeadura**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 22p. 2021.
- HIRAKURI, M. H. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro [recurso eletrônico]: Marcelo Hiroshi Hirakuri, Joelsio José Lazzarotto – Londrina: Embrapa Soja, 2014. 70p. : il. – (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937; n. 349).
- HUSEYNOVA, I. M. Photosynthetic characteristics and enzymatic antioxidant capacity of leaves from wheat cultivars exposed to drought. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics**, v.1817, n.8, p.1516-1523, 2012.

JENSEN, W. A. Botanical Microtechnique and Cytochemistry. John E. Sass, Graeme P. Berlyn, Jerome P. Miksche. **The Quarterly Review of Biology**, v.52, n.4, p.431, 1 dez. 1977.

KEELING, B. L. Soybean seed rot and the relation of seed exudate to host susceptibility. **Phytopathology**, v.64, p.1335-1447, 1974.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, p.649, 1990.

KIIIHL, R. A. S.; ALMEIDA, L. A.; DALL'AGNOL, A. Strategies for cultivar development in the tropics. **World Soybean Research Conference III**, p.301-304, 1985.

KIRSANOVA, D.; ZADOROZHNYAYA, O.; KRASHENINNIKOV, A.; KOMAROVA, N.; POPOV, A.; LEGINA, A. Water toxicity evaluation in terms of bioassay with an Electronic Tongue. **Sensors and Actuators**, v.179, p.282-286, 2013.

KLEIN, R. N.; SHAPIRO, C. A. **Evaluating hail damage to soybeans**. Lincoln: University of Nebraska, Institute of Agriculture and Natural Resources, 8p. EC128, 2011.

KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. *Annu. Rev. Plant Physiol.* **Plant Mol. Biol.**, v.42, p.313-350, 1991.

LAWLOR, D. W.; UPRETY, D. C. **Effects of water stress on photosynthesis of crops and the biochemical mechanism**. Abrol YP, Mohanty P, Govinjee, eds. *Photosynthesis: photoreactions to plant productivity*. New Dehli: Oxford and IBH Publishing Co. PVT. Ltd v.1, p.419-449, 1993.

LI, J.; CANG, Z.; JIAO, F.; BAI, X.; ZHANG, D.; ZHAI, R. Influence of drought stress on photosynthetic characteristics and protective enzymes of potato at seedling stage. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, p.1-7, 2015.

LINZMEYER JUNIOR, R.; GUIMARÃES, V. F.; SANTOS D. dos.; BENCKE, M. H. Influência de retardante vegetal e densidades de plantas sobre o crescimento, acamamento e produtividade da soja. **Acta Scientiarum**. Agronomy, v.30, p.373-379, 2008.

LOPES SOBRINHO, O. P.; SANTOS, L. N. S. dos.; SANTOS, G. O.; CUNHA, F. N.; SOARES, F. A. L.; TEIXEIRA, M. B. Balanço hídrico climatológico mensal e classificação climática de Kppen e Thornthwaite para o município de Rio Verde, Goiás. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.27, p.19-33, 2020.

LOPEZ, J. R.; ABREU, J. M. H.; REGALADO, A. P.; HERNADEZ, J. F. G. **Riego localizado**. 2 ed. Madrid: Centro Nacional de Tecnologia de Regadíos, p.217-229, 1992.

LSPA, 6º Levantamento Sistemático da produção agrícola. **Em junho, IBGE prevê safra de 258,5 milhões de toneladas para 2021**. 8 jul. 2021. Acesso em: 05 jul. 2022.

MACHADO L. T. S.; MAGALHÃES D. S.; JÚNIOR J. N. da R., TAVARES L. M.; SAMTOS A. F. S. INFILTRAÇÃO ACUMULADA E VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO BÁSICA. **Ciência que aproxima Ciência que liberta**, XXI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VII Encontro de Iniciação à Docência – Universidade do Vale do Paraíba. p.1-6, 2017.

MANTOVANI, E. C. **AVALLIA**: Programa de avaliação da irrigação por aspersão e localizada. Viçosa, MG: UFV, 2001.

MARIANO, J. C. Q.; SANTOS, G. O.; FEITOSA, D. G.; HERNANDEZ, F. B. T. **Sistema para manejo da agricultura irrigada - SMAI versão 2.0** copyright© UNESP Ilha Solteira. 2011.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, H. R. Da; SILVA, W. L. de. C. **Irrigação por aspersão em hortaliças**: qualidade da água. 4. ed. rev. atual. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. ISBN 978-85-7035-648-2.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. de C. e; SILVA, H. R. da. **Manejo da irrigação em hortaliças**. 5. ed. rev. amp. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, p.72, 1996.

MARQUES, M. C. Adaptabilidade, estabilidade e diversidade genética de cultivares de soja em três épocas de semeadura, em Uberlândia MG. 2010. 97f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

MARTINS, M. C.; CÂMARA, G. M. S.; PEIXOTO, C. P.; MARCHIORI, L. F. S.; LEONARDO, V.; MATTIAZZI, P. Épocas de semeadura, densidades de plantas e desempenho vegetativo de cultivares de soja. **Scientia Agricola**, v.56, n.4, p.851-858, 1999.

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

MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. Relações entre o coeficiente de cultura e cobertura vegetal do feijoeiro: erros envolvidos e análises para diferentes intervalos de tempo. **Revista Acta Scientiarum Agronomy**, v.26, n.4, p.513-519, 2004.

MELO, H. C.; CASTRO, E. M. de; SOARES, A. M.; MELO, L. A.; ALVES, J. D. Alterações anatômicas e fisiológicas em *Setaria anceps* Stapf ex *Massey* e *Paspalum paniculatum* L. sob condições de déficit hídrico. **Hoehnea**, v.34, n.2, p.145-153, 2007.

MESQUITA, R. O. **Caracterização fisiológica e análise proteômica diferencial de genótipos de soja submetidos à déficit hídrico**. 2010. 71f. Dissertação (Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, UFV, Minas Gerais, 2010.

MONTEIRO, J. E. B. A. Agrometeorologia dos Cultivos. Brasília – DF: **INMET**, v.1, Cap. 14, p.237-260, 2009.

MORAES, M. J.; OLIVEIRA, F. D.; MANTOVANI, E. C.; MONTEIRO, P. M. B.; MENDES, A. L. C.; DAMIÃO, J. H. A. C. Automação em sistema de irrigação tipo pivô central para economia de energia elétrica. **Engenharia Agrícola**, v.34, n.6, p.1075–1088, 2014. DOI: 10.1590/s0100-69162014000600005.

MOREIRA, J. A. A. Manejo da irrigação para cultura do milho no sistema plantio direto: coeficiente de cultura. 2. ed. Sete Lagoas - Mg: **EMBRAPA**, 2010. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27546/1/JoseAloisio.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2022.

- NAKAGAWA, J.; ROSOLEM, C.; MACHADO, J. R. Épocas de semeadura da soja: efeitos na produção de grãos e nos componentes da produção. **Pesq. agropec. bras.**, v.18, n.11, p.1187-1198, 1983.
- OLIVEIRA, R. M. de.; MIKAELA, I.; REIS, C. Promai - Programa Para Manejo Da Irrigação. **X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, p.1-7, 2019, ISSN: 1984-9249.
- OREN, R.; SPERRY, J.S.; KATUL, G.G.; PATAKI, D.E.; EWERS, B.E.; PHILLIPS, N.; SCHAFER, K.V.R. Survey and synthesis of intra- and interspecific variation in stomatal sensitivity to vapour pressure deficit. **Plant, Cell and Environment**, n.22, v.12: p.1515-1526, 1999.
- ORTOLANI, A.; CAMARGO, M. Influência dos fatores climáticos na produção. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**, Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p.71-81, 1987.
- PEIXOTO, C. P.; CÂMARA, G. M. S.; MARTINS, M. C.; MARCHIORI, L. F. S.; GUERZONI, R. A.; MATTIAZZI, P. Épocas de semeadura e densidade de plantas de soja: I. Componentes da produção e rendimento de grãos. **Scientia Agricola** v.57: p.89- 96, 2000.
- PELEGRINI, J. M.; **Simulação da produtividade da soja sob diferentes condições de manejo em propriedade situada no município de Cachoeira do Sul**. Monografia: Graduação, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, p.60, 2018.
- PELÚZIO, J. M.; FIDELIS, R. R.; ALMEIDA JÚNIOR, D.; BARBOSA, V. S.; RICHTER, L. H. M.; SILVA, R. R. da; AFFÉRRRI, F. S. desempenho de cultivares de soja, em duas épocas de semeadura, no sul do estado do Tocantins. **Bioscience Journal**, v.22, n.2, p.69-74, 2006.
- PESKE, S. T. Germination and emergence of soybean seeds as related to moisture stress. **PhD. Mississippi State University**, p.81, 1983.
- PESKE, S. T.; DELOUCHE, J. C. Semeadura de soja em condições de baixa umidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.1, p.69-85, 1985.
- PETRY, M. T. **Interação solo-planta e disponibilidade de água no solo às plantas de sorgo e soja**. 127f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.
- PHENE, C. J. Operational principles: automation. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production: design, operation and management**. Amsterdam: Elsevier, 1986, p.188-279. (Development in Agricultural Engineering, 9).
- PIMENTEL, C.; SARR, B.; DIOUF, O.; ABOUD, A. C. S.; MACAULEY, H. R. Tolerância protoplasmática foliar à seca, em dois genótipos de caupi cultivados em campo. **Revista Universidade Rural Série Ciências da Vida**, v.22, p.07-14, 2002.
- PINTO, J. M.; SOARES, J. M.; NASCIMENTO, T. Análise de coeficientes de uniformidade de distribuição de água em sistema de irrigação localizada. Petrolina – PE: EMBRAPA-CPATSA, p.25, 1991.

- POPP, M. O.; KEISLING, T. C.; MCNEW, R. W; OLIVER, L.R.; DILLON, C.R.; WALLACE, D.M. Planting date, cultivar, and tillage system effects on dryland soybean production. **Agronomy Journal, American Society of Agronomy-EUA**, v.94, n.1, p.81-88, 2002.
- RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P. E. P. D. Métodos e Estratégias de Manejo de Irrigação. **Embrapa**, 2002.
- RICHARDS, L. A.; GARDNER, W. Tensiometers for measuring the capillary tension of soil water. **Journal of American Society of Agronomy**, v.28, p.352-358, 1936.
- RICHARDS, L. A.; OGATA, G. Thermocouple for vapor pressure measurement in biological and soil systems at high humidity. **Science**, v.128, p.1089-1090, 1958.
- RIQUELME, A. M.; LUZ, L. H. B. P.; SILVA FILHO, E. P. Velocidade de infiltração de água em Latossolo vermelho-amarelo distrófico sob diferentes cultivos. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, v.1, n.1, 2012.
- RITCHIE, S. W. How a soybean plant develops. Ames: Iowa State University of Science and Technology: **Cooperative Extension Service**, p.20, (Special Report, 53), 1994.
- RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E.; BENSON, G. O. **Como a planta de soja se desenvolve**. Piracicaba: POTAFÓS, p.20, 1994.
- ROCHA, B. G.; AMARO, H. T.; PORTO, E. M.; GONÇALVES, C. C.; DAVID, A. M.; LOPES, E. B. Sistema de semeadura cruzada na cultura da soja: avanços e perspectivas. **Revista de Ciências Agrárias**, p.376-384, 2017.
- RODOLFO JUNIOR, F.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; RAMOS, M. L. G.; ROCHA, O. C.; BATISTA, F. P. S.; LIMA, C. A. Respostas fisiológicas em variedades de cana-de-açúcar submetidas ao déficit hídrico. **Irriga**, n.21, v.4, p.806-816, 2016.
- RODRIGUES, L. N.; DOMINGUES, A. F. Agricultura irrigada: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável. **INOVAGRI**, Brasília - DF, p.327, 2017.
- ROHRIG, B. Benefícios da irrigação na cultura da soja. São Paulo, 2021: **Agrosmart**, disponível em: < <https://agrosmart.com.br/blog/5-beneficios-da-irrigacao-na-cultura-da-soja/> >. Acesso em: outubro de 2022.
- ROSA, V. do R. Ação de bioestimulantes na mitigação do estresse por deficiência hídrica em soja. **Tese de Doutorado**, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" UNESP - Botucatu, p.1-103, 2020.
- ROY-MACAULEY H.; ZUILY-FODIL Y.; KIDRIC M.; PHAN THI A.; VIEIRA DA SILVA J. Effect of drought stress on proteolytic activities in Phaseolus and Vigna leaves from sensitive and resistant plants. **Physiologia Plantarum**, v.85, p.90-96, 1992.
- SACK, L.; HOLBROOK, N.M. Leaf hydraulics. **Annu Rev Plant Biol.**, v.57, p.361-381, 2006.
- SADEGHIPOUR, O.; ABBASI, S. Soybean response to drought and seed inoculation. **World Applied Sciences Journal**, v.17, n.1, p.55-60, 2012.

SALINET, L. H. **Avaliação fisiológica e agrônômica de soja geneticamente modificada para maior tolerância à seca**. Dissertação: Mestrado, Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, p.76, 2009.

SANTOS, G. V.; OLIVEIRA, G. M., ROCHA, D. F.; ALMEIDA, L. R.; PEREIRA, A. V.; SILVA, T. N. Influência de lâminas de irrigação na produção de milho cultivado na região norte da Bahia. **Rev. Bras. Agric. Irr**, p.4234-4239, 2020.

SANTOS, R. A.; SANTOS, E. P. dos; SALES, R. A.; SANTOS, R. L. Estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Feira de Santana (BA). **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.11, n.4, p.1617-1626, 2017.

SCOFFONI, C.; RAWLS, M.; MCKOWN, A.; COCHARD, H.; SACK, L. Decline of Leaf Hydraulic Conductance with Dehydration: Relationship to Leaf Size and Venation Architecture. **Plant Physiology**, v.156, n.2, p.832–843, 2011.

SENAR. **Irrigação: manejo e gestão em sistema localizado**. / Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. – Brasília: Senar, p.60, 2019.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A.; NENDEL, C. The Soybean Yield Gap in Brazil - Magnitude, Causes and Possible Solutions for a Sustainable Production. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.153, p.1394-1411, 2015.

SHAW, B.; BAVER, L. D. Na electrothermal method for following moisture changes of the soil in situ. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v.4, p.78-83, 1939.

SILVA, A. D.; LIMA, E. P.; COELHO, G.; COELHO, M.; COELHO, G. Produtividade, rendimento de grãos e comportamento hídrico foliar em função da época, parcelamento e do método de adubação do cafeeiro Catuaí. **Engenharia Agrícola**, v.23, n.3, p.434-440, 2003.

SILVA, C. A. DA.; SILVA, C. J. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, n.8, p.17, 2005.

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; AZEVEDO NETO, A. D.; BRITO, J. Z.; CABRAL, E. L. Aspectos ecofisiológicos de dez espécies em uma área de caatinga no município de Cabaceiras, Paraíba, Brasil. *Iheringia*, **Série Botânica**, n.59, v.2, p. 201-205, 2004.

SILVA, E. da M.; AZEVEDO, J. de A.; GUERRA, A. F.; FIGUERÊDO, S. F.; ANDRADE, L. de M.; ANTONINI, J. C. dos. A. Manejo de irrigação por tensiometria para culturas de grãos na região do cerrado. Planaltina: **Embrapa Cerrados (Circular técnica)** p.1- 60, 1999.

SILVA, S. N. daA.; NEVES, E. das. Importância do manejo da irrigação. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer – Jandaia-GO, v.17 n.34, p.271, 2020.

SILVA, T. W.; MARINHO, J. P.; BARBOSA, D. A.; PASSOS, G. P.; FERREIRA, L. C.; MORAES, L. A. C.; MERTZ-HENNING, L. M.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N. T. W. Mecanismos de resposta da cultivar de soja BR 16 submetida ao déficit hídrico. **Jornada acadêmica da embrapa soja**, Resumo expandido, Londrina, p.239-245, 2015.

SILVA, V. da. T.; GAVA, R.; COTRIM, M. F.; WASSOLOWSKI, C. R.; TEODORO, P. E.; SNYDER, R. L. Manejo de irrigação na cultura da soja em sistema de semeadura direta, sobre restos culturais de *Brachiaria ruziziensis*. **Research, Society and Development**, v.9, n.6, ed. 64963430, 2020.

SIMÃO, E. P.; RESENDE, A. V.; GONTIJO NETO, M. M.; BORGHI, E.; VANIN, A. Resposta do milho safrinha à adubação em duas épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, ano 1, v.17, p.76-90, 2018.

SINCLAIR, T. R.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L. Comparison of vegetative development in soybean cultivars for low latitude environments. **Field Crops Research**, v.92, p.53-59, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2004.08.008>. Acesso em: 15 set. 2022.

SINCLAIR, T. R.; PURCELL, L. C.; KING, C. A.; SNELLER, C. H.; CHEN, P.; VADEZ, V. Drought tolerance and yield increase of soybean resulting from improved symbiotic N₂ fixation. **Field Crops Research**, Akron, n.101, p.68-71, 2007.

SISTEMAS DE PRODUÇÃO 17. **Tecnologias de Produção de Soja**. Londrina: Embrapa Soja, n. 17, p. 347, 2020.

SOARES, S. L.; SANTOS, G. O.; SIMON, G. A.; ALVARES, R. C. Development of soybean genotypes as a function of water availability and sowing seasons in Rio Verde, state of Goiás. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.29, p.169-178, 2021.

SOUSA, V. F.; OLIVEIRA, A. S.; COELHO, E. F.; BORGES, A. L. Irrigação. In: LIMA, A. A.; CUNHA, M. A. P. **Maracujá: Produção e qualidade na passicultura**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, p.151-167, 2004.

SOUZA, D. B.; ALVES, D. K. R.; SANTOS, G. A.; BRITO, H. A.; ROCHA, K. S.; SANTOS, L. M. N.; ANDRIGUETTI, M. dos. A. Determinação Da Velocidade Infiltração Básica (Vib), Sob O Método De Infiltrômetro De Anéis Concêntricos Em Diferentes Tipos De Solo Na Região Oeste Da Bahia. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 03, ed.12, v.04, p.170-193 ISSN:2448-0959 dezembro de 2018.

SOUZA, D. M. G. D.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2004.
<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/487536/1/Circ19.pdf>>. Acesso em: 10 março 2021.

SOUZA, P. I.; EGLI, D. B.; BRUENING, W. Water stress during seed filling and leaf senescence in soybean. **Agronomy Journal**, v.89, p.807-812, 1997.

STRASSER, R. J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, A. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In: Yunus M, Pather U, Mohanly P. (Eds.) **Probing photosynthesis: mechanisms, regulation and adaptation**. London: Taylor and Francis, p.445-483, 2000.

STRIEDER, M. L.; PIRES, J. L. F.; MORI, C. de; CAIERÃO, E.; JÚNIOR, A. L. M.; PEREIRA, P. R. V. da S.; COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F.; MACIEL, J. L. N.; GUARIENTI, E. M.; PANIZZI, M. C. C.; DALMAGO, G. A.; FOLONI, J. S. S.; SANTOS, H. P. dos; FAÉ, G. S.; JÚNIOR, J. P. da S.; SANTI, A.; CUNHA, G. R. da; VARGAS, L.; PASINATO, A.; VIEIRA, V.; CARAFFA, M.; RIFFEL, C. T.; ALMEIDA, J. L. de; SPADER, V.; FOSTIM, M. F.; STOETZER, A.; MULLER, A.; PAGANELLA, F.; AIRES, R. F. Antecipação da semeadura da soja e a viabilidade da sucessão trigo/cevada-soja no sul do Brasil. **Atas e Resumos - 41ª Reunião Pesquisa de Soja - Região Sul**, p.165–171, 2016.

STÜLP, M.; BRACCINI, A. de L e.; ALBRECHT, L. P.; ÁVILA, M. R.; SCAPIM, C. A.; SCHUSTER, I.; Agronomic performance of three soybean cultivars at different sowing times in two agriculture years. **Ciencia e Agrotecnologia**, [S. l.], v.33, n.5, p.1240–1248, 2009. DOI: 10.1590/s1413-70542009000500006.

TAVARES, L. C.; SILVA, J. M. B. DA. S.; SEUS, R.; MARCOLIN, L.; BARROS, A. C. S. A. Germinação e vigor de sementes de soja submetidas a diferentes produtos indutores de estresse osmótico. **Toward a Media History of Documents**, v.3, p.49-58, 2015.

THOMAS, A. L. Soja: tipos de crescimento da planta [recuso eletrônico] – Porto Alegre: **UFRGS**, p.59, 2018.

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

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

THSENG, F.; HOSOKAWA, S. Significance of growth habit in soybean breeding. I. Varietal differences in characteristics of growth habit. **Japanese Journal of Breeding**, v.22, p.261-268, 1972.

TRACE – Traicing origins of food. **Molecular Biology Database**. Acesso em: 11 jul. 2020.

TSUKAHARA, R. Y.; FONSECA, I. C. de. B.; SILVA, M. A. de A.; KOCHINSKI, E. G.; NETO, J. P.; SUYAMA, J. T. Produtividade de soja em consequência do atraso da colheita e de condições ambientais. **Agrometeorologia, Pesq. agropec. bras**, v.51, n.8, p.905-915, 2016.

VASQUEZ-TELLO, A. Y.; ZUILY-FODIL, A. T.; PHAM THI, J.; VIEIRA, S. Electrolyte and Pi leakages and soluble sugar content as physiological tests for screening resistance to water stress in *Phaseolus* and *Vigna* species. **Journal of Experimental Botany**, v.41, p.827-832, 1990.

WANG, S.; K. ZHUANG, S.; ZHANG, M.; YANG, F.; Q. MENG. Overexpression of a Tomato carotenoid ϵ -hydroxylase gene (SILUT1) improved the drought tolerance of transgenic Tobacco. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.70, p.235-245, 2018.

YAMORI, W. Photosynthetic response to fluctuating environments and photoprotective strategies under abiotic stress. **Journal of Plant Research**, v.129, p.379-95, 2016.

YUSUF, R. I.; SIEMES, J. C.; BULLOCK, D. G. Growth analysis of soybean under no-tillage and conventional tillage systems. **Agronomy Journal**, v.91, n.6, p.928- 933, 1999.

ZABOT, L.; DUTRA, L. M. C.; JAUER, A.; FILHO, O. A. L.; UHRY, D.; STEFANELO, C.; LOSEKAN, M. E.; FARIAS, J. R.; LUDWIG, M. P. Análise de crescimento da cultivar de feijão BR IPAGRO 44 Guapo Brilhante cultivada na safrinha, em quatro densidades de semeadura, em Santa Maria/RS. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.3, n.2, p.105-115, 2004.

ZHANG, Z.; JIA, Y.; GAO, H.; ZHANG, L.; LI, H.; MENG, Q. Characterization of PSI recovery after chilling-induced photoinhibition in cucumber (*Cucumis sativus* L.) leaves. **Planta**, v.234, p.883–889, 2011.

ZHOU, L.; XU, H., MISCHKE, S.; MEINHARDT, L. W.; ZHANG, D.; ZHU, X.; FANG, W. Exogenous abscisic acid significantly affects proteome in tea plant (*Camellia sinensis*) exposed to drought stress. **Horticulture Research**, v.1, p.14029, 2015.

CAPÍTULO 2

DESEMPENHO DO MILHO EM SAFRINHA TARDIA MANEJADO COM E SEM IRRIGAÇÃO

RESUMO

O cultivo de milho safrinha no país é a principal atividade de segunda safra, sendo o Brasil o terceiro maior produtor e segundo maior exportador mundial, porém a deficiência hídrica presente nesse período é uma das principais causas para baixa produtividade ou instabilidade produtiva, afetando assim toda a produção e o comércio de exportação do grão. Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho da cultura do milho semeado em safrinha tardia, manejada em condições irrigadas e sequeiro, no município de Rio Verde, região sudoeste do Estado de Goiás. O trabalho foi conduzido na Universidade de Rio Verde, utilizando o delineamento experimental inteiramente casualizado, a campo, constituído em duas condições hídricas 0 e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc), em cinco repetições, semeado no dia 08/03/2022. Foi utilizado o sistema de irrigação via gotejamento superficial por gravidade. Foi avaliada a população de plantas, área foliar, altura de planta, peso médio de mil grãos, potencial hídrico da folha, conteúdo relativo de água, matéria seca de parte aérea, temperatura foliar, trocas gasosas, extravasamento de eletrólitos, número de espiga por planta, diâmetro e comprimento da espiga sem palha, número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga e produtividade de grãos. Os resultados foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O uso do sistema de irrigação na cultura mesmo sob a safrinha tardia trouxe um incremento significativo na produtividade de grãos de 29,8%, sendo atingido por meio do maior potencial hídrico e extravasamento de eletrólitos, maior altura de plantas, área foliar, maior peso de mil grãos e consequentemente da produtividade de grãos. A cultura em sequeiro ficou sob 223,5 mm ciclo⁻¹ de deficiência hídrica em que 48% ficou concentrado no período vegetativo e 52% no reprodutivo, impactando diretamente na redução da produtividade de grãos.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays*. Período crítico. Restrição hídrica. Potencial Hídrico. Componentes de produção.

CORN PERFORMANCE IN LATE HARVEST SEASON MANAGED WITH AND WITHOUT IRRIGATION

ABSTRACT

The cultivation of maize in the country is the main activity of second crop, being Brazil the third largest producer and second largest exporter in the world, but the water deficiency present in this period is one of the main causes for low productivity or productive instability, thus affecting the entire production and export trade of the grain. Therefore, the objective of this work was to evaluate the performance of the corn crop sown in late harvest, managed under irrigated and rainfed conditions, in the municipality of Rio Verde, southwestern region of the State of Goiás. The work was conducted at the University of Rio Verde, using the completely randomized experimental design, in the field, consisting of two water conditions 0 and 100% of crop evapotranspiration (ET_c), in five replications, sown on 08/03/2022. The irrigation system was used via surface drip by gravity. The plant population, leaf area, plant height, average weight of a thousand grains, leaf water potential, relative water content, dry matter of the aerial part, leaf temperature, gas exchange, electrolyte leakage, number of ears per plant, diameter and length of the ear without straw, number of grains per row, number of rows per ear and grain yield were evaluated. The results were submitted to analysis of variance, and the means were compared by Tukey test at 5% probability. The use of the irrigation system in the crop even under the late off-season brought a significant increase in grain yield of 29.8%, being achieved through the higher water potential and electrolyte leakage, greater plant height, leaf area, higher thousand grain weight and consequently grain yield. The dryland crop was under 223.5 mm cycle⁻¹ of water deficiency where 48% was concentrated in the vegetative period and 52% in the reproductive period, directly impacting the reduction of grain yield.

KEYWORDS: *Zea mays*. Critical period. Water restriction. Water potential. Production components.

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é atualmente o cereal mais produzido e consumido no mundo, sendo uma *commodity* de grande importância na cadeia produtiva de vários setores dentro do cenário agropecuário, destacando-se a alimentação humana e animal, além da produção de biocombustíveis (SOLOGUREN, 2015). No Brasil, a área cultivada de milho safrinha no ano de 2022, atingiu 16.378,6 mil hectares, valor este 9,2% superior à área da safra 20/21 sendo este, um recorde de área já registrada para o cultivo do cereal. As produtividades obtidas confirmam as estimativas anteriores de queda em relação às iniciais (realizadas no início da semeadura do milho safrinha) em diversos estados do país, como São Paulo, Bahia, Distrito Federal, Paraná, Goiás e, principalmente, Minas Gerais, com médias em torno de 3.893 kg ha⁻¹, sendo 35% inferior às estimativas iniciais e praticamente semelhantes à da safra 20/21 (CONAB, 2022).

Segundo a CONAB (2022), esse comportamento do aumento expressivo da área cultivada, acompanhada pela queda nas expectativas de rendimento, está totalmente relacionada com o impacto da drástica redução das precipitações a partir de abril na região Centro-Oeste, principalmente, nas lavouras semeadas fora da janela ideal de plantio, o que afeta praticamente todos aspectos relacionados ao desenvolvimento das plantas reduzindo a área foliar, diminuindo a fotossíntese e interferindo em vários outros processos bioquímicos.

O estresse hídrico, não só no milho como em grande parte das culturas, altera significativamente a quantidade de água interna na planta, causando uma redução no potencial osmótico e no conteúdo relativo de água nas plantas, inibindo assim a taxa fotossintética líquida reduzindo a produtividade final, além disso, o estresse hídrico, especialmente, no estágio de emergência do pendão, tem impacto direto e deletério na produtividade da cultura (ATTEYA, 2003).

A necessidade hídrica do milho varia de 400 a 600 mm bem distribuídos ao longo de seu ciclo, devido à grande desuniformidade e até mesmo a redução de precipitação pluviométrica a partir de abril, buscam-se alternativas para manutenção do rendimento dos híbridos comerciais, em que a irrigação tem por finalidade suprir essa carência hídrica das plantas durante todos os estágios fenológicos da cultura (CARVALHO et al., 2014).

Dessa maneira, faz-se necessário determinar a produtividade em resposta à irrigação em relação às condições de sequeiro, a fim de se estabelecer um manejo racional e eficaz de água para irrigação em sistemas agrícolas. Sendo a água um recurso limitado, é de extrema

importância saber o tempo e quantidade correta a ser aplicada a fim de otimizar a produtividade das culturas (PAYERO et al., 2009).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho da cultura do milho semeado em safrinha tardia, com e sem irrigação no município de Rio Verde-GO.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar a produtividade da cultura do milho em safrinha tardia com e sem irrigação e os efeitos do estresse hídrico nas fases vegetativas e reprodutivas da cultura.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Origem, botânica e introdução do milho (*Zea mays L.*) no Brasil

A cultura do milho (*Zea mays*) originou-se nas Américas, e até os dias de hoje vem sendo melhorado geneticamente. Surgiu através do teosinte, uma gramínea presente nas regiões do sul do México e no norte da Guatemala. O seu grão pode ser moído para fazer farinha, ou gerando um tipo de pipoca estourada no fogo. Essa planta apresenta uma espiga muito pequena e um grande perfilhamento. Os povos que habitavam nessas áreas, conseguiram domesticar o milho e fazer com que a planta atingisse um número muito grande de raças. Posteriormente, o milho veio a ser introduzido em outros locais da América Central e do Norte, resultando nas raças comerciais atualmente (UDRY e DUARTE, 2000).

A cultura possui aspecto ereto e pertence à família Graminae/Poaceae. Possui flores masculinas e femininas em uma única planta o que se dá o nome da determinada característica por monoico. A mesma pode ser modificada através da interação com os fatores ambientais,

com isso dá à cultura um controle de ontogenia de seu desenvolvimento afetado (MAGALHÃES et al., 2002).

É uma planta C4, possui baixo perfilhamento, cespitosa, anual e estival com ampla adaptação a diferentes condições ambientais. A sua parte masculina é formada por espigas verticiladas terminais, seu grão é um fruto cariopse, que apresenta o pericarpo fundido com o tegumento da semente. Já as espigas do milho, soldam-se num eixo, onde varias ráquis estão estabelecidas. Com isso, cada grão possui sua parte feminina individual que é o estigma (cabelo da espiga) (NUNES, 2022).

Em sua parte aérea, a planta possui caule tipo colmo com nós e entrenós, folhas de característica lanceoladas em forma de lança, apresenta limbo e bainha que envolve o caule por suas nervuras paralelinérveas. O sistema radicular é composto por raízes fasciculadas, e as sementes constituídas por pericarpo e endosperma, originado logo após o desenvolvimento do embrião, estes são responsáveis por envolver todo o embrião (SANTOS NETO, 2012).

O cultivo do milho (*Zea mays* L.) ocorre em quase todos os continentes, tudo isso devido a suas características, dentre elas suas diversas formas de utilização, indo desde a alimentação animal, até indústrias de alta tecnologia como a produção de embalagens biodegradáveis. Aproximadamente 70 a 80% da produção mundial de milho é destinada à alimentação animal, e cerca de 15% está sendo destinada ao consumo humano, na forma direta ou indireta (PAES, 2006).

Com o grande aumento populacional e, conseqüentemente, no consumo de alimentos, houve a necessidade de fornecer o produto oriundo do milho em novas formas de produção com enfoque no abastecimento humano, em que além do próprio grão, o milho passou a ser consumido na forma de espiga ou enlatado, creme de milho (fubá mimoso), flocos de milho, fubá e o pão de milho (PAES, 2006). Perante toda essa necessidade, foi-se fornecendo então excedentes de produção das fazendas para o comércio, até que com o passar do tempo foram substituídos pelo produto oriundo de formas especializadas de produção (GARCIA, MATTOSO e DUARTE, 2006).

3.2 Cultivo do milho no Brasil

O milho é um produto fundamental para agricultura brasileira, sendo cultivado em praticamente todas as regiões do País, o milho alcançou o patamar de maior cultura agrícola no mundo, sendo a única a ter ultrapassado a marca de 1 bilhão de toneladas (CONTINI et al., 2019). O cultivo, em grande parte do Brasil, tem início após a colheita da soja semeada no

período de safra, sendo denominado de milho safrinha ou milho segunda safra (MATOS, 2007).

O País encerrou a produção de milho segunda safra no ano agrícola 20/21 com um aumento na produção de 2,6% maior que a do ano anterior, chegando a 75,1 milhões de toneladas, também houve um aumento na área plantada de 6,8% em relação ao cultivo passado, atingindo 13.757,3 mil hectares. A região Centro-Oeste é a maior produtora de milho segunda safra no Brasil, com 8.926,2 mil de hectares de área semeada no ano de 2020, valor esse 9,1% maior que a do ano anterior, atingindo uma produção de 53.917,5 mil toneladas, representando um incremento de 7,4% comparada com o cultivo do ano anterior (CONAB, 2020).

Portanto, o sistema de cultivo soja/milho segunda safra ou “milho safrinha” vem apresentar dados de produtividade instáveis, ficando a depender de características regionais que envolve solo, clima, época de semeadura de ambas culturas (soja e milho) e o manejo de adubação empregado pelos produtores. Devido a fatores climáticos, como a presença e intensidade de déficit hídrico ao longo dos anos, juntamente com a diminuição da quantidade e regularidade das chuvas no período da segunda safra no cerrado, a disponibilidade de água no solo durante o ciclo da cultura acaba sendo totalmente afetada. Sem a presença de umidade no solo, a própria absorção de nutrientes pelas plantas é comprometida, sendo esse um dos principais fatores que contribui para o menor potencial produtivo nesta época, quando se comparada ao cultivo de verão ou sob irrigação (RESENDE et al., 2018).

No município de Rio Verde, esse que possui a maior produção do estado de Goiás (PRADO; SANTOS, 2017), o número de dias consecutivos com ausência de precipitação tem comprometido o cultivo da safrinha em alguns anos, isso pelo fato da interrupção durante a primeira quinzena do mês de abril, chegando a até 153 dias ausentes de precipitação na região (CASTRO e SANTOS, 2021). Desta forma, cultivos realizados na forma tardia na região Centro-Oeste são diretamente afetados pelo maior risco de déficit hídrico ou até mesmo a ausência das precipitações nas fases mais avançadas e críticas do ciclo da cultura (SIMÃO et al., 2018).

3.3 Disponibilidade hídrica

As maiores produtividades estão associadas com uma disponibilidade hídrica entre 500 e 800 mm durante o ciclo da cultura, sendo que a mesma exige um mínimo de 350-500 mm para que atinja uma produtividade razoável sem o uso de irrigação. O consumo hídrico da

cultura com 30 cm de altura fica abaixo de 3 mm dia⁻¹ já durante seu período de iniciação floral à maturação pode variar de 5 a 7 mm dia⁻¹ (LUIZ e DERLI, 2002).

O milho é uma das culturas com maior consumo hídrico diário, com sua maior demanda na fase de pendramento por apresentar elevado coeficiente de cultivo (kc), e devido a sua senescência das folhas inferiores diminuir de forma brusca a transpiração das plantas e o kc ao longo do período reprodutivo (MONTEIRO, 2009).

Caso a cultura esteja sob déficit hídrico, diversas alterações fisiológicas e morfológicas podem ocorrer ao longo de todas as fases, tais como, na fase vegetativa, causa um menor alongamento celular, redução da massa vegetativa, diminuição da taxa fotossintética e, logo após isso, a produção da cultura já está diretamente afetada. No florescimento da cultura, ocorre a dessecação dos estilo-estigmas, aborto dos sacos embrionários, distúrbios na meiose, aborto das espiguetas e morte dos grãos de pólen, o que resulta em redução no rendimento final, na fase de enchimento de grãos. Essas condições, afeta o metabolismo da cultura e o fechamento estomático, reduzindo assim a taxa fotossintética e, conseqüentemente, a produção de fotoassimilados devido à baixa translocação para os grãos (LANDAU, MAGALHÃES e GUIMARÃES, 2005).

Bergamaschi et al. (2004) mostram que, mesmo em anos que apresentam condições climaticamente favoráveis para o desenvolvimento da cultura do milho, caso ocorra déficit hídrico no período crítico (maior sensibilidade na variação do regime hídrico) ou seja da pré-floração ao início do enchimento de grãos, haverá redução significativa e muitas vezes irreversíveis em seu rendimento final.

Nessa etapa fenológica (pré-floração), o milho é extremamente sensível ao déficit hídrico, devido aos processos fisiológicos ligados à formação do zigoto e início do enchimento de grãos (SCHUSSLER e WESTGATE, 1991; ZINSELMEIER et al., 1995), além da elevada transpiração, decorrente de sua máxima área foliar atingida e da elevada carga energética proveniente da radiação solar.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área

O solo encontrado na área experimental é classificado como LATOSSOLO VERMELHO, com características de solo tipicamente profundo, bem drenado, bastante

poroso, com avançado estágio de intemperismo e processo intensivo de lixiviação (EMBRAPA, 2006).

O clima da região de Rio Verde é Aw Tropical (Köppen), com duas estações climáticas bem definidas, sendo uma seca e amena (abril a setembro) e outra quente e chuvosa (outubro a março) (LOPES SOBRINHO et al., 2020). O município se caracteriza com valores médios diário de temperatura do ar de $23\pm 6,0^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $66,3\pm 13,6\%$, velocidade do vento de $1,4\pm 0,8\text{ m s}^{-1}$, brilho solar de $6,1\pm 3,0\text{ h}$, radiação solar de $17,3\pm 3,8\text{ MJ m}^{-2}$ e evapotranspiração de referência de $3,8\pm 0,4\text{ mm}$ (CASTRO e SANTOS, 2017). A precipitação média é de 1.621 mm ano^{-1} , concentrando de outubro a março (86,8%). Neste período, há excedente hídrico de 607 mm, sendo os meses de março (185 mm) e fevereiro (142 mm) os mais intensos. A deficiência hídrica é de 217 mm, sendo os meses de setembro (73 mm) e agosto (67,3 mm) os mais críticos. A reposição total de água no solo ocorre, historicamente, após o dia 20 de novembro.

4.2 Delineamento estatístico

O experimento foi implantado em delineamento inteiramente casualizado, constituído por duas condições hídricas 0 e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc), composto por uma única época de semeadura, de forma tardia, em cinco repetições.

Os dados foram submetidos à análise de variância conjunta, e as médias comparadas pelo teste Tukey (5% de probabilidade) (FERREIRA, 2019). Foi utilizado o programa estatístico SISVAR para realização desses procedimentos.

4.3 Implantação e manejo

O experimento foi conduzido a campo no município de Rio Verde-GO ($17^{\circ}47'06,7\text{ S}$ $50^{\circ}57'54,1\text{ O}$ e altitude de 780 m). Foi utilizado no cultivo da segunda safra (milho) o híbrido DKB 390 VT PRO 2 que tem como características agronômicas; altura de plantas de 251 cm, ciclo precoce, empalhamento bom, peso de mil grãos de 380 g e tipo de grão semiduro.

As sementes foram tratadas com Metalaxil-m + Tiabendazol + Fludioxonil “150 mL p.c. 100 kg^{-1} semente”; Clorotraniliprole “72 mL p.c 60.000 sementes”; *Azospirillum brasilense* - Cepas Ab-V5 e Ab-V6 UFPR “100 mL p.c. 100 kg^{-1} semente”; Polímero “400 mL p.c 100 kg^{-1} semente”.

A adubação de semeadura da cultura do milho foi conforme a expectativa de produtividade da cultura de 12 t ha^{-1} ; $\text{N} = 30 \text{ kg ha}^{-1}$, $\text{P}_2\text{O}_5 = 120 \text{ kg ha}^{-1}$ e $\text{K}_2\text{O} = 60 \text{ kg ha}^{-1}$. A adubação de cobertura foi realizada com 50% da dose total aplicada com 4 a 6 folhas, e 50% com 8 a 10 folhas totalmente expandidas. A dose total de cobertura utilizada, foi conforme a expectativa de produtividade da cultura mencionada acima, de $\text{N} = 180 \text{ kg ha}^{-1}$ e $\text{K}_2\text{O} = 90 \text{ kg ha}^{-1}$ (SOUZA e LOBATO, 2006).

A semeadura ocorreu no dia 08/03/2022, com o auxílio de uma semeadora adubadora de arrasto (Figura 30A), utilizada apenas para abertura da linha de semeadura e distribuição uniforme dos fertilizantes (adubação de semeadura), porém, a semeadura de fato ocorreu na forma manual devido aos espaçamentos dos gotejadores para a condição irrigada (Figura 30B). A semeadura para a condição de sequeiro foi realizada com uma plantadora adubadora contendo cinco linhas, Jumil 2670 POP exacta acoplada um Agrale 5085.4 de 85 cv, semeando dez linhas de 20 m de comprimento, depositando a semente na profundidade de 3-4 cm. A densidade de semeadura utilizada foi de $60.000 \text{ sementes ha}^{-1}$ mantendo o espaçamento de 0,5 m entre linhas. Cada tratamento experimental foi constituído de 20 m de comprimento por 6,5 m de largura totalizando 130 m^2 , obtendo uma área total de 260 m^2 cultivados (Figura 30C).

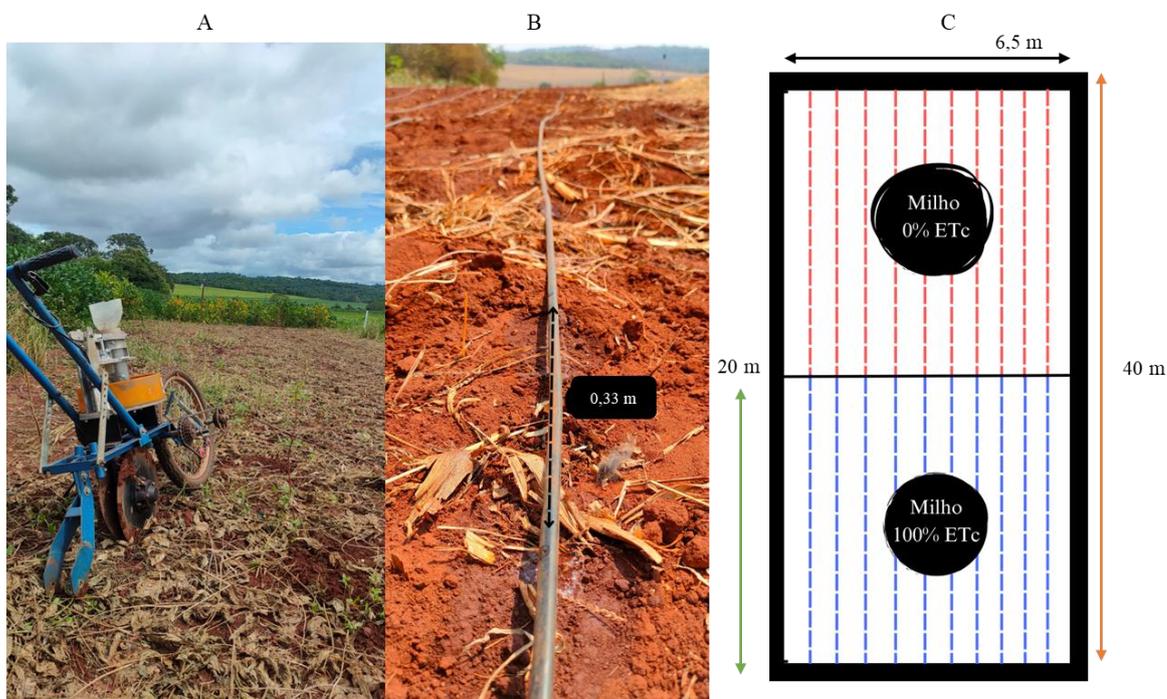


Figura 30 - Utilização da semeadora adubadora de arrasto para abertura da linha de semeadura (a), distribuição dos fertilizantes e semeadura na linha realizada na forma manual (b) e exemplificação da distribuição dos tratamentos na área experimental (c).

O manejo pós-emergente do milho, em ambas condições hídricas, foi aplicado 24 dias após a semeadura (DAS), utilizando Glifosato - sal de potássio “2 L p.c ha⁻¹” + Atrazina “5 L p.c ha⁻¹”, aplicação realizada devido à presença de Capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*), Capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*) e Caruru-roxo (*Amaranthus hybridus*).

Aos 35 DAS, houve alta incidência de cigarrinha do milho (*Dalbulus maidis*) e mancha de diplodia (*Stenocarpella macrospora*), sendo realizada a aplicação aos 36 DAS, com Picoxistrobina + Ciproconazol “300 mL p.c ha⁻¹”; Zeta-cipermetrina + Bifentrina “200 mL p.c ha⁻¹”; Tiametoxam + Lambda-cialotrina “200 L p.c ha⁻¹”; Óleo Vegetal (0,5% v/v).

Aos 40 DAS, a presença de cigarrinha do milho (*Dalbulus maidis*) para ambas condições hídricas, ainda continuava elevada, sendo necessário aplicações aos 42, 48 e 54 DAS aplicações com Tiametoxam + Lambda-cialotrina “200 L p.c ha⁻¹”; Zeta-cipermetrina + Bifentrina “200 mL p.c ha⁻¹”; Acetamiprido “300 g p.c ha⁻¹”.

A segunda aplicação de fungicida ocorreu 55 DAS com Azoxistrobina + Ciproconazol “300 mL p.c ha⁻¹”; Carbendazim “500 mL p.c ha⁻¹”; Óleo Vegetal (0,5% v/v).

Aos 76 DAS, foi realizado a terceira e última aplicação de fungicida, com Mancozebe “2,8 kg p.c ha⁻¹”; Picoxistrobina + Ciproconazol “300 mL p.c ha⁻¹”; Carbendazim “500 mL p.c ha⁻¹” + Tiametoxam + Lambda-cialotrina “200 L p.c ha⁻¹”; Óleo Vegetal (0,5% v/v) devido à presença de cercosporiose (*Cercospora zea- maydis*) e helmitosporiose do milho (*Exserohilum turcicum*).

As aplicações mencionadas foram realizadas com o uso de um pulverizador costal de pressão constante à base de CO₂ (30 lb pol⁻²) com uma barra de quatro bicos, com pontas de pulverização do tipo leque 11002-AD, espaçadas em 0,5 m, propiciando um volume de aplicação de calda equivalente a 150 L ha⁻¹. A colheita da área experimental foi realizada dia 21/07/2022 de forma manual.

Foi utilizado o sistema de irrigação via gotejamento (autocompensante) superficial por gravidade com vazão média de 0,6 L h⁻¹ (CV = 4%) com espaçamento entre linhas de 0,5 m, e entre os gotejadores de 0,33 m. O manejo da irrigação foi realizado considerando como fonte entrada de água a precipitação (P), e como fonte de saída a evapotranspiração da cultura (ETc = ETo x kc), sendo realizado o cálculo e a reposição de água no solo na forma diária.

Os dados meteorológicos para a estimativa da ETc foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O cálculo diário de ETc foi realizado no *software* Sistema para Manejo da Agricultura Irrigada (MARIANO et al., 2011) pelo método de *Penman-Monteith* (Padrão FAO). Foi utilizado coeficiente da cultura (kc) do milho conforme proposto por Doorenbos e Kassan (1979) (Tabela 5).

Tabela 5 - Duração da fase fenológica e coeficiente de cultivo da cultura do milho

Cultura	Fase fenológica	Dias	kc
Milho Precoce	VE a V6	14	0,5
	V7 a VT	20	0,85
	VT a R1	48	1,2
	R2 a R3	32	0,95
	R4 a MF	16	0,6

VE - Emergência; V6 - Sexta folha; V7 - Sétima folha; VT - Pendoamento; R1- Florescimento; R2 - Grão leitoso; R3 - Grão pastoso; R5 - Formação de dentes; MF - Maturação fisiológica.

O Balanço Hídrico Climatológico Sequencial (BHCS) da cultura foi realizado de acordo com o método proposto por Thornthwaite e Mather (1955), considerando os valores médios decendiais de temperatura do ar e da precipitação pluviométrica, relacionando com a capacidade de água disponível no solo (CAD), sendo adotado o valor de 67,5 mm para a CAD, estimada em função da água média do solo para a classificação do município ($1,5 \text{ mm cm}^{-1}$), e a profundidade do sistema radicular (45 cm) (FARIAS, ALMEIDA e GARCIA, 1997; MAROUELLI, SILVA e SILVA, 2017).

4.4 Características avaliadas

Em relação aos índices morfofisiológicos, foram avaliados para a cultura do milho:

- População de plantas: amostra de cinco repetições de $2,5 \text{ m}^2$ e quantificado as plântulas emergidas aos 14 DAS.
- Potencial hídrico: foi medido antemanhã e às 12h no estágio fenológico R₂-R₃, por meio da câmara de pressão do tipo Scholander.
- Trocas gasosas: realizado estágio fenológico V₃-V₄ e R₂-R₃ as trocas gasosas das plantas foram avaliadas para registro das taxas fotossintética (A, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e transpiratória (E, $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Estas avaliações foram realizadas utilizando medidor portátil de trocas gasosas CI 340 (CID Biosciences, Camas, WA, USA), entre as 08h e 11h com temperatura do bloco ajustada em 25°C e densidade de fluxo de fótons fotossintéticos igual a $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para o milho.
- Extravasamento de eletrólitos (TLE): a avaliação do extravasamento de eletrólitos dos tecidos foliares, indicador da descompartimentalização celular, foi realizada mediante a taxa de liberação de eletrólitos segundo adaptação da metodologia descrita por Vasquez-Tello et al. (1990) e Pimentel et al. (2002). Foram coletados 15 discos foliares de cinco mm de diâmetro de cada repetição. Os discos foram

lavados previamente com água e então submersos em 30 ml de água deionizada, em frascos âmbar, por período de 24 horas à temperatura ambiente. Após este período, foi mensurada a condutividade livre (CL, $\mu\text{S cm}^{-1}$), utilizando condutímetro portátil CD-850. Posteriormente, os mesmos frascos foram colocados em estufa por uma hora sob temperatura de 100°C e, após o resfriamento até temperatura ambiente, foi medida a condutividade total (CT, $\mu\text{S cm}^{-1}$). Para evitar o erro nos resultados, o sensor foi lavado entre cada leitura com água deionizada. A taxa de liberação de eletrólitos foi obtida utilizando a fórmula $\text{TLE (\%)} = \text{CL/CT} \times 100$. As coletas dos discos foliares foram realizadas no horário entre 07h e 11h no estágio fenológico V₃-V₄ e R₂-R₃.

- Temperatura foliar: foi mensurada a temperatura foliar do terço médio de cinco plantas no estágio fenológico V₃-V₄ e R₂-R₃, por meio de termômetro digital infravermelho, no horário compreendido entre 09 e 10h, posicionado a 5 cm acima da epiderme adaxial das folhas.
- Conteúdo relativo de água (CRA): realizado segundo a metodologia descrita por Barrs e Weatherley (1962), fragmentos de folhas foram coletadas do terço médio de cinco plantas e pesadas imediatamente após a remoção para obter a matéria fresca (MF). Em seguida, os fragmentos foram colocados para flutuar em água deionizada por 24 h e então pesados, para obtenção da massa túrgida (MT). A seguir, as amostras foram colocadas em estufa a 75°C por 72 h, para obtenção da matéria seca (MS). A partir desses dados foi calculado o conteúdo relativo de água, de acordo com a fórmula: $\text{CRA} = (\text{MF}-\text{MS}) / (\text{MT}-\text{MS}) \times 100\%$. As coletas para avaliação de CRA foram realizadas no horário entre às 07 e 11h no estágio fenológico V₃-V₄ e R₂-R₃.
- Altura de plantas: antes da colheita, a altura de plantas foi determinada a partir de cinco amostras de três metros linear de cultivo, com régua graduada em centímetros, tomando-se a distância entre o nível do solo e o ápice da planta, realizado no estágio fenológico V₃-V₄ e R₂-R₃.
- Área foliar: determinou-se por meio da obtenção da imagem digital da folha, integração e cálculo da área foliar, utilizando o *software* ImageJ[®] no estágio fenológico R₂-R₃.

- Matéria seca de parte aérea: composto pela seleção de cinco amostras aleatórias no estágio fenológico R₂-R₃, destacadas, e previamente secados a 75°C por 72h e posteriormente pesados, com valores representando a média da variável.
- Diâmetro e comprimento da espiga sem palha: após a colheita de todas as espigas coletadas em 7,5 m² (área amostral), em cinco repetições, as mesmas vieram a ser submetidas à medição, utilizando um paquímetro digital.
- Número de grãos por fileira e quantidade de fileiras: foi determinado através da contagem manual, e os valores representando a média da variável.
- Número de espiga por planta: foi determinada a partir a delimitação de 7,5 m² em cinco repetições e quantificadas as espigas presentes em cada planta.
- Peso de mil grãos: após determinada a produtividade, foi efetuada a contagem de cinco amostras de mil grãos por repetição de cada tratamento com o auxílio do equipamento Sanik ESC 2011, e então pesadas em balança de precisão com três casas decimais. A correção de umidade para 13% foi realizada através da fórmula:

$$\text{Peso corrigido para Ud\%} = \text{Peso úmido} \cdot \frac{100 - \text{Ua\%}}{100 - \text{Ud\%}}$$

Em que,

Ud% = Umidade desejada;

Ua% = Umidade atual.

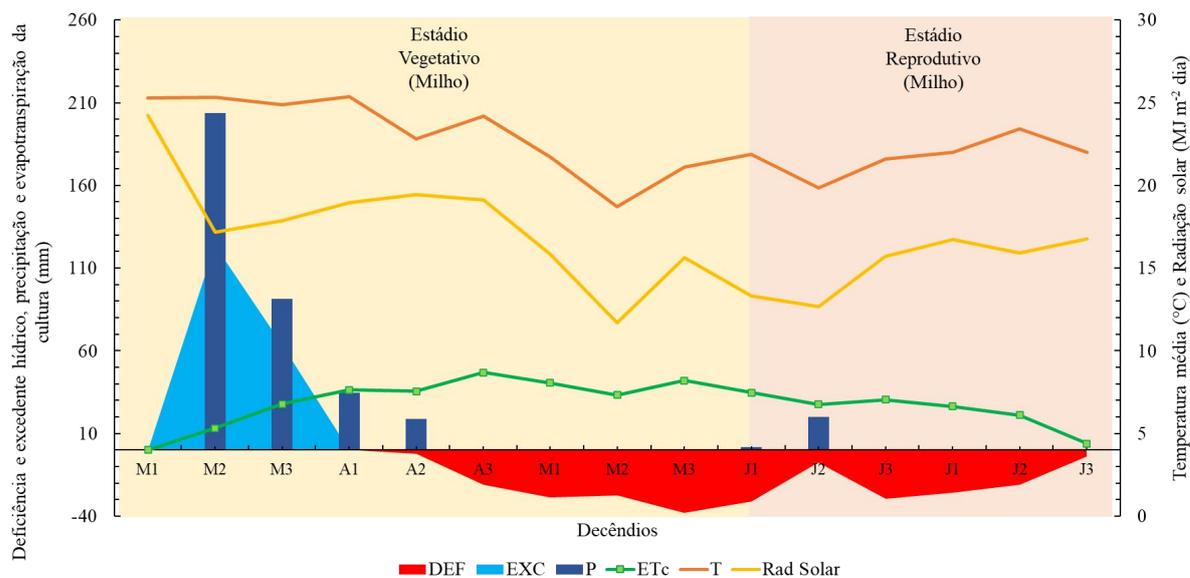
A massa de 1.000 grãos foi determinada de acordo com as regras para Análises de Sementes (BRASIL, 2009).

- Produtividade de grãos: determinada a partir da amostragem de 5,0 m em cinco repetições dentro de cada tratamento, limpadadas e pesadas. Após isso a umidade foi corrigida para 13%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Balanço hídrico climatológico decendial para cultura do milho

A precipitação total durante o desenvolvimento da cultura foi de 371,40 mm concentrados durante o segundo decêndio de março ao segundo decêndio de abril, deixando a cultura sob 235,5 mm de déficit hídrico total ao longo de seu ciclo (Figura 31).



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) - Estação: Rio Verde-GO - 83470. DEF: Deficiência hídrica; EXC: Excedente hídrico; P: Precipitação; ETc: Evapotranspiração da cultura; T: Temperatura média; Rad Solar: Radiação solar média. Dados representados por médias decendiais.

Figura 31 - Balanço hídrico normal decendial em sistema de sequeiro para o município de Rio Verde-GO, no ano agrícola 2021/22, para a cultura do milho em semeadura tardia.

No momento da semeadura, o ARM era de 58,8 mm, e a capacidade de água disponível (CAD) veio a ser atingida logo no segundo decêndio de março com 123,8 mm de excedente hídrico (EXC), mantendo-se até o terceiro decêndio, com um total acumulado de 187,1 mm.

Durante o período de definição dos componentes de produtividade do milho (V_8 a V_{17}), houve 2,2 mm de deficiência hídrica (DEF). Segundo Magalhães et al. (2006), déficits hídricos expressivos nesse período podem comprometer o número de fileiras por espigas, número de grãos por fileira e tamanho de espigas. Evidenciando a informação citada por Wilson (1968); Claasen e Shaw (1970) no qual, a redução do rendimento final do grão não depende apenas da intensidade do déficit hídrico, como também do estágio de desenvolvimento em que a cultura se encontra.

Já durante os estágios V_T (pendoamento) a R_1 (Florescimento), no qual a planta de milho é altamente vulnerável às intempéries da natureza do que qualquer outra fase de desenvolvimento, pelo fato do pendão e todas as folhas estarem completamente expostas ao tempo (MAGALHÃES et al., 2006), houve 146,0 mm de DEF/decêndio. A ocorrência de déficit hídrico durante esse período aumenta o abortamento de grãos de milho, causa abortamento das flores, reduzindo a produção, mesmo que ocorra a polinização (SCHUSSLER e WESTGATE, 1991), além de afetar o sincronismo pendão-espiga. Estudos

realizados estimam-se que, caso a cultura passe por déficits hídricos expressivos durante a floração, a perda de produção será de 20 a 50% do potencial produtivo do híbrido (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000).

A temperatura média ao longo do ciclo da cultura foi de 22,6°C. Segundo Pereira e Cruz (2003), para que ocorra o desenvolvimento da cultura a temperatura associada entre 20 e 30°C são as ideais. Porém, durante o segundo decêndio de maio, momento esse que a cultura se encontrava entre a fase fenológica V_T a R_1 , ocorreu a presença de geada quando a temperatura mínima registrada foi inferior a 4°C. Segundo Thakur, Kumar e Berger (2010) o milho semeado na safrinha de forma tardia em locais que apresentem históricos de geadas severas, tendem a reduzir a formação de grãos, ocasionados pela abscisão floral, além da diminuição da sincronia floral, anormalidades morfológicas florais, abortamento de óvulos, esterilidade do pólen, e inibição das enzimas do metabolismo de acumulação de carboidratos, reduzindo assim até o ciclo da cultura.

Diante disso, a semeadura em 08/03/2022, acabou deixando o milho sob expressivos valores de DEF, o que pode impactar diretamente na produtividade. Para evitar essas perdas, a irrigação é altamente viável, desde que haja um manejo adequado, para assim, atender às diferentes necessidades hídricas dos estágios da cultura e evitar o gasto excessivo de água e energia (ANDRADE et al., 2006). Contudo, plantas dos tratamentos em condições irrigadas não tiveram os impactos citados que são ocasionados pelo déficit hídrico.

5.2 População de plantas

A população de plantas para a condição irrigada foi de 56.667 plantas ha⁻¹ e 58.000 plantas ha⁻¹ para a condição de sequeiro, médias essas que não se diferiram entre si (Figura 32).

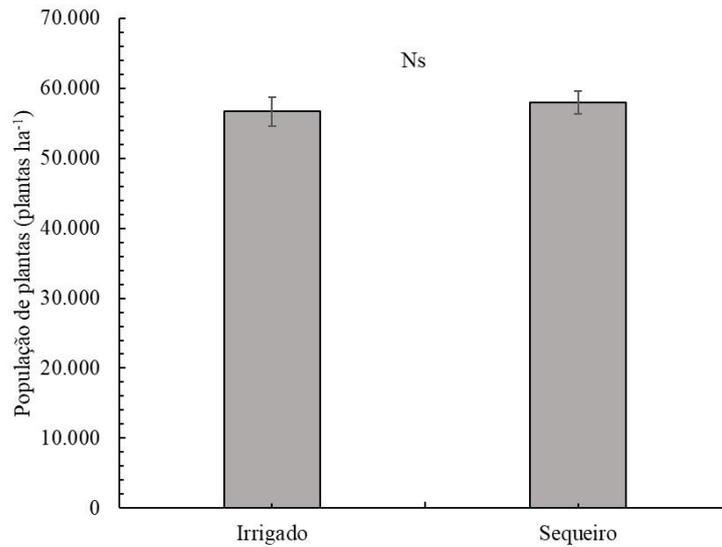


Figura 32 - População de plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22 sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Ns: não houve diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A elevada precipitação observada nos primeiros 20 dias (211,8 mm) contribuiu para que as sementes atingissem uma população próxima à desejada. FOLONI et al. (2014) observaram em seus estudos sob a cultura do milho que a população final de plantas foi em média 6% menor que as definidas para implementação do trabalho, valor esse similar ao observado no presente estudo com o objetivo de atingir 60.000 plantas ha⁻¹ esse valor foi 4,6% inferior ao desejado.

Esse fator pode ser explicado devido à presença de elevada precipitação no segundo decêndio de maio (203,60 mm decêndio⁻¹), levando a um excedente hídrico de 123,8 mm decêndio⁻¹, no qual, segundo DANTAS et al. (2000) o excesso de chuva após a semeadura pode ser prejudicial à germinação. MORTALE et al. (2006) citam que esse fato ocorre devido o excesso hídrico causar o impedimento da penetração de oxigênio, reduzindo assim todo o processo metabólico da semente e, conseqüentemente, a sua porcentagem de germinação.

5.3 Conteúdo relativo de água na folha (CRA)

Para a variável conteúdo relativo de água (CRA) em V₃-V₄ houve diferença para as condições hídricas delimitadas, no qual as plantas conduzidas sob sequeiro apresentaram maiores médias em relação ao cultivo irrigado, sendo de 89% e 84%, respectivamente (Figura

33A). Já a realizada em R₂-R₃ não apresentou diferença significativa entre os tratamentos delimitados (Figura 33B).

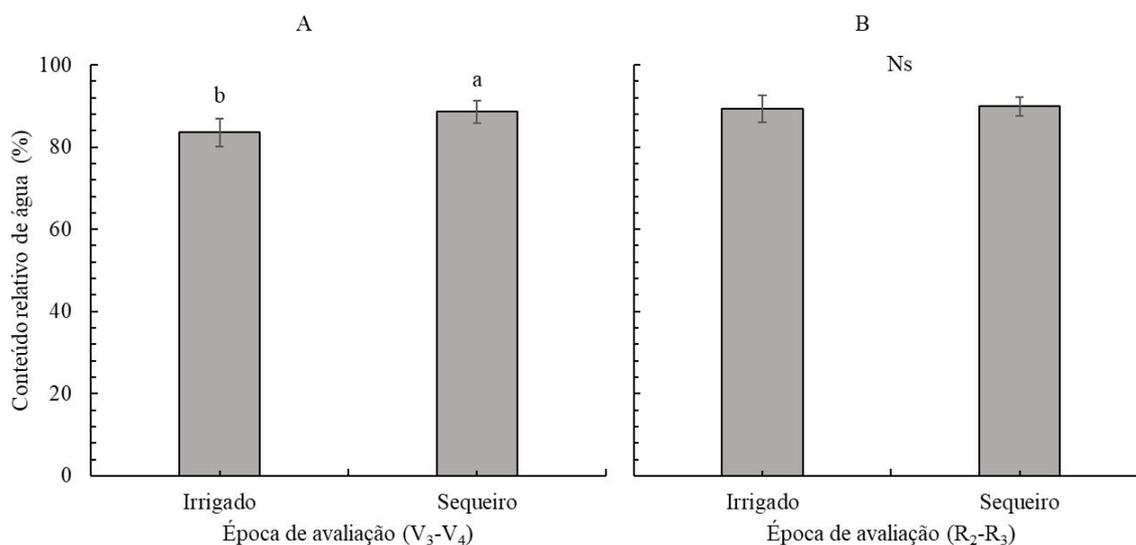


Figura 33 - Conteúdo relativo de água realizado em duas épocas de avaliação (V₃-V₄, A, e R₂-R₃, B) em folhas do terço médio das plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Ns: não houve diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Era-se de esperar que as plantas no cultivo de sequeiro obtivessem menores médias, porém, estudos realizados por Machado et al. (2004), observando o comportamento de duas diferentes linhagens, notou que houve efeito contrário para cada uma, mostrando que a variável conteúdo relativo de água (CRA) está totalmente ligada também com a genética da planta.

Behmann, Steinrucken e Plumer (2014) citam que a identificação do início do estresse hídrico é vital e extremamente fundamental, porém, dificilmente é observado. Trabalho realizado por Bonilla (2015), utilizando dois diferentes parâmetros biofísicos para identificar a presença de estresse hídrico na planta, sendo o CRA e a espessura específica da água (EEA), observaram que só após nove dias de imposição do déficit foi possível observar variação significativa do CRA enquanto que o EEA mostrou-se mais sensível obtendo uma resposta com apenas seis dias. Diante disso, a presença de 53,8 mm de precipitação em um intervalo de 20 dias antecedendo à avaliação pode ter contribuído para o determinado comportamento.

5.4 Extravasamento de eletrólitos (TLE)

A variável extravasamento de eletrólitos (TLE), realizada em V₃-V₄, foi marcada por maiores valores sob as plantas cultivadas em sequeiro (35%), diferindo-se estatisticamente das plantas cultivadas sob a condição irrigada (32%) (Figura 34A). Já em R₂-R₃ não foi observada diferença significativa entre os tratamentos delimitados (Figura 34B).

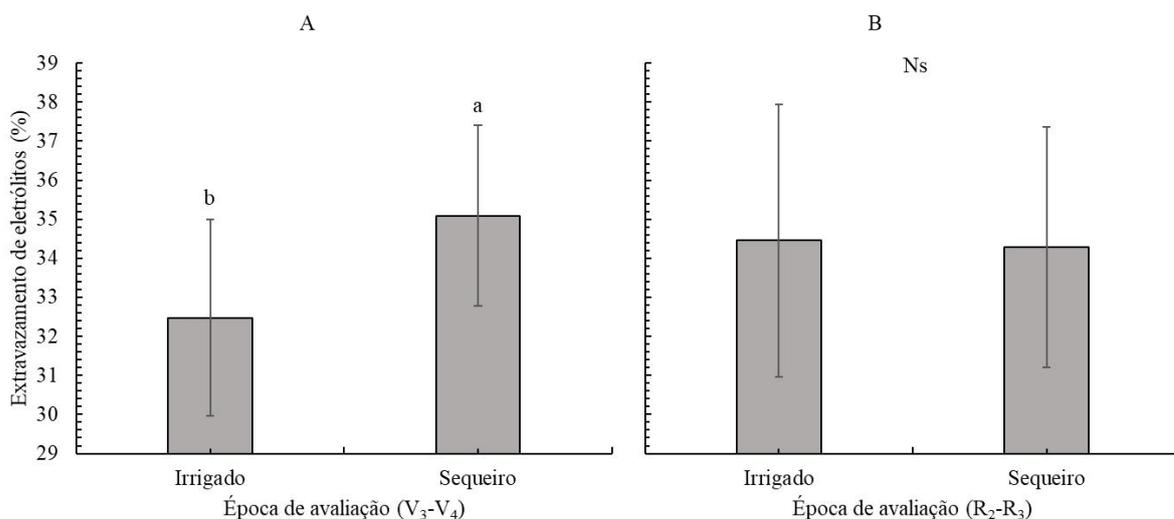


Figura 34 - Extravasamento de eletrólitos realizado em duas épocas de avaliação (V₃-V₄, A, e R₂-R₃, B), em discos foliares, do terço médio das plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22 sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Ns: não houve diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Diante disso, nota-se que o início do déficit hídrico (2,3 mm decêndio⁻¹) foi capaz de induzir o aumento do estresse oxidativo em plantas cultivadas sob sequeiro no estágio vegetativo, interferindo sobre a integridade da membrana plasmática (MUNNÉ-BOSCH, 2002). O uso da irrigação foi eficiente em conservar os estresses oxidativos e preservar a membrana plasmática.

5.5 Potencial hídrico, taxa fotossintética, transpiração e temperatura foliar

O potencial hídrico foliar (Ψ_{ws}) foi marcado por diferenças significativas em que o tratamento irrigado obteve as menores médias em relação ao cultivo de sequeiro, sendo de 0,40 e 0,52 MPa, respectivamente (Figura 35).

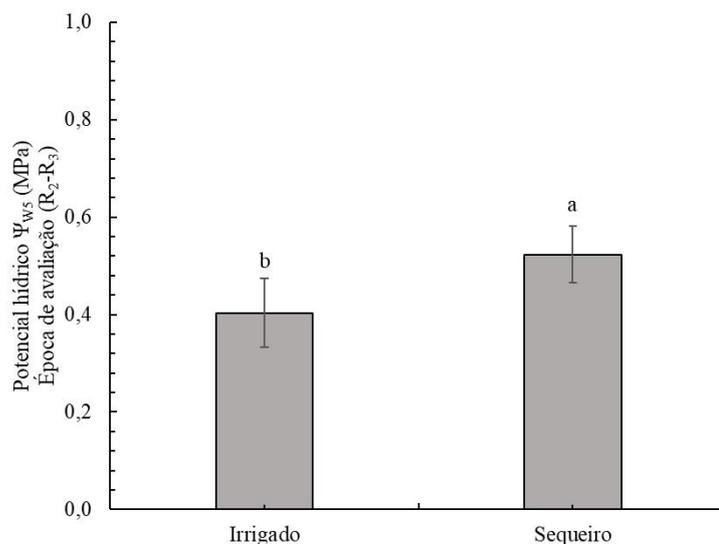


Figura 35 - Potencial hídrico (Ψ_{w5}) realizado em plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Ns: não houve diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para potencial hídrico foliar (Ψ_{w12}), houve diferença significativa entre as condições hídricas delimitadas, sendo o cultivo de sequeiro o tratamento que obteve maiores médias com 0,84 MPa, enquanto o cultivo irrigado obteve 0,66 MPa (Figura 36).

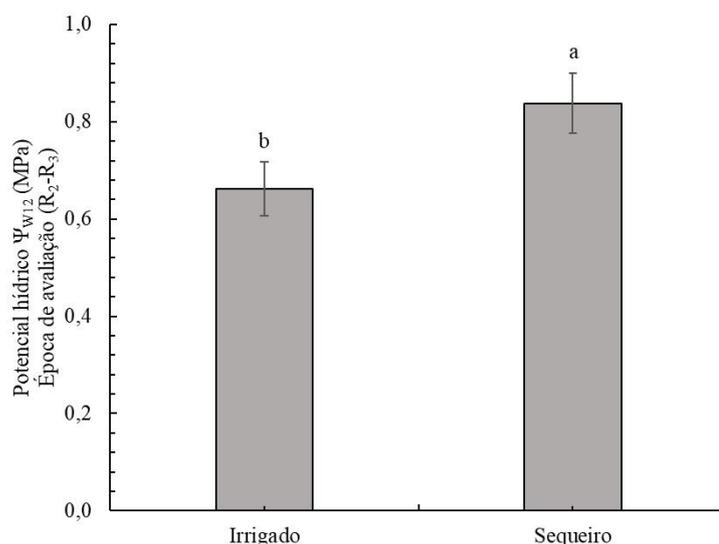


Figura 36 - Potencial hídrico (Ψ_{w12}) realizado em plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Ns: não houve diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O comportamento do híbrido para a variável Ψ_{W5} confirmou a reação da variável Ψ_{W12} , quando foi possível observar uma maior disponibilidade hídrica das plantas cultivadas sob irrigação, visto que a variável realizada antemanhã tem como principal objetivo indicar a real disponibilidade hídrica no solo, uma vez que há uma tendência de equilíbrio entre a condição hídrica da planta e do solo (SILVA et al., 2003).

A redução do Ψ_{W12} em plantas de milho, no presente estudo, pode ser explicada pelo fato da dificuldade das plantas em repor a água perdida, ocasionada pela baixa disponibilidade hídrica do solo observada no Ψ_{W5} (BERGAMASCHI et al., 2007). De acordo com Jones et al. (2009) e Mutava et al. (2011), genótipos tolerantes à seca com altos rendimentos têm sido identificados pelo resfriamento do dossel e, para escaparem da seca, necessitam de maior gasto de água. Portanto, a elevada taxa transpiratória e o baixo Ψ_{W5} nas plantas cultivadas sob sequeiro no estágio fenológico R₂-R₃ demonstram que a intensidade do déficit hídrico foi capaz também de gerar a desidratação das plantas de milho e flacidez celular, não obtendo pressão necessária para que ocorresse também o alongamento celular (altura de plantas) (SANTOS et al., 2020).

Para taxa fotossintética em plantas de milho manejadas com e sem irrigação não houve diferença significativa entre os tratamentos em ambas épocas de avaliação (Figura 37A) e (Figura 37B).

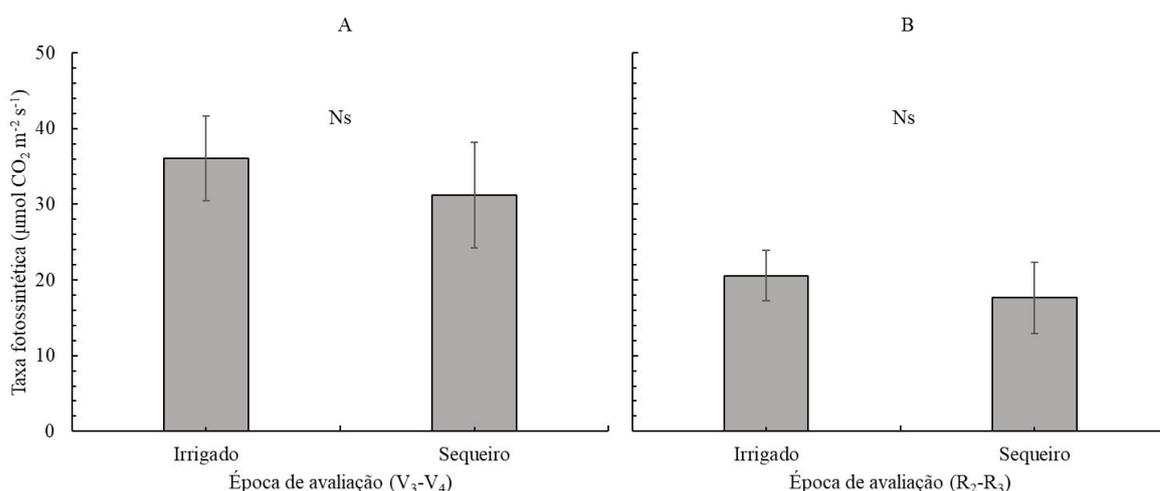


Figura 37 - Taxa fotossintética realizada em duas épocas de avaliação (V₃-V₄, A, e R₂-R₃, B) em plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Ns: não houve diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para taxa de transpiração em plantas de milho manejadas com e sem irrigação, também não houve diferença significativa entre os tratamentos para ambas épocas de avaliação (Figura 38A) e (Figura 38B).

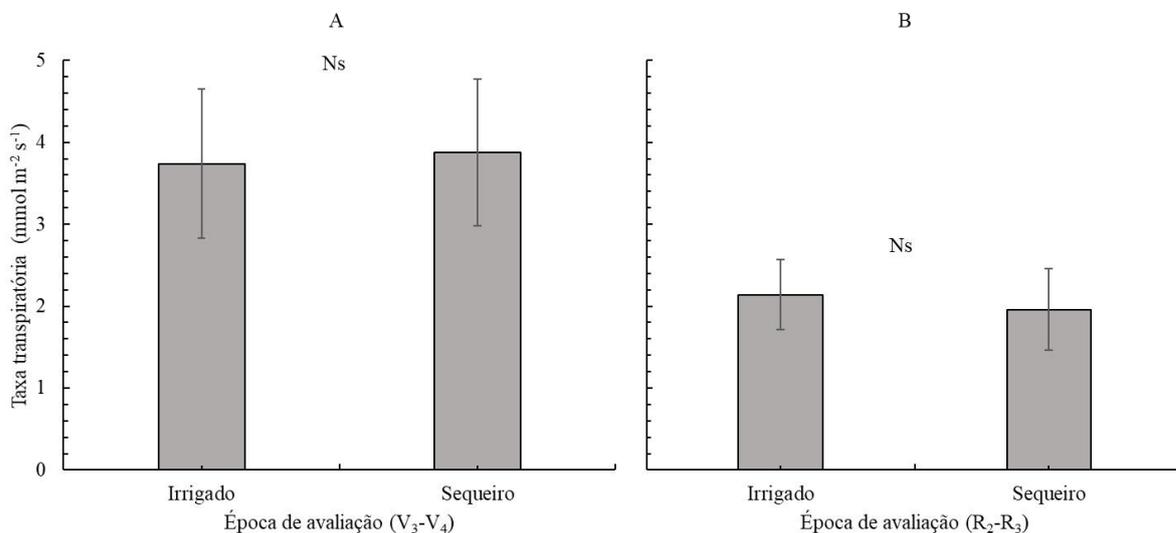


Figura 38 - Taxa transpiratória realizada em duas épocas de avaliação (V₃-V₄, A, e R₂-R₃, B) em plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Ns: não houve diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Avila et al. (2016) avaliaram a resposta de híbrido sensível (BRS1010 e 2B710) tolerantes (DKB390 e BRS1055) o déficit hídrico, com diferentes regimes de irrigação e déficit de irrigação e também não encontraram diferenças ($p > 0,05$) na condutância estomática e taxas de transpiração entre os genótipos sob déficit hídrico.

Porém, foi possível observar a intensa redução na taxa fotossintética e transpiração das plantas durante a aferição na segunda época de avaliação, quando as médias passaram de 36,08 para 20,57 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no cultivo irrigado e 31,16 para 17,56 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no cultivo de sequeiro. Para transpiração as médias passaram de 3,88 $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para 1,96 $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no cultivo de sequeiro, e de 3,74 $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para 2,14 $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ na condição irrigada. Esse fato pode ser explicado pela presença de baixa radiação solar no segundo e terceiro decêndio de março (11,7 e 15,7 $\text{MJ m}^{-2} \text{ decêndio}^{-1}$, respectivamente), no qual segundo Gao et al. (2017) em seu estudo, observando o comportamento do milho cultivado sobre sombreamento durante diferentes fases fenológicas concluiu que, a cultura é extremamente sensível à baixa radiação solar, e independente do estágio fenológico ocorrerá

redução no enchimento e produtividade de grãos, isso pelo fato da produção final estar totalmente relacionada com a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa.

A variável temperatura foliar também obteve comportamento semelhante às demais variáveis fisiológicas, onde houve diferença significativa na primeira época de avaliação (V₃-V₄) sendo as plantas sob sequeiro as que atingiram maiores médias (22,1±1,04°C) (Figura 39A), enquanto na segunda época de avaliação (R₂-R₃) não houve diferença significativa (Figura 39B).

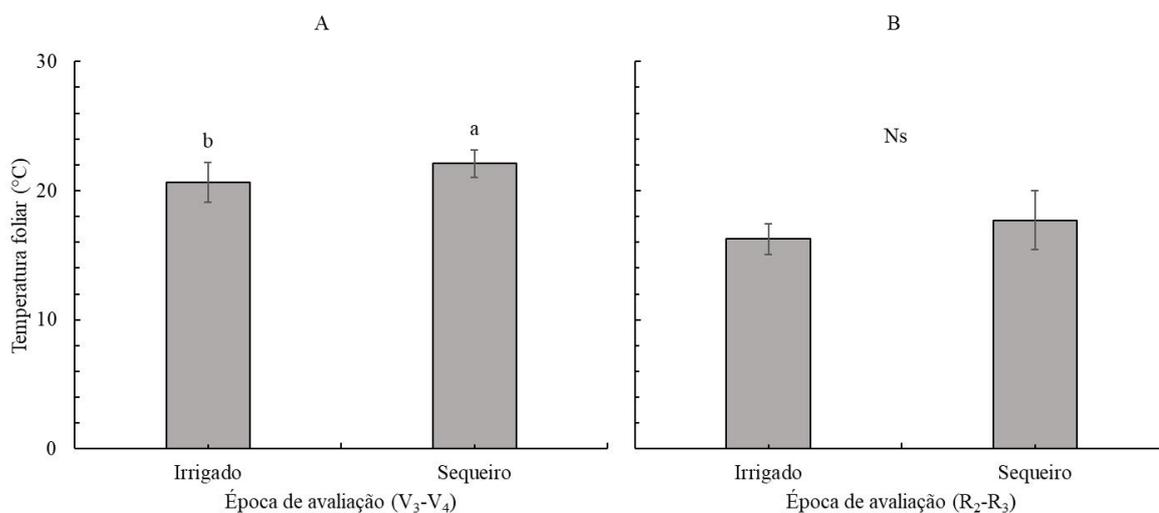


Figura 39 - Temperatura foliar realizada em duas épocas de avaliação (V₃-V₄, A, e R₂-R₃, B) em folhas do terço médio de plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Ns: não houve diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O comportamento obtido para a variável é uma consequência da tolerância do híbrido à seca, em que o mesmo por possuir maior status hídrico, podendo gastar mais água pela abertura dos estômatos para um efetivo e maior resfriamento do dossel (JONES et al., 2009 e MUTAVA et al., 2011). Dados obtidos coerentes com o de Zia et al. (2013), no qual citam que genótipos mais tolerantes ao déficit hídrico apresentaram menor temperatura do dossel e maior condutância estomática.

5.6 Altura de plantas

Para a variável altura de plantas realizadas em ambas as épocas de avaliação, foi possível observar que todas as plantas conduzidas sob sequeiro obtiveram menores médias em

relação ao cultivo irrigado. Na primeira época de avaliação (Figura 40A), as plantas cultivadas sob irrigação obtiveram altura média de 1,02 m, enquanto, a condição de sequeiro foi marcada por 0,88 m, redução de aproximadamente 14%. Já na época R₂-R₃ (Figura 40B), as plantas sob o cultivo irrigado obtiveram médias de 1,74 m enquanto o cultivo de sequeiro obteve uma redução de 9,8% (1,57 m).

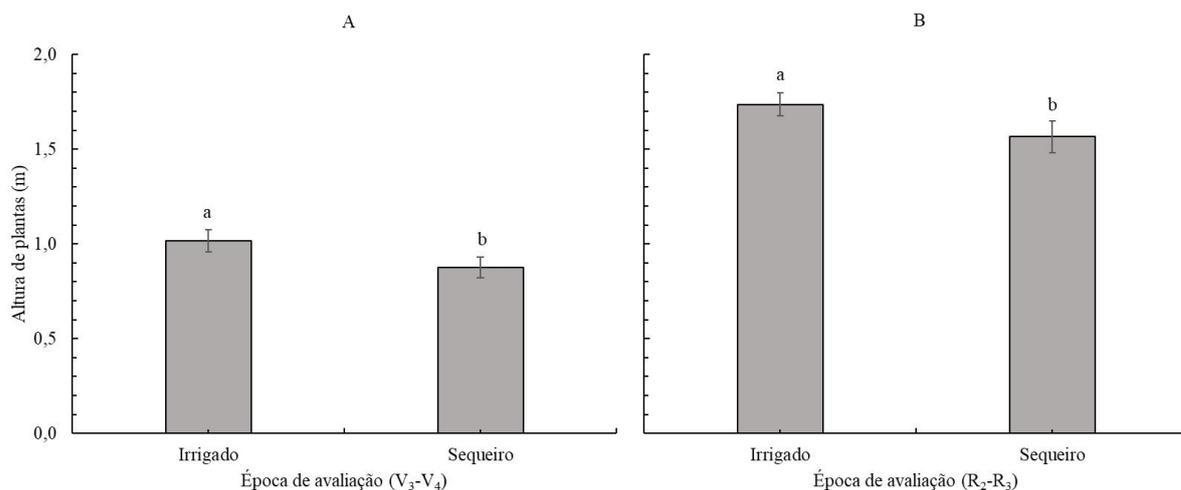


Figura 40 - Altura de plantas realizada em duas épocas de avaliação (V₃-V₄, A e R₂-R₃, B) em plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Ns: não houve diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Vale salientar que entre os períodos determinados ocorreu a adubação nitrogenada de cobertura, sendo o cultivo na condição irrigada beneficiado devido à prática da irrigação, o qual atuou, deixando o nutriente disponível para absorção da cultura. Logo após isso, o milho inicia um aumento rápido e constante de acúmulo de nutrientes sendo refletido na altura de plantas. Já quando ocorre o déficit hídrico após a adubação nitrogenada, essa absorção é reduzida e/ou interrompida, diminuindo assim, o alongamento celular devido à redução do potencial de turgescência das células, prejudicando também o processo de divisão celular, refletindo em redução na altura de plantas (SCHULZEET al., 2019).

A elevada taxa transpiratória e o baixo potencial hídrico foliar, nas plantas cultivadas sob sequeiro, demonstram que a intensidade do déficit hídrico foi capaz também de gerar a desidratação das plantas de milho e flacidez celular, não obtendo pressão necessária para que ocorresse também o alongamento celular (SANTOS et al., 2020).

Entre as épocas de avaliação, a cultura ficou sob baixo índice pluviométrico (20 mm mês⁻¹) e, conseqüentemente, um DEF de 114,9 mm mês⁻¹. Estudos realizados por Carlesso e

Santos (1999) com o objetivo de avaliarem o crescimento de milho em condições de estresse hídrico, também observaram redução na variável altura de plantas. Guimarães, Rocha e Paternian (2019) também citaram redução da variável sob a ocorrência de déficit hídrico.

5.7 Área foliar

Para a variável área foliar em R₂-R₃, as plantas cultivadas sob sequeiro foram diretamente afetadas pela baixa disponibilidade hídrica do solo, diferenciando-se estatisticamente da condição irrigada, obtendo 4.722,3 e 5.556,3 cm², respectivamente (Figura 41).

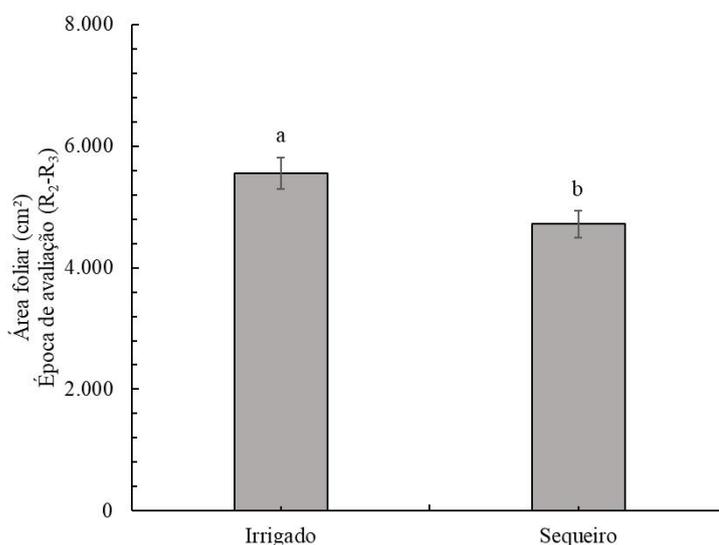


FIGURA 41 - Área foliar (cm²) realizada em plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Ns: não houve diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A limitação na área foliar observada no presente trabalho pode ser considerada uma das primeiras reações das plantas sob o déficit hídrico, pois na ausência de água disponível no solo, a planta reduz a expansão das folhas, acelera a senescência, diminui o índice de área foliar e aumenta a abscisão das folhas (TAIZ e ZEIGER, 1991).

O aumento da senescência no dossel vegetativo tem sido identificado por Wullschleger e Oosterhuis (1992) e Carlesso (1993) como um fator extremamente limitante para um alto potencial produtivo da cultura, pois, quando as plantas ficam expostas a

situações de déficit's, geram respostas fisiológicas, que resultam na conservação de água no solo.

Além disso, Mbewe e Hunter (1986), Zhang et al. (2007), Cui et al. (2013), Ren et al. (2016) e Gao et al. (2017) relataram também que, caso a deficiência hídrica seja acompanhada pela diminuição da radiação solar, irá ocorrer declínios significativos ainda mais intensos no índice de área foliar, taxa fotossintética e na produção de biomassa, dados esses condizentes com os obtidos no trabalho.

O aumento da senescência no dossel vegetativo tem sido identificado por Wullschleger e Oosterhuis (1992) e Carlesso (1993) como um fator extremamente limitante para um alto potencial produtivo da cultura, pois, quando as plantas ficam expostas a situações de déficit's geram respostas fisiológicas, que resultam na conservação de água no solo, como se estivessem economizando para períodos posteriores. Este mecanismo tem sido identificado no híbrido DKB 390 o mesmo utilizado neste trabalho por diminuir a superfície de transpiração foliar, ajudando na sobrevivência da planta pela manutenção e controle do uso da água frente ao déficit hídrico, resposta essa observada na variável transpiração realizada em R₃-R₄ (SHAO et al., 2008).

5.8 Matéria seca de parte aérea

Para variável matéria seca de parte aérea houve médias que não se diferiram entre si (Figura 42). A condição irrigada obteve valor médio da matéria seca do caule de 150 g, enquanto a condição de sequeiro foi de 127 g.

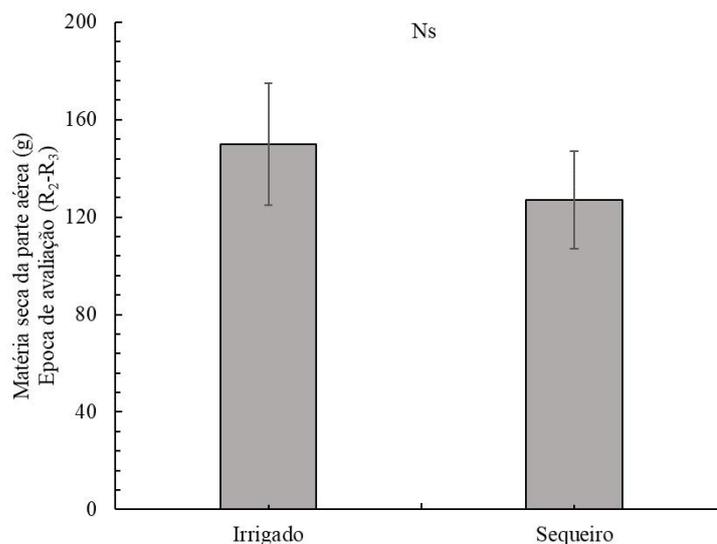


Figura 42 - Matéria seca de parte aérea (g) realizada em plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Ns: não houve diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados obtidos no presente trabalho estão de acordo com os de Parizi et al. (2009) no qual não obteve diferença significativa para a determinada variável cultivados em diferentes lâminas de irrigação, entre 0 e 120% da ETc, no município de Santiago, Rio Grande do Sul.

5.9 Número de espiga por planta

Para variável número de espiga por planta houve reduções significativas de 23,3% quando as plantas foram submetidas ao cultivo de sequeiro em relação ao cultivo irrigado (Figura 43). Os valores médios obtidos em campo para a condição de sequeiro e irrigado foram de 1,37 e 1,05 número de espigas por planta, respectivamente.

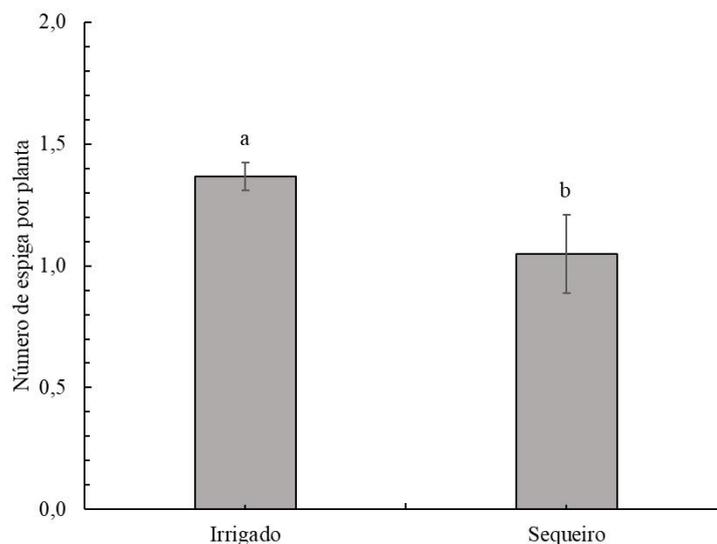


Figura 43 - Número de espiga por planta realizado na cultura do milho cultivada em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Ns: não houve diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Reduções nesse componente também foram observadas por Cardoso et al. (2011) em diferentes genótipos de milho sob condição de déficit hídrico. A redução da variável no presente trabalho pode ser justificada pelo atraso provado pelo déficit hídrico na emissão da espiga, o que propiciou que muitas plantas perdessem sua capacidade de emissão das mesmas por causa do estado debilitado que se encontravam sob a determinada condição.

5.10 Número de fileiras por espiga

A variável número de fileiras por espiga não obteve diferença significativa entre as condições hídricas delimitadas (Figura 44).

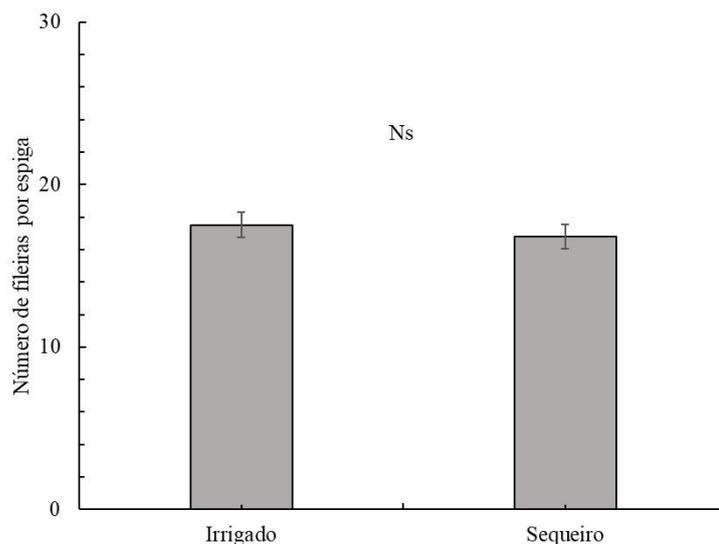


Figura 44 - Número fileiras por espiga realizado em plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Ns: não houve diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Segundo Garcia et al. (2006), a definição desse componente se dá entre as fases V_5 e V_8 do milho, em torno de 15 a 30 dias após emergência. Esse período, no presente trabalho, foi marcado por ausência de DEF o que possivelmente contribuiu para a não significância entre os tratamentos. Rivera-Hernandez et al. (2010) citam que muitas vezes não é possível observar diferença significativa pelo fato dessa variável estar mais relacionada com fatores de hereditariedade do que pelo manejo em si da cultura.

5.11 Comprimento da espiga e número de grãos por fileira

Para o comprimento da espiga foi observada diferença significativa entre as condições hídricas delimitadas, no qual a condição irrigada foi marcada por médias de 13,0 cm enquanto a condição de sequeiro houve redução de 11,8% (11,4 cm) (Figura 45).

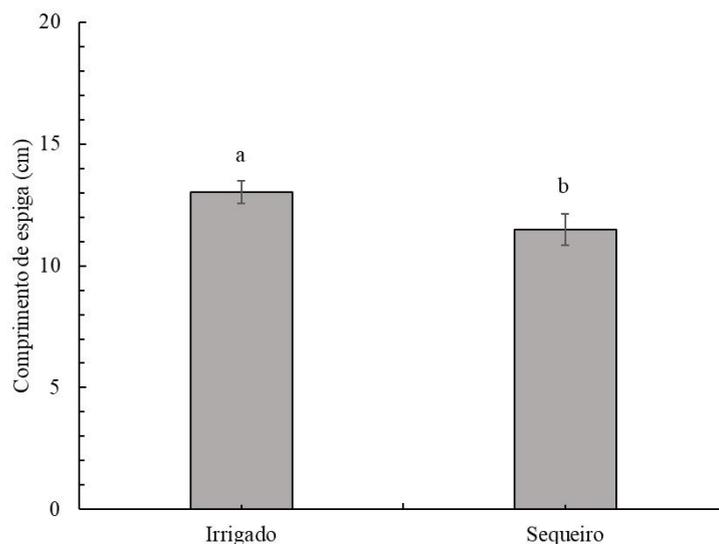


Figura 45 - Comprimento de espiga, em plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22 sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Ns: não houve diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a variável número de grãos por fileira, foi observada diferença significativa entre as condições hídricas delimitadas, no qual a condição irrigada foi marcada pelas maiores médias situadas em 25,3 cm, enquanto a condição de sequeiro obteve redução de 8% (23,6 cm) (Figura 46).

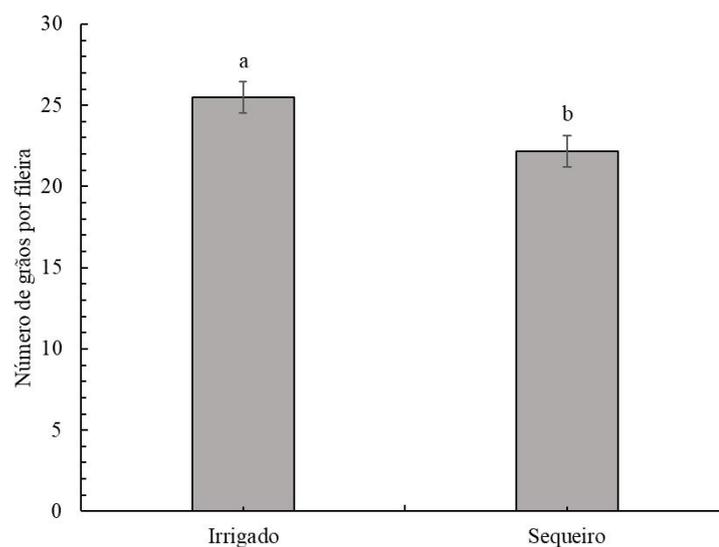


Figura 46 - Número de grãos por fileira realizado em espigas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Ns: não houve diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As menores médias situadas na condição de sequeiro, em ambas variáveis, podem ser justificadas pela definição do comprimento da espiga e número de grãos por fileira ser definidas nas últimas semanas antes do pendramento (MAGALHÃES e DURÃES, 2006). Esse momento foi marcado por DEF expressivos (23,2 mm) no qual atuou reduzindo o número de grãos produzidos por espiga. A presença de DEF durante e após a polinização também contribuiu para redução do número final de grãos (SILVA et al., 2021). Rivera-Hernandez et al. (2010) acreditam que um aumento nas outras variáveis de produção causa uma diminuição do comprimento da espiga em consequência do déficit hídrico, em razão da diminuição da fotossíntese e o acúmulo total de biomassa da planta.

5.12 Diâmetro da espiga

Para a variável diâmetro da espiga realizada após a colheita (Figura 47), houve diferença significativa entre as condições hídricas delimitadas, no qual a condição irrigada teve maiores médias (4,63 cm) com redução de 6,1% para a condição de sequeiro.

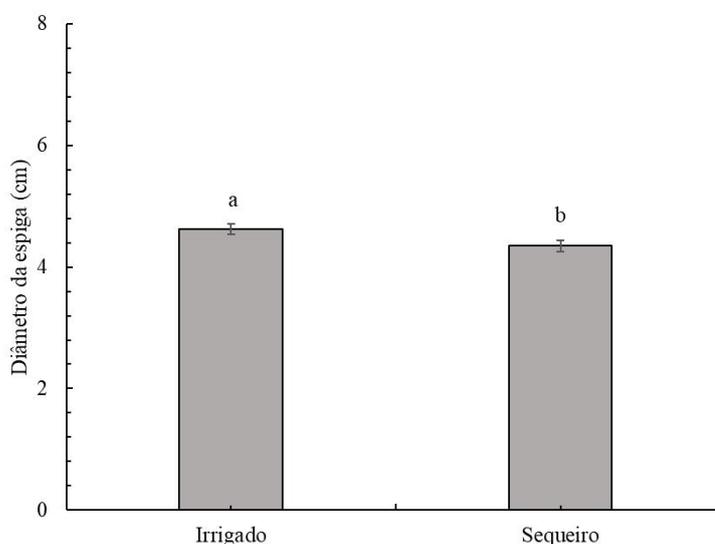


Figura 47 - Diâmetro da espiga realizado em plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Ns: não houve diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados obtidos deste trabalho corroboram com o de Clemente (2017) no qual avaliando o desempenho do híbrido simples DKB 390 cita que a variável diâmetro de espigas está completamente ligada ao nível de estresse. Farsiani, Ghobadi e Honarmand (2011)

também observaram diferença significativa para diâmetro de caule com diferentes manejos de irrigação através do turno de rega variável. Os resultados obtidos também estão de acordo com os de Rivera-Hernandez et al. (2010), no qual citam que o déficit hídrico causa redução do diâmetro da espiga.

5.13 Peso de mil grãos

Para a variável peso de mil grãos, houve diferença significativa entre as condições hídricas delimitadas, em que a condição irrigada obteve maiores médias (197,4 g) em relação ao cultivo de sequeiro (166,4 g) (Figura 48).

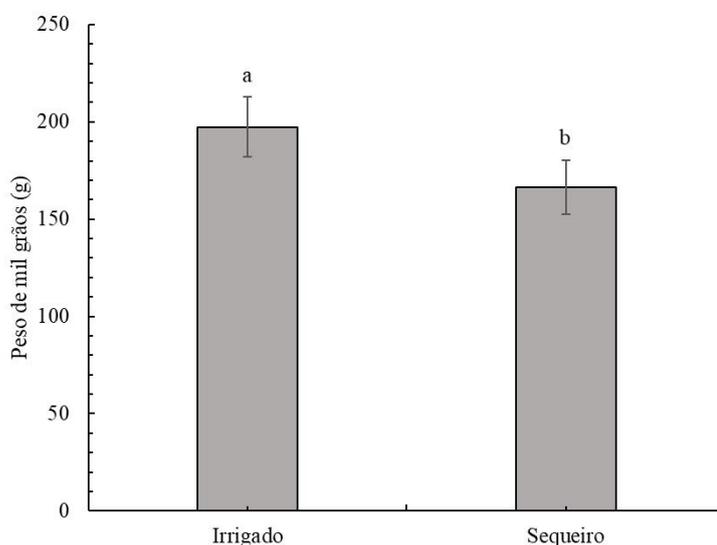


Figura 48 - Peso de mil grãos (g) realizado em plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Ns: não houve diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A redução de 16% observada para as plantas cultivadas na condição de sequeiro pode ser justificada pela queda da temperatura aliada à baixa disponibilidade hídrica formando grãos mais leves como destacado por Silva et al. (1999). A presença de 117,1 mm de DEF, durante o pendoamento, contribuiu para baixa esterilidade do grão de pólen, o que aliado a 118,4 mm de DEF no período de enchimento de grãos, propiciou a diminuição do acúmulo de matéria seca aos grãos, gerando grãos com menor peso. Du et al. (2015) e Linker e Kisekka (2017) também relataram que o déficit hídrico no estágio reprodutivo atuou diminuindo o peso de mil grãos de milho.

5.14 Produtividade de grãos

A produtividade de grãos em plantas conduzidas sob a condição de sequeiro foi significativamente reduzida (29,8%), alcançando valor médio de 3.136,3 kg ha⁻¹ e para as plantas cultivadas sob irrigação de 4.467,8 kg ha⁻¹ (Figura 49).

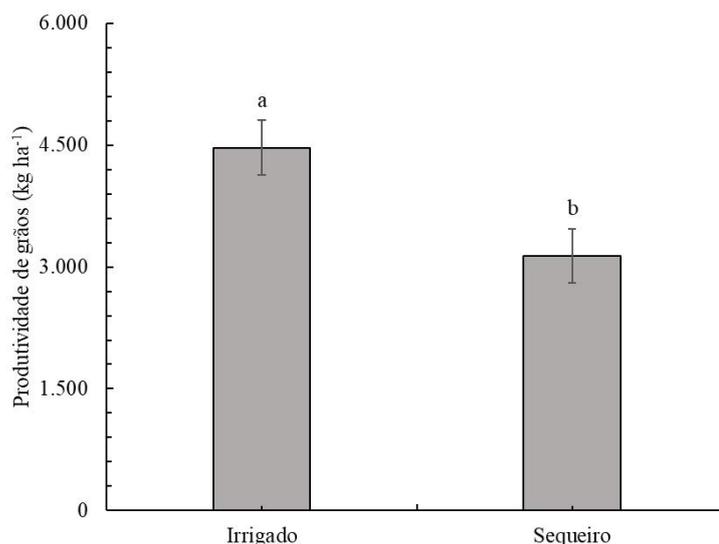


Figura 49 - Produtividade de grãos (kg ha⁻¹) realizada em plantas de milho cultivadas em safrinha tardia no ano agrícola 2021/22, sob irrigação e sequeiro no município de Rio Verde-GO. *Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem-se entre si para condição hídrica delimitada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Ns: não houve diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Reduções na produtividade de grãos quando as plantas estão sob déficit hídrico no estágio reprodutivo, também foram citadas por Golzardi et al. (2017), Rudnick et al. (2017) e Li et al. (2018). Ritchie (1992) relatou que quando o período de pré-antese é marcado por déficit hídrico expressivos, propiciando a ocorrência de perdas de produtividade que variam de 15 a 25%, enquanto NeSmith e Ritchie (1992) observaram que déficit severo no enchimento de grãos propicia em redução de 21 a 40%. O déficit hídrico na cultura do milho causa redução da atividade do aparelho fotossintético, estimulando o aumento da acumulação de açúcares solúveis nas folhas e uma diminuição na quantidade de sacarose que posteriormente será realocado para o grão (COSTA et al., 2008; MINUZZI e LOPES, 2015).

Além disso, essa redução de produtividade está relacionada com o déficit hídrico no estágio reprodutivo, que possivelmente atuou inibindo ou retardando a formação do zigoto, gerando assim má formação da espiga e o desenvolvimento inicial dos grãos, pelo menor fornecimento de fotoassimilados no período de enchimento (BERGAMASCHI et al., 2006).

Ainda relacionado com o déficit hídrico, na condição de sequeiro, foi possível observar também que a sua intensidade foi capaz de gerar dificuldades nas plantas em repor a água perdida devido à baixa disponibilidade hídrica do solo representada pelo Ψ_{w5} o qual atuou aumentando a flacidez celular, reduzindo a pressão necessária para que ocorresse o alongamento celular sendo refletido em baixa altura de plantas.

No cultivo de sequeiro foi observado também a limitação e senescência na área foliar ocasionada pelo déficit hídrico, em que associada à baixa radiação solar proporcionou reduções na taxa fotossintética durante o estágio reprodutivo e, posteriormente, na redução da produção de biomassa.

A semeadura de milho em safrinha tardia fez com que a cultura ficasse sobre menores índices pluviométricos, visto que a demanda hídrica da cultura foi atingida apenas em seus primeiros quarenta dias de desenvolvimento, deixando assim o período compreendido como crítico da cultura em elevados valores de deficiência hídrica, o qual atuou para que ocorresse reduções significativas nos componentes de produção da cultura.

6 CONCLUSÃO

Com a utilização do sistema de irrigação mesmo quando submetemos a cultura do milho a uma condição de semeadura fora do período ideal para o seu desenvolvimento em sucessão com a soja, foi possível obter um incremento de 29,8% na produtividade de grãos.

A semeadura fora do período ideal na condição de sequeiro trouxe reduções nos componentes de produtividade da cultura como no número de grãos por fileira, diâmetro da espiga, peso de mil grãos e, conseqüentemente, na produtividade de grãos.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C.; PEREIRA, P. E.; BRITO, R. A. L.; RESENDE, M. Viabilidade e manejo da irrigação da cultura do milho. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica 85** (INFOTECA-E), p.1-12, 2006.
- ATTEYA, A. M. Alteration of water relations and yield of corn genotypes in response to drought stress. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, v.29, n.1-2, p.63-76, 2003.
- AVILA, R. G.; MAGALHÃES, P. C.; LAVINSKY, A. O.; ALVARENGA, A. A. de.; JUNIOR, C. C. G.; CAMPOS, C. N. Alterações nos componentes de trocas gasosas e eficiência do fotossistema II em genótipos de milho submetidos a estresse hídrico no pré-florescimento. In: XXXI CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 31, 2016, Bento Gonçalves. **Anais...: SBMS**, p.642-644, 2016.
- BARRS, H. D., WEATHERLEY, P. E. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. **Australian Journal of Biological Science**, v.15, p.413-428, 1962.
- BEHMANN, J.; STEINRUCKEN, J.; PLUMER, L. Detection of early plant stress responses in hyperspectral imagens. **ISPRS Journal of Photogrammetry and remote sensing**, Amsterdam, v.93, p.98-111, 2014.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.831-839, 2004.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.243-249, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000200008>.
- BERGAMASCHI, H.; WHEELER, T. R.; CHALLINOR, A. J.; COMIRAN, F. HECKLER, B. M. M. Maize yield and rainfall on different spatial and temporal scales in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.5, p.603-613, 2007.
- BONILLA, M. M. Z. **Dados hiperespectrais na determinação de conteúdo relativo de água na folha em cana-de-açúcar**, Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Piracicaba, 2015.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, p.399, 2009.
- CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; RIBEIRO, V. Q.; GUIMARÃES, L. J. M.; GUIMARÃES, P. E. O.; ROCHA, L. M. P. Performance produtiva e eficiência de uso da água de híbridos de milho em condições hídricas contrastantes. In: SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 3., 2011, Juazeiro. Experiências para mitigação e adaptação - **Anais... Petrolina: Embrapa Semiárido**, 2011.

CARLESSO, R. Influence of soil water deficits on maize growth and leaf area adjustments. **East Lansing**: Michigan State University. Ph.D. Thesis. 1993.

CARLESSO, R.; SANTOS, R. F. Crescimento de plantas de milho submetidas a déficit hídrico em solos de diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.1, p.27-33, 1999.

CARVALHO, I. R.; SOUZA, V. Q. de; FOLLMANN, D. N.; NARDINO, M.; SCHMIDT, D. Desempenho agrônômico de híbridos de milho em ambiente irrigado e sequeiro. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v.10, n.18, p.1144, 2014.

CASTRO, P. A. L de; SANTOS, G. O. **Métodos de estimativa de evapotranspiração potencial como ferramenta de gestão ao uso da água**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Engenharia Ambiental. Universidade de Rio Verde, p.20, 2017.

CASTRO, P. A. L. de.; SANTOS, G. O. Condições climáticas como ferramenta de planejamento agrícola e urbano, o caso do município de Rio Verde, Goiás. **Rer Agro Amb**, v.14, n.3, p.717-732, 2021.

CHENG, M.; WANG, H.; FAN, J.; ZHANG, F.; WANG, X. Effects of Soil Water Deficit at Different Growth Stages on Maize Growth, Yield, and Water Use Efficiency under Alternate Partial Root-Zone Irrigation. **Water**, v.13, p.148, 2021. <https://doi.org/10.3390/w13020148>.

CLAASEN, M. M.; SHAW, R. H. Water deficit effects on grain. II. Grain components. **Agron. J.** v.62, p.652–655, 1970.

CLEMENTE, D. I. **Estresse hídrico sobre caracteres morfofisiológicos e agrônômicos em populações de milho**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Unidade Acadêmica Especial de Ciências Agrárias, Jataí, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Jataí, 2017.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Brasília, DF, v.9, safra 2021/22, n.12, **décimo segundo levantamento**, set. 2022.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira 2019/2020. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2019/2020**, v.7, n.12, p.68, Setembro, 2020.

CONTINI, E.; MOTA, M. M.; MARRA, R.; BORGHI, E.; MIRANDA, R. A. de; SILVA, A. F. da.; SILVA, D. D. da; MACHADO, J. R. de. A.; COTA, L. V.; COSTA, R. V. da; MENDES, S. M. Série desafios do agronegócio brasileiro (NT2): Milho- Caracterização e Desafios Tecnológicos. **Embrapa**, v.5, n.1, p.1-45, 2019.

COSTA, J. R. da; PINHO, J. L. N. de; PARRY, M. Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.443-450, 2008.

CUI, H. Y.; JIN, L. B.; LI, B.; DONG, S. T.; ZHANG, J. W. Effects of shading on dry matter accumulation and nutrient absorption of summer maize. **Chinese Journal of Applied Ecology**, v.24, p.3099-3105, 2013.

DANTAS, B. F. **Efeito do cálcio no desenvolvimento de aerênquimas e na atividade de enzimas de degradação e afrouxamento de parede celular em plântulas de milho (*Zea mays* L.) cv. Saracura BRS 4154 submetidas à hipoxia.** 43f. Dissertação (Tese em fisiologia Vegetal) –Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water.** Rome, FAO. 172p. FAO: Irrigation and Drainage Paper, p.33, 1979.

DU, T., S. KANG, J. ZHANG AND W.J. DAVIES. Deficit irrigation and sustainable water-resource strategies in agriculture for China's food security. **J. Exp. Bot.** v.66 n.8: 2253-2269, 2015. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv034>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro, 2006.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho.** Agropecuária Guaíba, 2000.

FAO-FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Report on the agro-ecological zones project. **Methodology and results for Africa.** Roma: FAO, v.2, 2008.

FARIAS, J. R. B.; ALMEIDA, I. R. de; GARCIA, A. Zoneamento agroclimático da cultura da soja par ao Estado do Paraná. (Embrapa-CNPSo. Documentos, 102) Londrina: **EMBRAPA-CNPSo**, p.84, 1997.

FARSIANI, A.; GHOBADI, M. E.; HONARMAND, S. J. The effect of water déficit and sowing date on yield components and seed sugar contents of Sweet corn (*Zea mays* L.). **African journal of agricultural research.** v.6, p.5769-5774, 2011.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista brasileira de biometria**, [S.l.], v.37, n.4, p.529-535, 2019. doi: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.

FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; CATUCHI, T. A.; BELLEGGIA, N. A.; TIRITAN, C. S.; BARBOSA, A. D. M. Cultivares de milho em diferentes populações de plantas com espaçamento reduzido na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, p.312-325, 2014.

GAO, J.; SHI, J. G.; DONG, S. T.; LIU, P.; ZHAO, B.; ZHANG, J. W. Grain yield and root characteristics of summer maize (*Zea mays* L.) under shade stress conditions. **Journal of Agronomy e Crop Science**, v.203, p.-562-573, 2017.

GAO, J.; ZHAO, B.; DONG, S. T.; LIU, P.; REN, B. Z.; ZHANG, J. W. Response of summer maize photosynthate accumulation and distribution to shading stress assessed by using ¹³CO₂ stable isotope tracer in the field. **Frontiers in Plant Science**, v.8, p.1821-1833, 2017.

GARCIA, J. C; MATTOSO, M. J.; DUARTE, J. D. O. Importância do milho em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, v.27, n.233, p.7, 2006.

GOLZARDI, F.; BAGHDADI, A.; AFSHAR, R. K. Alternate furrow irrigation affects yield and water-use efficiency of maize under deficit irrigation. **Crop and Pasture Science**, v.68, n.8, p.726-734, 2017.

GUIMARÃES, P. S.; ROCHA, D. S.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z. Conteúdo de carboidrato foliar em híbridos de milho submetidos à restrição hídrica. **Evidencia**, v.19, n.2, p.93-112, 2019. DOI: 10.18593/eba.v19i1.20201.

JONES, H. G.; SERRAJ, R.; LOVEYS, B. R.; XIONG, L.; WHEATON, A.; PRICE, A. Thermal infrared imaging of crop canopies for the remote diagnosis and quantification of plant responses to water stress in the field. **Functional Plant Biology**, v.36, p.978-989, 2009.

LANDAU, E. C.; MAGALHÃES, P. C.; GUIMARÃES, D. P. Relações com o clima. **AGEITEC**, 2005. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_17_168200511157.html>. Acesso em: 19 mai 2022.

LI, Y.; ZHANG J.; ZHANG J.; HAO L.; HUA J.; DUAN L.; ZHANG M.; LI Z. Expression of an Arabidopsis molybdenum cofactor sulphurase gene in soybean enhances drought tolerance and increases yield under field conditions. **Plant Biotechnol. J.** v.11, p.747-758, 2013. doi: 10.1111/pbi.12066, 2018.

LINKER, R.; I. KISEKKA. Model-based deficit irrigation of maize in Kansas. **Trans. ASABE**, v.60, n.6, p.2011-2022, 2017. <https://doi.org/10.13031/trans.12341>.

LOPES SOBRINHO, O. P.; SANTOS, L. N. S. dos; SANTOS, G. O.; CUNHA, F. N.; SOARES, F. A. L.; TEIXEIRA, M. B. Balanço hídrico climatológico mensal e classificação climática de Kppen e Thornthwaite para o município de Rio Verde, Goiás. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.27, p.19-33, 2020.

LUIZ, M. A. S.; DERLI, P. S. CULTIVO DO MILHO Clima e Solo. **EMBRAPA**, 2002. ISSN ISSN. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/69840/1/Clima-solo.pdf>>. Acesso em: 19 mai 2022.

MACHADO, R. A. F.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. D.; MAGALHÃES, P. C.; CANTÃO, F. R. O. Análise de Clorofila e Conteúdo Relativo de Água em Linhagens de Milho constantes para tolerância à secas submetidas a dois níveis de nitrogênio. XXV **Congresso nacional de milho e sorgo**, Cuiabá – Mato Grosso, 2004.

MAGALHÃES e P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. Fisiologia do milho. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica 22**, p.23, 2006.

MAGALHÃES, C. P.; DURÃES, M. O. F.; CARNEIRO, P. N.; PAIVA, E. **Fisiologia do Milho**. 1ª ed. Sete Lagoas, Mg. 2002.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; Fisiologia da produção do milho. Sete Lagoas: EMBRAPA: CNPMS, 2006. (**Circular Técnica, 76**). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/19620/1/Circ_76.pdf. Acesso em: 20 ago. 2022.

MARIANO, J. C. Q.; SANTOS, G. O.; FEITOSA, D. G.; HERNANDEZ, F. B. T. **Sistema para manejo da agricultura irrigada - SMAI versão 2.0** copyright© UNESP Ilha Solteira. 2011.

- MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R. Da; SILVA, W. L. De. C. **Irrigação por aspersão em hortaliças: qualidade da água**. 4. ed. rev. atual. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. ISBN 978-85-7035-648-2.
- MATOS., E. H. da S. F. Cultivo do Milho Verde. **DOSSIÊ TÉCNICO: Cultivo do Milho Verde Edua**, p.25, 2007.
- MBEWE, D. M. N.; HUNTER R. B. The effect of shade stress on the performance of corn for silage versus grain. **Canadian Journal of Plant Science**, 66, p. 53 – 60, 1986.
- MINUZZI, R. B.; LOPES, F. Z. Desempenho agrônômico do milho em diferentes cenários climáticos no Centro-Oeste do Brasil. **Rev Bra Eng Agr Amb**. v.19, p.734-740, 2015.
- MONTEIRO, J. E. B. A. Agrometeorologia dos Cultivos. Brasília – DF: **INMET**, v.1, Cap. 14, p.237-260, 2009.
- MOTERLE, L. M.; LOPES, P. C.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A. Germinação de sementes e crescimento de plântulas de cultivares de milho-pipoca submetidas ao estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, Viçosa, MG, v.28, n.3, p.169-176, 2006.
- MUNNÉ-BOSCH S.; ALEGRE L. Plant aging increases oxidative stress in chloroplasts. **Planta**, v.214, p.608-615, 2002.
- MUTAVA, R. N.; PRASAD, P. V. V.; TUINSTRA, M. R.; KOFOID, K. D.; YU, J. Characterization of sorghum genotypes for traits related to drought tolerance. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.123, p.10-18, 2011.
- NESMITH, D. S.; RITCHIE, J. T. Maize (*Zea mays* L.) response to a severe soil water deficit during grain filling. **Field Crops Res**, 1992.
- NUNES, J. L. da. S.; MILHO-**Características do milho**. **AGROLINK**, 2022.
- PAES, M. C. D. Aspectos Físicos, Químicos e Tecnológicos do Grão de Milho. **Circular Técnica**, 75, Sete Lagoas MG, n.1, p.1679, 2006.
- PARIZI, A. R. C.; ROBAINA, A. D.; GOMES, A. C. dos. S.; SOARES, F. C.; RAMÃO, C. J.; PEITER, M. X.; CALEGARO, L. Efeito de diferentes estratégias de irrigação suplementar sobre a produção de grãos e seus componentes na cultura do milho. **Irriga**, v.14, n.3, p.254-267, 2009.
- PAYERO, J. O.; TARKALSON, D. D.; IRMAK, S.; DAVISON, D.; PETERSEN, J. L. Effect of timing of a deficit-irrigation allocation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry mass. **Agricultural water management**, v.96, p.1387-1397, 2009.
- PIMENTEL, C.; SARR, B.; DIOUF, O.; ABOUD, A. C. S.; MACAULEY, H. R. Tolerância protoplasmática foliar à seca, em dois genótipos de caupi cultivados em campo. **Revista Universidade Rural Série Ciências da Vida**, v.22, p.07-14, 2002.
- PRADO, F. S. do.; SANTOS, G. O. **Expansão urbana em áreas de preservação permanente no município de Rio Verde, Goiás**. 2017. 16f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Universidade de Rio Verde, 2017.

REN, B. Z.; CUI, H. Y.; CAMBERATO, J. J.; DONG, S. T.; LUI, P.; ZHAO, B.; ZHANG, J. W. Effects of shading on the photosynthetic characteristics and mesophyll cell ultrastructure of summer maize. **The Science of Nature**, v.103, p.67, 2016.

RESENDE, A. V. de.; BORGHI, E.; NETO, M. M. G.; ABREU, S. C.; SANTOS, F. C. dos.; COELHO, A. M. Manejo de nutrientes no cultivo de milho segunda safra na região do Cerrado. **Revista Plantio Direto & Tecnologia Agrícola**, v.28, n.166, p.19-29, 2018.

RICTHIE, J. T. Effects of soil water deficits during tassel emergence on the development and yield components of maize (*Zea mays* L.). **Field Crops Res.**, v.28, p.251-256, 1992.

RIVERA-HERNANDEZ B.; CARRILLO-AVILA E.; OBRADOR-OLAN J. J.; JUAREZ-LOPEZ J. F.; ACEVES-NAVARRO L. A. Morphological quality of sweet corn (*Zea mays* L.) ears as response to soil moisture tension and phosphate fertilization in Campeche, Mexico. **Agric. Water Manage.** v.97, n.9, p.1365-1374, 2010.

ROCHA, L. G. da.; SILVA, A. C. da.; ARAÚJO, M. da. S.; MISSIAS, H. R. C.; PEIXOTO, N. Viabilidade econômica para os cultivos de soja e milho na região Sudeste de Goiás. **Agrarian**, v.14, n.54, p.442-453, 2021.

RUDNICK, D.; S. IRMAK, C.; RAY, J. SCHNEEKLOTH, M.; SCHIPANSKI, I. KISEKKA, A.; SCHLEGEL, J. AGUILAR, D.; ROGERS, D. MITCHELL, C.; WEST, T.; MAREK, Q. XUE, W. XU, AND D. PORTER. Deficit irrigation management of corn in the high plains: A review. In: **Proceedings of the 29th Annual Central Plains Irrigation Conference**, Burlington, Colorado, Feb. 21-22, 2017.

SANTOS NETO, I. J. **Cultivares de milho e lâminas de irrigação para produção de minimilho em Vitória da Conquista-BA**, 2012. 66f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2012.

SANTOS, M. R. dos.; LIMA, G. H. F. de.; PEREIRA, V. L. G.; AMORIM, V. A.; BORGES, L. P.; MATOS, F. S. Establishment of corn plants under different water regiments. **Magistra**, v.31, p.707 -715, 2020.

SCHULZE, E. D., BECK, E.; BUCHMANN, N.; CLEMENS, S.; MULLER-HOHENSTEIN, K.; SHERER-LORENZEN, M. Water Deficiency (Drought). In: **Plant Ecology**, p.165-202, Berlin, Heidelberg: Springer, 2019.

SCHUSSLER, R. J.; WESTGATE, M. E. Maize kernel set at low potential. I. Sensivity to reduced assimilates during early kernel growth. **Crop Science**, v.31, p.1189-1195, 1991.

SHAO, H.; CHU, L.; JALEEL, C. A.; ZHAO, C. Water-deficit stress induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, v.331, p.215-225, 2008.

SILVA, A. D.; LIMA, E. P.; COELHO, G.; COELHO, M.; COELHO, G. Produtividade, rendimento de grãos e comportamento hídrico foliar em função da época, parcelamento e do método de adubação do cafeeiro Catuaí. **Engenharia Agrícola**, v.23, n.3, p.434-440, 2003.

SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; REZERA, F. Resposta de híbridos de milho Irrigado à densidade de plantas em três épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.4, p.585-592, 1999.

SILVA, S.; SOUZA, A. C. da. P.; SILVA, C. S. da.; ARAÚJO, E. R.; SOARES, M. A. da. S.; TEODORO, I. Parâmetros produtivos do milho sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas no semiárido brasileiro. **Irriga**, Edição Especial –Nordeste, v.1, n.1, p.30-41, 2021.

SIMÃO, E. de. P.; RESENDE, A. V. de.; NETO, M. M. G.; BORGHI, E.; VANIN, A. Resposta do milho safrinha à adubação em duas época de semeadura. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.17, n.1, p.76-90, 2018.

SIMÃO, E. de. P.; RESENDE, Á. Vi. de.; GONTIJO NETO, M. M.; BORGHI, E.; VANIN, Á. Resposta do milho safrinha à adubação em duas épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.17, n.1, p.76-90, 2018.

SOLOGUREN, L. Visão Agrícola: Milho - Brasil amplia cultivo para atender demanda crescente. **Demanda mundial cresce e Brasil tem espaço para expandir produção**, [s. l.], v.13, n.8-11, p.1-176, 2015. DOI ISSN 1806-6402. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/Esalq-VA13-Milho.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2023.

SOUZA, D. M. G. D.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2004. <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/487536/1/Circ19.pdf>>. Acesso em: 10 março 2021.

SOUZA, L. O.; FERREIRA, M. D. P. Preço internacional, taxa de câmbio e o preço pago aos produtores brasileiros de soja. **Revista de Economia e Agronegócio–REA**, v. 11, n. 3, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER. **Plant Physiology**. California: The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., Redwood City, 1991.

THAKUR, P.; KUMAR, S.; MALIK, J. A.; BERGER, J. D.; NAYYAR, H. Cold stress effects on reproductive development in grain crops: An overview. **Environmental and Experimental Botany**, v.67, p. 429-443, 2010.

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

UDRY, C.; DUARTE, W. **Uma história brasileira do milho**: o valor dos recursos genéticos. Paralelo 15. Ed. Brasília, p.14, 2000.

VASQUEZ-TELLO, A. Y.; ZUILY-FODIL, A. T.; PHAM THI, J.; VIEIRA, S. Electrolyte and Pi leakages and soluble sugar content as physiological tests for screening resistance to water stress in *Phaseolus* and *Vigna* species. **Journal of Experimental Botany**, v.41, p.827-832, 1990.

WILSON, J. H. Water relations of maize. Effects of severe soil moisture stress imposed at different stages of growth on grain yields of maize. **Rhod. J. Agric. Res.** 6, p. 103–105, 1968.

WULLSCHLEGER, S. D.; OOSTERHUIS, D. M. Canopy leaf area development and age-class dynamics in cotton. **Crop Science**, Madison, v.32, p.451-456, 1992.

ZHANG, J. W.; DONG, S. T.; WANG, K. J.; HU, C. H.; LIU, P. Effects of shading in field on photosynthetic characteristics in summer corn. **Acta Agronomica Sinica**, v.32, p.216-222, 2007.

ZIA, S.; ROMANO, G.; SANCHEZ, C.; CAIRNS, J.; ARAUS, J. L.; MULLER, J. Infrared thermal imaging as a rapid tool for identifying water-stress tolerant maize genotypes of different phenology. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.199, p.75-84, 2013.

ZINSELMEIER, C.; WESTGATE, M. E.; JONES, R. J. Kernel set at low water potential does not vary with source sink/ratio in maize. **Crop Science**, v.35, p.158-164, 1995.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE ECONÔMICA DO SISTEMA DE CULTIVO SOJA-MILHO IRRIGADO EM DIFERENTES ÉPOCAS DE SEMEADURA, VIA GOTEJAMENTO SUPERFICIAL

RESUMO

A elevada taxa de crescimento populacional demandará um aumento expressivo na produção de alimentos para suprir a necessidade alimentícia mundial. Com isso, a irrigação se torna uma tecnologia que pode proporcionar ao produtor o plantio de várias culturas dentro de um mesmo ano-safra, o qual trata-se de uma técnica influenciada diretamente pelos custos de implantação e manutenção do sistema. Nesse cenário, o objetivo deste trabalho foi realizar uma análise econômica do sistema de cultivo soja-milho irrigado, em diferentes épocas de semeadura, via gotejamento superficial no município de Rio Verde, Goiás. O experimento a campo, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2, com cinco repetições, sendo o primeiro fator duas épocas de semeadura, e o segundo duas condições hídricas 0 e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc). No cultivo de soja, a primeira época de semeadura foi realizada após o término do vazão sanitário do estado de Goiás (25/09/2021) e a segunda quando o solo atingiu volume de chuva acumulado superior a 80 mm (18/10/2021). No cultivo de milho, segunda safra, a primeira época de semeadura foi realizada logo após a colheita da soja, dia 28/01/2022, e a segunda época dia 08/03/2022. Para a análise econômica, foi primeiramente estimados os custos para implantação e condução do sistema de irrigação que interferem diretamente na produção, como o as despesas com manutenção, energia elétrica, mão de obra e assistência técnica, depreciação e encargos financeiros resultando no Custo operacional total (COT) e os custos não operacionais resultando no Custo total (CT), e assim calculado os indicadores de resultados e rentabilidade como: a) Renda bruta (RB), b) Renda líquida operacional (RLO), c) Renda líquida total (RLT), d) Produção de equilíbrio (Y_{eq}) e e) Índice de lucratividade (IL). A implementação do sistema de irrigação via gotejamento superficial se demonstrou economicamente viável, tendo em vista que, em todos os casos o IL se manteve acima de 85%, ainda, o sistema de semeadura antecipada permitiu maior IL e RLT ao produtor, obtida através do ganho em produtividade. No entanto, outros aspectos que seriam determinantes para a adoção do sistema de irrigação não foram considerados nesse trabalho, visto que o sistema traz diversos benefícios que podem contribuir no aumento de produtividade de grãos e na redução de custos de produção como de fertilizantes e defensivos fitossanitários.

PALAVRAS-CHAVE: Análise financeira. Custo de implantação. Custo de energia. Retorno econômico. Sistema de irrigação.

ECONOMIC ANALYSIS OF THE IRRIGATED SOYBEAN-CORN CROP SYSTEM IN DIFFERENT SOWING TIMES, VIA SURFACE DRIPPING

ABSTRACT

The high population growth rate will require a significant increase in food production to meet the world's food needs. With this, irrigation becomes a technology that can provide the producer with the planting of several crops within the same crop year, which is a technique directly influenced by the costs of implementation and maintenance of the system. In this scenario, the objective of this work was to perform an economic analysis of the irrigated soybean-corn cropping system, at different sowing times, via surface drip in the municipality of Rio Verde, Goiás. The field experiment, in a completely randomized design, in a 2 x 2 factorial scheme, with five replications, the first factor being two sowing seasons, and the second two water conditions 0 and 100% of crop evapotranspiration (ET_c). In soybean cultivation, the first sowing season was carried out after the end of the sanitary void in the state of Goiás (25/09/2021) and the second when the soil reached an accumulated rainfall volume greater than 80 mm (18/10/2021). In the cultivation of second crop corn, the first sowing season was carried out shortly after the soybean harvest, on 28/01/2022, and the second season on 08/03/2022. For the economic analysis, the costs for implementing and conducting the irrigation system that directly interfere with production were first estimated, such as maintenance expenses, electricity, labor and technical assistance, depreciation and financial charges resulting in the Total Operating Cost (COT) and non-operating costs resulting in the Total Cost (CT), and thus calculated the indicators of results and profitability as: a) Gross income (RB), b) Net operating income (RLO), c) Total net income (RLT), d) Break-even production (Y_{eq}) and e) Profitability index (IL). The implementation of the surface drip irrigation system proved to be economically viable, considering that in all cases the IL remained above 85%, and the early sowing system allowed greater IL and RLT to the producer, obtained through the gain in productivity. However, other aspects that would be decisive for the adoption of the irrigation system were not considered in this work, since the system brings several benefits that can contribute to the increase of grain productivity and the reduction of production costs such as fertilizers and pesticides.

KEYWORDS: Financial analysis. Implementation cost. Energy cost. Economic return. Irrigation system.

1 INTRODUÇÃO

Com a elevada taxa de crescimento populacional aliada ao aumento de renda per capita, o incremento na produção de alimentos, fibras e energia se torna extremamente necessário. Até o ano de 2050, estima-se que a população mundial irá ultrapassar a marca de 9,7 bilhões de pessoas, representando um aumento de 18% em relação à população atual. Acompanhado deste aumento, o consumo de alimentos deverá crescer 70% para suprir a demanda alimentícia do planeta (ONU, 2022). Ainda nesse contexto, estima-se que aproximadamente 90% deste crescimento deverá vir do aumento de eficiência da produção agrícola com intensificação das áreas já cultivadas (BORGHETTI et al., 2017).

O Brasil tem se tornado essencial para produção de alimentos, pois é uma das poucas regiões em que ainda é possível obter ganho em produtividade, porém, devido às distribuições irregulares das precipitações pluviométricas em diferentes regiões do país, a produção de grãos acaba sendo extremamente afetada e instável a curto prazo, ou seja, de um cultivo para o outro (FIESP, 2020).

Nesse contexto, a prática da irrigação torna-se imprescindível para manutenção dos elevados índices de produtividade, gerando assim maior qualidade dos cultivos (TORRES et al., 2019; ARAÚJO et al., 2020), visto que a irrigação é uma técnica eficiente para promover e gerar o aumento da produtividade das culturas, sendo que as áreas irrigadas no mundo correspondem a 20% da área total cultivada, mas são responsáveis por, aproximadamente 40% da produção (BORGHETTI et al., 2017).

Além disso, para que se atenda à produção crescente de alimentos, a alternativa do sistema de irrigação para produção agrícola pode possibilitar até um número maior de safras por ano, podendo pensar em até três safras. Dessa forma, o aumento na produção de alimentos dependerá, principalmente, da disponibilidade hídrica (FAO, 2011). O Brasil está entre os dez países com maior área equipada com irrigação do mundo, possuindo assim um elevado potencial efetivo de incremento das áreas irrigadas, concentrado em 45% no Centro-Oeste, 31% no Sul, e 19% no Sudeste (ANA, 2021).

Nesse contexto, levando em consideração o potencial efetivo do crescimento de áreas irrigadas no país, juntamente com o consumo de bilhões de litros de água e a presença de cerca de 93% dos quase 3 milhões de hectares irrigados utilizam métodos menos eficientes para irrigação como o espalhamento superficial (56%), pivô central (19%) e aspersão convencional (18%) (FAGUNDES et al., 2020), a utilização do sistema de gotejamento

superficial pode possibilitar a redução da quantidade de água aplicada, visto que, a sua aplicação e, até mesmo de nutrientes, ocorrerá diretamente ao solo, diminuindo assim a incidência de doenças, podendo gerar maior eficiência da lâmina aplicada, aumento de produtividade, baixo custo de mão de obra e energia.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a viabilidade econômica do sistema de irrigação via gotejamento superficial no cultivo de soja e milho em sucessão no município de Rio Verde-GO.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar o custo operacional total do sistema de irrigação via gotejamento superficial para produção de grãos, determinando a produção de equilíbrio para pagar os custos no momento da comercialização em duas diferentes épocas de semeadura.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Aspectos econômicos da irrigação

Segundo Bernardo; Soares e Mantovani (2009), a utilização do sistema de irrigação precisa ser observada e entendida dentro do foco empresarial do agronegócio, como uma forma de estratégia para elevar a produtividade, de maneira sustentável, trazendo rentabilidade a propriedade. Ainda sobre isto, relatam que onde os sistemas de irrigação foram instalados, ocorreram mudanças socioeconômicas tais como geração de empregos, aumento da renda per capita; crescimento da demanda de bens e serviços, redução do êxodo rural, e melhoria nas condições de saúde, educação habitação e lazer.

Mesmo sendo uma tecnologia que demanda um alto investimento para sua implementação, Dillon (2011) cita diversos benefícios para produção, mesmo que ela ocorra

em pequena escala, como exemplo o aumento na eficiência produtiva, redução dos custos e maior influência sobre a gestão dos recursos hídricos, ampliando assim a sua utilização no meio agrícola.

Darré et al. (2019) ao estudar seis diferentes fazendas no Uruguai com o objetivo de avaliar o desempenho da soja e do milho irrigado, notaram que com a implementação da tecnologia foi possível alavancar a produção em 38% para a cultura da soja em comparação com o cultivo de sequeiro e em 32% para o milho. Neste cenário a soja irrigada foi de 3.423 kg ha⁻¹ e a do milho foi de 7.862 kg ha⁻¹. Já no cultivo de sequeiro, a soja apresentou 2.482 kg ha⁻¹ e o milho 5.948 kg ha⁻¹. Já Gava et al. (2018) no município de Chapadão do Sul – MS, constatou aumento significativo na produtividade da soja irrigada de 63% em relação ao cultivo de sequeiro. A produção registrada foi de 6.174 kg ha⁻¹ para o cultivo irrigado e 3.798 kg ha⁻¹ para o cultivo de sequeiro.

Portanto, para Vilas Boas et al. (2011), mesmo que o uso da irrigação traga vários benefícios diretos, os riscos para sua adoção devem ser analisados criteriosamente, devido aos incrementos na produtividade de grãos serem maiores do que os custos de produção. Diante disso, estudos do retorno econômico, esperado para implantação do sistema de irrigação, devem ser verificados por meio da avaliação econômica para indicar se essa técnica será ou não viável (LÚCIA DA SILVA, FARIA e REIS, 2003).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área

O solo encontrado na área experimental é classificado como LATOSSOLO VERMELHO, com características de solo tipicamente profundo, bem drenado, bastante poroso, com avançado estágio de intemperismo e processo intensivo de lixiviação (EMBRAPA, 2006).

O clima da região de Rio Verde é Aw Tropical (Köppen), com duas estações climáticas bem definidas, sendo uma seca e amena (abril a setembro) e outra quente e chuvosa (outubro a março) (LOPES SOBRINHO et al., 2020). O município se caracteriza com valores médios diário de temperatura do ar de 23±6,0°C, umidade relativa de 66,3±13,6%, velocidade do vento de 1,4±0,8 m s⁻¹, brilho solar de 6,1±3,0 h, radiação solar de 17,3±3,8 MJ m⁻² e

evapotranspiração de referência de $3,8 \pm 0,4$ mm (CASTRO e SANTOS, 2017). A precipitação média é de 1.621 mm ano⁻¹, concentrando de outubro a março (86,8%). Neste período, há excedente hídrico de 607 mm, sendo os meses de março (185 mm) e fevereiro (142 mm) os mais intensos. A deficiência hídrica é de 217 mm, sendo os meses de setembro (73 mm) e agosto (67,3 mm) os mais críticos. A reposição total de água no solo ocorre, historicamente, após o dia 20 de novembro.

4.2 Delineamento estatístico

O experimento foi implantado em delineamento inteiramente casualizado, com os tratamentos arranjos em esquema fatorial 2 x 2 correspondendo a duas épocas de semeadura 25/09/2021 e 18/10/2021 para soja e 28/01/2022 e 08/03/2022 para o milho em safrinha, e o segundo fator duas condições hídricas, irrigado via gotejamento e em condição de sequeiro (100 e 0% da evapotranspiração da cultura ETc), tanto para a cultura da soja quanto para o cultivo de milho em cinco repetições.

4.3 Implantação e manejo

O experimento foi conduzido a campo no município de Rio Verde-GO (17°47'06,7 S 50°57'54,1 O e altitude de 780 m). Foi utilizado para a semeadura da safra, a cultivar BRASMAX-BÔNUS IPRO, com as seguintes características agronômicas: grupo de maturação 7.9, hábito de crescimento indeterminado, porte alto e com um índice de ramificação médio. No cultivo da segunda safra (milho) foi utilizado o híbrido DKB 390 VT PRO 2 que tem como característica agronômicas; altura de plantas de 251 cm, ciclo precoce, empalhamento bom, peso de mil grãos (PMS) de 380 g e tipo de grão semi-duro.

A correção química do solo de textura média para o cultivo de soja e milho em sucessão, foi realizado dia 10/08/2021, através do resultado da análise de solo na profundidade de 0-0,2 e 0,2-0,4 m (Tabela 6). Por apresentar saturação por alumínio (m%) baixa, saturação de bases (V%) abaixo da condição recomendada para os cultivos, níveis de fósforo muito baixo e potássio médio, foi realizada a fosfatagem corretiva com superfosfato simples contendo 21% P₂O₅ na dose de 714,3 kg ha⁻¹ em função do teor de argila no solo, juntamente com a potassagem corretiva, utilizando o cloreto de potássio contendo 58% de K₂O na dose de 86,2 kg ha⁻¹ em função do teor de K no solo, e a correção da acidez do solo pelo método de saturação por bases, com objetivo de elevá-la a 60% em sistema irrigado e

sequeiro, utilizando calcário calcítico com poder relativo de neutralização total (PRNT) de 100% na dose total de 1,3 t ha⁻¹.

Tabela 6 - Caracterização química e textural do solo da área experimental nas camadas de 0 a 0,2 e 0,2 a 0,4 metros de profundidade

Amostra	Ca+Mg	Ca	K	Mg	Al	H+Al	K	P (Mel)	M.O
			cmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³		g kg ⁻¹
0,0-0,2 m	3,09	2,31	0,13	0,78	0,05	4,29	50	9,58	23,46
0,2-0,4 m	2,19	1,69	0,06	0,50	0,05	3,96	25	2,24	19,61
Amostra	CaCl ₂	M	V	CTC	SB	Fe	Mn	Cu	Zn
	pH	%	cmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³			
0,0-0,2 m	4,90	1,53	42,87	7,51	3,22	189,4	75,7	2,9	0,9
0,2-0,4 m	5,63	2,17	36,27	6,21	2,25	216,5	47,3	2,6	0,1
Amostra	Argila		Silte		Areia		Classe textural		
			%				Textura		
0,0-0,2 m	33,32		12,73		53,95		Média		

Ca - Cálcio; K - Potássio; Mg - Magnésio; Al - Alumínio; H+Al - Acidez potencial; P (Mel) - Fósforo extraído pelo método de Mehlich⁻¹; M.O - Matéria Orgânica; pH CaCl₂ - pH em Cloreto de cálcio; m - Saturação por alumínio; V - Saturação por Bases; CTC - Capacidade de Troca Catiônica; SB - Soma de Bases; Fe - Ferro; Mn - Manganês; Cu - Cobre; Zn - Zinco.

Como na área experimental não existia cultivo frequente, as adubações de correção e os corretivos foram incorporados com o uso de um arado subsolador na profundidade de 0,4 m, logo após foi realizado um destorroamento subsuperficial com o uso de uma grade de disco, e finalizando com uma grade niveladora para uniformização da área experimental, as devidas adubações, como a de correção, a de plantio e a de cobertura foram realizadas utilizando a metodologia proposta por Souza e Lobato (2004).

Após o manejo físico e químico do solo da área experimental, foram determinadas as duas datas de semeadura para cultura da safra de soja, sendo elas: 25/09/2021 logo após o término do vazio sanitário no Estado de Goiás e 18/10/2021 data utilizada por grande parte dos produtores do município na agricultura de sequeiro (volume de chuva acumulado superior a 80 mm) (Figura 50A). Cada tratamento experimental foi constituído de 20 m de comprimento por 6,5 m de largura, totalizando 130 m², obtendo uma área total de 520 m² cultivados (Figura 50B).

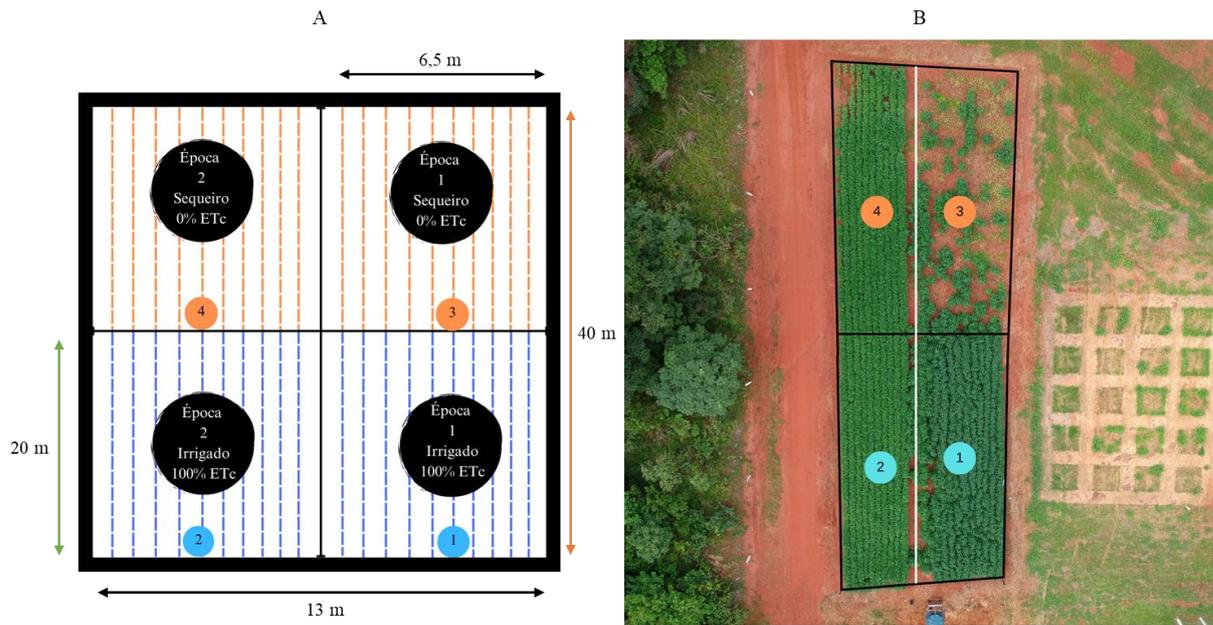


Figura 50 - Exemplificação (A) e distribuição (B) dos blocos na área experimental adotado para o cultivo de soja (*Glycine Max*) safra.

Foi realizada a dessecação pré-semeadura na área determinada para a primeira época de semeadura, no dia 15/09/2021 utilizando Glifosato – sal de potássio “2 L p.c ha⁻¹”; Cletodim “0,45 L p.c ha⁻¹” devido ao surgimento de algumas gramíneas como capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) e milho tiguera RR que poderia prejudicar o desenvolvimento inicial da soja ou se desenvolver, dificultando o controle posteriormente (após a semeadura – pós emergente). O manejo com os mesmos produtos e doses devido à incidência diária de precipitações para segunda época de semeadura, foi realizado dia 18/10/2021 (aplique-plante), quando foi obtido controle para o desenvolvimento inicial da cultura em ambas as aplicações.

Foi realizado o tratamento de sementes da soja no dia do plantio, Clorantraniliprole “100 mL p.c 100 kg⁻¹ semente”; Tiofanato-metílico + Fluazinam “215 mL p.c 100 kg⁻¹ semente”; Cobalto e Molibdênio “100 mL p.c 100 kg⁻¹ semente”; *Bradyrhizobium japonicum* – SEMIA 5079 e 5080 “400 mL p.c 100 kg⁻¹ semente”; *Azospirillum brasilense* – Cepas Ab-V5 e Ab-V6 UFPR “100 mL p.c 100 kg⁻¹ semente”; Polímero “400 mL p.c 100 kg⁻¹ semente”.

A semeadura foi realizada com uma plantadora adubadora de cinco linhas, Jumil 2670 POP exacta acoplada a um trator Agrale 5085.4 de 85 cv, semeando dez linhas de plantio de 20 m de comprimento, depositando a semente na profundidade de 3-4 cm, em cada parcela experimental. A densidade de plantas adotada foi de 250.000 plantas ha⁻¹, mantendo o espaçamento de 0,5 m entre linhas para ambas épocas de plantio.

Para a adubação de semeadura da soja, devido às dificuldades para a formulação, utilizou-se então a mistura de grânulos mais homogênea possível adicionada ao recipiente da plantadora adubadora, em que, como fonte de fósforo (P) foi utilizado o superfosfato simples, e fonte de potássio, o cloreto de potássio (KCl), utilizando as respectivas doses com base em 5 t ha⁻¹ de expectativa de produtividade da cultura; P₂O₅ = 100 kg ha⁻¹ e K₂O = 100 kg ha⁻¹. Para evitar que houvesse salinização devido à alta dose de K₂O próxima à semente, a dose foi dividida em duas aplicações sendo 50% da dose de K₂O no sulco de semeadura e, posteriormente, 50% da dose de K₂O aplicado na forma de cobertura aos 30 dias após a semeadura (DAS) (SOUZA e LOBATO, 2004).

Aos 14 DAS, foi observado um início de danos na área foliar da cultura devido uma alta infestação de cascudinho-verde (*Megascelis aeruginosa*) e a presença de percevejo marrom (*Euschistus heros*) e mosca-branca (*Bemisia tabaci*). Diante disso, foi realizada uma aplicação em toda a área experimental com Tiametoxam + Lambda-cialotrina “200 mL p.c ha⁻¹”; Acetamiprido “300 g p.c ha⁻¹”.

O manejo pós - emergente para o controle de gramíneas na soja da primeira época de semeadura (25/09/2021) ocorreu 23 DAS para ambas condições hídricas, e na segunda (18/10/2021) aos 20 DAS nas mesmas condições, com Glifosato-sal de potássio sendo a primeira época “1,5 L p.c ha⁻¹” e na segunda “2 L p.c ha⁻¹”; Cletodim “0,45 L p.c ha⁻¹” na primeira época, e “0,7 L p.c ha⁻¹” na segunda época de semeadura, aplicação essa realizada devido à presença de capim-colchão (*Digitaria horizontalis*), capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*), capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*) e poaia-branca (*Richardia brasiliensis*), o aumento da dose para segunda época de semeadura está relacionada com o surgimento de maior intensidade de capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) e capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*) devido à elevada precipitação, gerando assim maior quantidade de sementes germinadas por área.

O manejo de prevenção contra os possíveis danos ocasionados por patógenos na área experimental ocorreu 37 DAS para ambas as épocas de semeadura e condições hídricas (pré-fechamento das entrelinhas da cultura), com Bixafem + Protioconazol + Trifloxistrobina “0,5 L p.c ha⁻¹”; Tiametoxam - Lambda-cialotrina “200 mL p.c ha⁻¹”; Acetamiprido “300 g p.c ha⁻¹”; Óleo vegetal (0,25% v v⁻¹).

A segunda aplicação de fungicida para a primeira época de semeadura foi realizada 60 DAS, com Azoxistrobina + Ciproconazol “300 mL p.c ha⁻¹” devido às condições favoráveis para o desenvolvimento mancha-alvo (*Corynespora cassiicola*), sendo observada a presença já de alguns sintomas em determinadas plantas; Tiametoxam + Lambda-cialotrina “200 L p.c

ha⁻¹”; Acetamiprido “300 g p.c ha⁻¹”; Bifentrina “160 mL p.c ha⁻¹”, devido à presença de percevejo-verde (*Nezara viridula*) e da lagarta-da-soja (*Anticarsia gemmatalis*).

A presença de oídio (*Blumeria graminis f.sp tritici*) na segunda época de semeadura, fez com que fosse realizada a segunda aplicação de fungicida na área aos 53 DAS, utilizou-se então como método sistêmico o Fenpropimorfe “0,5 L p.c ha⁻¹”; Adjuvante (0,25% v v⁻¹). Deixando assim o tratamento sob uma 3^o aplicação de fungicida relacionada às doenças de finais de ciclo (DFC’s).

Foi realizada então 88 DAS a 3^o aplicação de fungicida apenas na segunda época de semeadura em ambas condições hídricas, com Picoxistrobina + Ciproconazol “300 mL p.c ha⁻¹”; Tiametoxam - Lambda-cialotrina “200 mL p.c ha⁻¹”; Acetamiprido “300 g p.c ha⁻¹”; Indoxacarbe “400 mL p.c ha⁻¹”, visando também o controle de mosca-branca (*Bemisia tabaci*) e a lagarta-da-soja (*Anticarsia gemmatalis*) + Óleo vegetal (0,25% v v⁻¹).

A dessecação na primeira época de semeadura foi realizada 114 DAS, apenas no tratamento irrigado com Glufosinato – sal de amônio “2 L p.c ha⁻¹”; Tiametoxam - Lambda-cialotrina “200 mL p.c ha⁻¹”; Óleo vegetal (0,5% v v⁻¹) e a colheita dia 27/01/2022, a dessecação da condição de sequeiro ocorreu 136 DAS e a colheita no dia 18/02/2022. Na segunda época de semeadura, a aplicação foi realizada 126 DAS simultaneamente na condição irrigado e sequeiro, utilizando as mesmas doses e produtos, a colheita foi realizada no dia 03/03/2022.

A semeadura do milho safrinha para condição irrigada ocorreu com o auxílio de uma semeadora adubadora de arrasto, utilizada apenas para abertura da linha de semeadura e distribuição uniforme dos fertilizantes (adubação de semeadura), porém, a semeadura de fato ocorreu na forma manual devido aos espaçamentos dos gotejadores apenas para condição irrigada. A semeadura para a condição de sequeiro foi realizada com uma plantadora adubadora contendo cinco linhas, Jumil 2670 POP exacta acoplada um Agrale 5085.4 de 85 cv, semeando dez linhas de 20 m de comprimento, depositando a semente na profundidade de 3-4 cm. A densidade de plantas utilizada foi de 60.000 plantas ha⁻¹ mantendo o espaçamento de 0,5 m entre linhas.

A adubação de semeadura da cultura do milho foi conforme a expectativa de rendimento da cultura de 12 t ha⁻¹; N = 30 kg ha⁻¹, P₂O₅ = 120 kg ha⁻¹ e K₂O = 60 kg ha⁻¹. A adubação de cobertura foi realizada com 50% da dose total aplicada com 4 a 6 folhas, e 50% com 8 a 10 folhas totalmente expandidas. A dose total de cobertura utilizada, foi conforme a expectativa de rendimento da cultura mencionada acima, de N = 180 kg ha⁻¹ e K₂O = 90 kg ha⁻¹ (SOUZA e LOBATO, 2004).

As sementes utilizadas foram tratadas com Metalaxil-m + Tiabendazol + Fludioxonil “150 mL p.c. 100 kg⁻¹ semente”; Clorantraniliprole “72 mL p.c 60.000 sementes”; *Azospirillum brasilense* - Cepas Ab-V5 e Ab-V6 UFPR “100 mL p.c. 100 kg⁻¹ semente”; Polímero “400 mL p.c 100 kg⁻¹ semente”.

O manejo pós-emergente do milho, em ambas condições hídricas e época de semeadura, foi realizado 24 dias após a semeadura (DAS), utilizando Glifosato - sal de potássio “2 L p.c ha⁻¹”; Atrazina “5 L p.c ha⁻¹”, aplicação realizada devido à presença de capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*), capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*) e caruru-roxo (*Amaranthus hybridus*).

Aos 35 DAS houve alta incidência de cigarrinha do milho (*Dalbulus maidis*) e mancha de diplodia (*Stenocarpella macrospora*), sendo realizada a aplicação aos 36 DAS, com Picoxistrobina + Ciproconazol “300 mL p.c ha⁻¹”; Zeta-cipermetrina + Bifentrina “200 mL p.c ha⁻¹”; Tiametoxam + Lambda-cialotrina “200 L p.c ha⁻¹”; Óleo Vegetal (0,5% v/v).

Aos 40 DAS, a presença de cigarrinha do milho (*Dalbulus maidis*) para ambas condições hídricas, ainda continuava elevada, sendo necessárias aplicações aos 42, 48 e 54 DAS aplicações com Tiametoxam + Lambda-cialotrina “200 L p.c ha⁻¹”; Zeta-cipermetrina + Bifentrina “200 mL p.c ha⁻¹”; Acetamiprido “300 g p.c ha⁻¹”.

A segunda aplicação de fungicida ocorreu 55 DAS com Azoxistrobina + Ciproconazol “300 mL p.c ha⁻¹”; Carbendazim “500 mL p.c ha⁻¹”; Óleo Vegetal (0,5% v/v).

Aos 76 DAS, foi realizada a terceira e última aplicação de fungicida, com Mancozebe “2,8 kg p.c ha⁻¹”; Picoxistrobina + Ciproconazol “300 mL p.c ha⁻¹”; Carbendazim “500 mL p.c ha⁻¹”; Tiametoxam + Lambda-cialotrina “200 L p.c ha⁻¹”; Óleo Vegetal (0,5% v/v) devido à presença de cercosporiose (*Cercospora zeaе - maydis*) e helmitosporiose do milho (*Exserohilum turcicum*).

As diversas aplicações mencionadas foram realizadas com o uso de um pulverizador costal de pressão constante à base de CO₂ (30 lb pol⁻²), com uma barra contendo 4 bicos, com pontas de pulverização do tipo leque 11002-AD, espaçadas em 0,5 m, proporcionando um volume de aplicação de calda equivalente a 150 L ha⁻¹.

A colheita para primeira época de semeadura ocorreu dia 07/06/2022, já a colheita da segunda época de semeadura foi realizada dia 21/07/2022, ambas realizadas de forma manual.

Foi utilizado o sistema de irrigação via gotejamento (autocompensante) superficial por gravidade com vazão média de 0,6 L h⁻¹ (CV = 4%) com espaçamento entre linhas de 0,5 m, e entre os gotejadores de 0,33 m.

4.4 Custos estimados para implantação e condução do sistema de irrigação

Para a análise econômica, foram primeiramente estimados os custos para implantação e condução do sistema de irrigação via gotejamento na área experimental. Os custos operacionais são aqueles ligados diretamente com a atividade cultural ou que interferem diretamente na produção. Assim, as principais despesas foram as despesas com manutenção e reparos, energia elétrica para manter o sistema funcionando, mão-de-obra e assistência técnica, depreciação do sistema de irrigação e encargos financeiros. Quando somados estes itens resultam no custo operacional total (COT).

Os valores não operacionais são aqueles que estão ligadas indiretamente à condução da atividade e quando acrescidas do COT resultam no custo total (CT). Para o sistema de irrigação neste item, foram computados o valor das parcelas de pagamento do sistema e o custo de oportunidade (ou remuneração do fator), que corresponde ao valor do uso alternativo, ou seja, empregado o valor em um determinado uso não estará mais disponível para outros (Kay et al., 2014).

A depreciação do sistema de gotejamento foi obtida pelo método da depreciação linear (da), em R\$ ha⁻¹. Que leva em consideração o valor de mercado do sistema de irrigação (V_i), o valor de sucata ou de venda (V_f) e a vida útil do gotejamento (T), que segundo o fabricante é de 10 anos. Assim, é calculada pela seguinte expressão: $da = [V_i - V_f] / T$. O valor de mercado do sistema era de R\$35.000 por hectare instalado na área.

O custo de oportunidade (J) foi obtido pelo valor do custo médio empatado (VALE, 1999) e leva em consideração o V_i, o V_f e a taxa de juros do mercado, que hoje está em 13,75% ao ano. Expressa por: $J = [(V_i + V_f) / 2] * i$.

Os valores para aquisição e condução do sistema de irrigação empregados neste experimento foram levantados no mercado de Rio Verde, Goiás, em uma empresa especializada em sistemas de irrigação.

4.5 Indicadores avaliados para análise de rentabilidade

Os indicadores de análise de resultados de rentabilidade para os tratamentos utilizados no trabalho foram:

a) renda bruta (RB): receita obtida, em R\$ ha⁻¹, com a comercialização da soja e do milho produzidos em sequeiro ou irrigado e em cada época. É o resultado do produtório entre o volume de grãos colhidos (Y), em kg por hectare, e o preço efetivamente recebido

no mercado pela saca no momento da comercialização (P_s), em reais por kg, dada pela seguinte expressão: $RB = Y * P_s$;

b) renda líquida operacional (RLO): é o lucro operacional, em R\$ ha⁻¹, e é o resultado da diferença entre a RB e o custo operacional total (COT) em cada cultura, obtida pela seguinte expressão: $RLO = RB - COT$. Seu resultado indica o valor que irá sobrar para aplicar no pagamento de outros insumos aplicados na condução da cultura. Assim, é interessante que seu valor seja positivo e que quanto maior seu valor mais caixa o produtor terá para saldar suas contas.

c) renda líquida total (RL): é o lucro final da atividade, em R\$ ha⁻¹, e considera todos os custos (CT), tanto os operacionais quanto os não operacionais. É obtida pela expressão: $RLT = RB - CT$. Assim, sendo positivo e quanto maior seu valor, mais interessante economicamente é para a empresa, pois além de cobrir os COTs ainda paga os custos implícitos (os custos de oportunidade).

d) produção de Equilíbrio (Y_{eq}), em kg ha⁻¹; valor que determina quantas sacas do produto são necessárias a serem produzidas por unidades de área para custear o COT. É a relação entre o COT e o preço do produto no mercado no momento da comercialização (P_c). Determinada pela seguinte expressão: $Y_e = COT / P_c$.

e) índice de Lucratividade (IL): expressa em porcentagem, é a parte da receita que ficará disponível para futuros investimentos após o pagamento dos custos operacionais (KANEKO et al., 2016). Obtido pela relação entre a RLO e a RB, e também obtido pela seguinte expressão: $IL = (RLO / RB) * 100$; desta feita, quanto maior o IL mais sobra recursos para quitar as despesas com a condução da cultura e aquisição de novas tecnologias para a empresa.

Os preços dos insumos de produção e das vendas do milho e soja foram obtidos no mercado local, no momento da comercialização. Em suma, o tratamento mais viável será aquele que apresentar maiores RLO positiva e RLT positiva e maior IL.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O custo total para implantação e condução do sistema de irrigação, via gotejamento, na safra 2021/22, no município de Rio Verde, região sudoeste do Estado de Goiás, foi de R\$3.331,00 ha⁻¹ obtidos através da vida útil do sistema (10 anos) e a possibilidade de até três

safras viáveis com a tecnologia instalada. O custo operacional total (COT), que engloba cada etapa de manutenção, gasto com energia elétrica, salário, depreciação e encargos financeiros, representa 27,1% do total e corresponde a R\$ 903,91 ha⁻¹. (Tabela 7).

Dentre as etapas que envolve o processo de implementação do sistema de irrigação destaca-se a depreciação que corresponde a 55,3% do custo de produção e totaliza R\$ 500,00 ha⁻¹ e o gasto com energia elétrica representando 29,5% totalizando R\$ 266,64 ha⁻¹.

Tabela 7 - Itens de custo e custo operacional total (COT) para implantação e condução do sistema de irrigação, via gotejamento, no município de Rio Verde, região sudoeste do Estado de Goiás

Itens de custo	Valor total
	--- R\$ ha ⁻¹ ---
Manutenção e reparos	82,45
Energia elétrica	266,64
Salário	17,20
Depreciação	500,00
Encargos financeiros	37,62
Custo operacional total	903,91
Sistema de irrigação	1.166,67
Remuneração do capital	1.260,42
Custo total	3.331,00

Fonte: Mercado de Rio Verde-GO; calculado pelo autor.

A produção total obtida para o cultivo da soja irrigada, semeada na forma antecipada (A) no dia 25/10/2021, foi de 5.394 kg ha⁻¹, representando um incremento de 21,8% em relação à segunda época de semeadura (B) que foi realizada no dia 18/10/2021, alcançando 4.218 kg ha⁻¹. Levando em consideração o preço do quilograma da soja de R\$ 2,826 ha⁻¹ no momento de colheita da semeadura A, obteve-se então uma renda bruta (RB) de R\$ 15.243,44 ha⁻¹, enquanto a época de semeadura B permitiu melhor valorização do grão (R\$ 3,085 ha⁻¹), porém obteve-se uma RB 14,6% inferior a semeadura A, totalizando R\$ 13.012,53 ha⁻¹. A renda líquida operacional (RLO) para a semeadura A, foi de R\$ 14.339,53 ha⁻¹, enquanto a semeadura B atingiu R\$ 12.108,62 ha⁻¹, isso mostra que, a semeadura A permitiu ao produtor maior valor que poderá ser aplicado e distribuído em outros pagamentos como os de insumos ao longo da condução da lavoura.

Em relação à renda líquida total (RLT), a semeadura A permitiu um incremento de 18,7% em relação à semeadura B, R\$ 11.912,44 e R\$ 9.681,53 ha⁻¹, respectivamente, mostrando o lucro final da determinada atividade, porém, a produção de equilíbrio (Y_{eq}), determinou que é necessário cerca de 319,86 kg ha⁻¹ para custear o COT na semeadura A,

enquanto, para semeadura B é necessário 293,00 kg ha⁻¹, isso ocorreu pelo fato da variável ser dependente principalmente do preço do produto no momento da comercialização final o qual permitiu a semeadura A um aumento na comercialização do grão para custear o COT em 8,4% (Tabela 8).

Tabela 8 - Medidas de produção e rentabilidade econômica da produção de soja, semeada em duas épocas (A - 25/10/2021 e B - 18/10/2021), em sistemas irrigados e sequeiro, no ano agrícola de 21/22, no município de Rio Verde, região sudoeste do Estado de Goiás

Medidas econômicas	Unidades	A		B	
		Sequeiro	Irrigado	Sequeiro	Irrigado
\hat{Y}	kg ha ⁻¹	5.034	5.394	3.978	4.218
COT	R\$ ha ⁻¹	-	903,91	0	903,91
CT	R\$ ha ⁻¹	-	3.331,00	0	3.331,00
P _s	R\$ kg ⁻¹	2,826	2,826	3,085	3,085
RB	R\$ ha ⁻¹	14.223,57	15.243,44	12.272,13	13.012,53
RLO	R\$ ha ⁻¹	14.223,57	14.339,53	12.272,13	12.108,62
RLT	R\$ ha ⁻¹	14.223,57	11.912,44	12.272,13	9.681,53
Y _{eq}	kg ha ⁻¹	-	319,86	-	293,00

Fonte: P_s: Mercado de Rio Verde-GO; calculado pelo autor.

O desempenho produtivo do milho, segunda safra semeado na primeira época (A) dia 28/01/2022, foi de 8.700 kg ha⁻¹, enquanto que com o passar dos meses a semeadura realizada fora da época ideal da cultura (B) dia 08/03/2022 apresentou uma produtividade de 4.470 kg ha⁻¹, um decréscimo observado de 48,6% em relação à época A.

Com o preço do quilograma do grão no momento da colheita para a semeadura A de R\$1,238 kg, foi possível atingir uma RB de R\$10.770,60 ha⁻¹, já para a semeadura B houve uma baixa desvalorização do grão no momento da colheita, atingindo R\$1,118 kg⁻¹, quando foi possível obter uma RB de R\$4.997,46 ha⁻¹, redução observada de 53,60% em comparação à semeadura A. A RLO para semeadura A alcançou R\$9.866,69 ha⁻¹ enquanto a semeadura B obteve uma redução ainda mais intensa de 58,51%, obtendo menor valor que poderá contribuir nos custos de condução da lavoura.

Para a RLT, a semeadura A permitiu um incremento de 74,2% em comparação à semeadura B, atingindo R\$ 6.535,69 e R\$ 1.686,46 ha⁻¹, respectivamente, mostrando que a segunda época trouxe uma baixa porcentagem de lucro final para o produtor sob a determinada atividade, além disso, a Y_{eq} da semeadura A foi de 730,01 kg ha⁻¹ enquanto o da semeadura B foi de 808,51 kg ha⁻¹ (Tabela 9).

Tabela 9 - Medidas de produção e rentabilidade econômica da produção de milho, semeado em duas épocas (A - 28/01/2022 e B - 08/03/2022), em sistemas irrigados e sequeiro, no ano agrícola de 21/22, no município de Rio Verde, região sudoeste do Estado de Goiás

Medidas econômicas	Unidades	A		B	
		Sequeiro	Irrigado	Sequeiro	Irrigado
Ŷ	kg ha ⁻¹	5.358	8.700	3.138	4.470
COT	R\$ ha ⁻¹	-	903,91	0	903,91
CT	R\$ ha ⁻¹	-	3.331,00	0	3.331,00
P _s	R\$ kg ⁻¹	1,238	1,238	1,118	1,118
RB	R\$ ha ⁻¹	6.633,20	10.770,60	3.508,28	4.997,46
RLO	R\$ ha ⁻¹	6.633,20	9.866,69	3.508,28	4.093,55
RLT	R\$ ha ⁻¹	6.633,20	6.535,69	3.208,28	1.686,46
Y _{eq}	kg ha ⁻¹	-	730,01	-	808,51

Fonte: P_s: Mercado de Rio Verde-GO; calculado pelo autor.

Observando no contexto de produção soja-milho, o COT e CT, para ambas as épocas de semeadura, foi de R\$ 1.807,82 e R\$ 6.662,00 ha⁻¹, respectivamente. Portanto, a RB das primeiras condições foi de R\$ 26.014,04 ha⁻¹, enquanto as semeadas na segunda época foram de R\$ 18.009,99 ha⁻¹, o RLO foi de R\$ 24.206,22 ha⁻¹ para primeira época, enquanto a segunda foi de R\$ 16.202,17 ha⁻¹. A RLT para a primeira época foi de R\$ 19.352,04 ha⁻¹, enquanto a segunda época foi de R\$ 11.347,99 ha⁻¹.

O índice de lucratividade (IL) que tem grande papel na rentabilidade econômica, sendo ele uma parte da receita que ficará disponível para o produtor que poderá ser destinado ao pagamento de outros custos operacionais e até mesmo para quitar as despesas com a condução da lavoura e aquisição de novas tecnologias à empresa, foi 3,1% superior no cultivo de soja e milho antecipado, enquanto o cultivo de soja no dia 18/10/2021 e milho no dia 08/03/2022 foi de 90,0% (Tabela 10).

Tabela 10 - Medidas de produção e rentabilidade econômica da produção de soja e milho, semeados em duas épocas, em sistemas irrigados e sequeiro, no ano agrícola de 2021/22, no município de Rio Verde, região sudoeste do Estado de Goiás

Medidas econômicas	Unidades	A		B	
		Sequeiro	Irrigado	Sequeiro	Irrigado
COT	R\$ ha ⁻¹	-	1.807,82	-	1.807,82
CT	R\$ ha ⁻¹	-	6.662,00	-	6.662,00
RB	R\$ ha ⁻¹	20.856,74	26.014,04	15.780,41	18.009,99
RLO	R\$ ha ⁻¹	20.856,74	24.206,22	15.780,41	16.202,17
RLT	R\$ ha ⁻¹	20.856,74	19.352,04	15.780,41	11.347,99
IL	%	100,00	93,05	100,0	89,96

Fonte: Calculado pelo autor.

Portanto, é nitidamente observado que a renda líquida total chegou a ser R\$ 8.004,05 ha⁻¹ inferior no cultivo da semeadura B do que a semeadura antecipada.

Com o sistema de irrigação via gotejamento superficial é possível antecipar a implantação de ambas culturas, atingindo elevadas produtividades, possibilitando a otimização do uso da terra, além de apresentar uma série de benefícios, tais como, o uso eficiente da água, redução do uso de insumos devido sua maior eficiência em disponibilidade para as culturas, ganho de produtividade operacional e até a implementação de uma terceira safra, visando elevar a renda do produtor rural, diluindo assim os custos fixos em mais uma atividade.

6 CONCLUSÃO

O sistema de irrigação, via gotejamento superficial no cultivo de soja e milho em sucessão, demonstrou-se viável economicamente, com um índice de lucratividade de 93,1% quando utilizadas épocas de semeaduras antecipadas.

Portanto, recomenda-se analisar também a possibilidade da substituição para o gotejo subterrâneo, visando maior longevidade e redução do custo com manutenção do sistema de irrigação, observando a produtividade durante cada safra, levando em consideração outros aspectos econômicos, como preços futuros, o uso de insumos, consumo de água e problemas com pragas e ervas daninhas.

REFERENCIAS

- ANA. **Atlas da irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília. 2021.
- ARAÚJO, E. D.; SANTOS, D. L.; ALVINO, F. C. G.; FERREIRA, L. B.; CUNHA, F. F. da. Predictive Models of Water Application and Distribution Efficiency in Conventional Sprinkling. **Engenharia Agrícola**, v.40, n.1, p.24-33, 2020.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. Ed. atual. e empl. Viçosa: Ed. UFV, p.1-625, 2009.
- BORGHETTI, J. R.; SILVA, W. L. C.; NOCKO, H. R.; LOYOLA, L. N.; CHIANCA, G. K. **Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias**. Brasília. p.243. 2017. ISBN: 978-92-5-709754-4 Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i7251o.pdf>>.
- DARRÉ, E.; CADENAZZI, M.; MAZZILLI, S. R.; ROSAS, J. F.; PICASSO, V. D. Environmental impacts on water resources from summer crops in rainfed and irrigated systems. **Journal of Environmental Management**. London, v.232, p.514-522, 2019.
- DILLON, A. Do differences in the scale of irrigation projects generate different impacts on poverty and production? **Journal of Agricultural Economics**, v.62, n.2, p.474-492, 2011.
- em:
<<https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/storymaps/stories/a874e62f27544c6a986da1702a911c6b>>.
- FAGUNDES, O. S.; OLIVEIRA, L. C. A.; YAMASHITA, O. M.; SILVA, I. V.; CARVALHO, M. A. C.; RODRIGUES, D. V. A crise hídrica e suas implicações no agronegócio brasileiro: Uma revisão bibliográfica. **Scientific Electronic Archives**, v.13, n.1, p.1-9, 2020.
- FAO. **The State of the World's Land and Water Resources for food and agriculture**. London. 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/i1688e/i1688e.pdf>>.
- FIESP. **Outlook FIESP: projeções para o agronegócio brasileiro 2029**. São Paulo: FIESP, p. 84, 2020. Disponível em: <https://www.abregel.org.br/wp-content/uploads/2020/07/LO_OF2029_PORT-1.pdf>.
- GAVA, R.; LIMA, S. F. de.; SANTOS, O. F. dos.; ANSELMO, J. L.; COTRIM, M. F.; KUHN, I. E. Water depths for diferente soybean cultivars in center pivot. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.22, n.1, p.10-15, 2018.
- KANEKO, F. H., SABUNDJIAN, M. T., ARF, O., LEAL, A. J. F., CARNEIRO, L. F., PAULINO, H. B. Análise econômica do milho em função da inoculação com *Azospirillum*, fontes e doses de N em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.15, n.2, p.202-216, 2016. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v14n1p23-37>.
- KAY, R. D.; EDWARDS, W. M.; DUFFY, P. A.; WAQUIL, P. D.; AMON, T. **Gestão de propriedades rurais**. ed.7, Porto Alegre: AMGH, 2014.

LÚCIA DA SILVA, A.; FARIA, M. A.; REIS, R. P. Viabilidade técnico-econômica do uso da irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p.37-44, 2003.

ONU. **ONU-Habitat**: população mundial será 68% urbana até 2050 (2022). Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/188520-onu-habitat-populacao-mundial-sera-68-urbana-ate-2050>. Acesso em: 09 junho 2023.

SOUZA, D. M. G. D.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2004.
<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/487536/1/Circ19.pdf>>. Acesso em: 10 março 2021.

TORRES, R. R.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; BEN, L. H. B.; MEZZOMO, W.; KIRCHNER, J. H.; ROSSO, R. B.; PIMENTA, B. D.; PEREIRA, A. C.; LOREGIAN, M. V. Water productivity and production function in irrigated millet crop. **Semina: Ciências Agrárias**, v.40, n.6, p.2837-2849, 2019.

VILAS BOAS, R. C.; PEREIRA, G. M.; REIS, R. P.; JUNIOR, J. A. de. L.; CONSONI, R. Economic viability of the use of drip irrigation system on onion crop. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.4, p.781-788, 2011.