

MAYARA OLIVEIRA ROCHA

**DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO SOLO E DESEMPENHO DO CAPIM-SABIÁ IRRIGADO COM
GOTEJADORES EM SUBSUPERFÍCIE**

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

Orientador: Fernando França da Cunha

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

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

T

R672d
2024

Rocha, Mayara Oliveira, 1992-
Distribuição da água no solo e desempenho do capim-sabiá irrigado com gotejadores em subsuperfície / Mayara Oliveira Rocha. – Viçosa, MG, 2024.
1 tese eletrônica (84 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Fernando França da Cunha.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, 2024.
Referências bibliográficas: f. 71-84.
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.406>
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Irrigação por gotejamento. 2. Capim-braquiaria - Variedades. 3. Cultivos agrícolas - Rendimento. I. Cunha, Fernando França da, 1980-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. III. Título.

CDD 22. ed. 627.52

Bibliotecário(a) responsável: Euzébio Luiz Pinto CRB-6/3317


MAYARA OLIVEIRA ROCHA

**DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO SOLO E DESEMPENHO DO CAPIM-SABIÁ IRRIGADO COM
GOTEJADORES EM SUBSUPERFÍCIE**


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

APROVADA: 29 de fevereiro de 2024.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 **MAYARA OLIVEIRA ROCHA**
Data: 19/08/2024 10:23:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Mayara Oliveira Rocha
Autora

Documento assinado digitalmente
 **FERNANDO FRANÇA DA CUNHA**
Data: 05/08/2024 14:45:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Fernando França da Cunha
Orientador

Aos meus pais, irmã e vô Oliveira (in memorian).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por ter conseguido ingressar no curso de Doutorado da Universidade Federal de Viçosa quando tudo parecia não dar certo, além disso por me dar forças para seguir no curso principalmente ao ter que me mudar para outro estado, longe da minha família e amigos.

Gostaria de agradecer aos meus pais e irmã, por me apoiarem nas decisões que tomo para tentar mudar e melhorar de vida, mesmo que isso incluía ir para longe deles. Por sempre me incentivarem e se alegrarem com as minhas conquistas e vitórias. Gostaria de agradecer a toda a minha família, que mesmo sem entender exatamente do que se trata fazer doutorado, sempre me apoiou e comemorou meus passos.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação e Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização do curso. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. Fernando França da Cunha, pela sua orientação, pelas suas contribuições e pelos conhecimentos a mim transmitidos durante a pós-graduação. Aos membros da banca examinadora, por aceitarem fazer parte dela e pelas contribuições para melhorar a qualidade deste trabalho.

Aos meus braços direito e esquerdo durante a realização dos trabalhos em campo: Amilton Gabriel Siqueira de Miranda e Policarpo da Silva, sem eles este trabalho não teria saído do papel. Aos amigos que ganhei na cidade de Viçosa e no Centro de Recursos Hídricos: Adriana Amaral, Grazielle Casado, Amilton Gabriel, Erli Pinto, Milena Rojas, Gabriel Machado, Lucas Maltoni, Tayssa Menezes, Layane Carmem e aos meus amigos de graduação: Higor Ximenes, Valeria Aguiar, David Bruno e Marina Monteiro, que desde 2011 são grandes companheiros de jornada. As minhas amigas Lya Serpa e Camila Lamas, por sempre entenderem os momentos de dificuldade e estresse, se orgulhando de mim por estar terminando este curso.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

*“There's always gonna be another mountain
I'm always gonna wanna make it move
Always gonna be an uphill battle
Sometimes, I'm gonna have to lose
Ain't about how fast I get there
Ain't about what's waiting on the other side
It's the climb”.*

(Miley Cyrus)

RESUMO

ROCHA, Mayara Oliveira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2024. **Distribuição da água no solo e desempenho do capim-sabiá irrigado com gotejadores em subsuperfície.** Orientador: Fernando França da Cunha.

A pecuária é de extrema importância para a economia brasileira e, frequentemente, a alimentação do gado tem por base as pastagens naturais quando em sistema extensivo e cultivadas em sistemas mais tecnificados. O gênero *Urochloa* é bastante utilizado no Brasil por sua boa adaptação às condições edafoclimáticas. Dentre as variedades utilizadas, o híbrido cv. Sabiá apresenta grande potencial para acúmulo de forragem e desenvolvimento foliar. Por terem sua produção e desenvolvimento impactados pelo clima brasileiro, usualmente, as pastagens são irrigadas. Visando uma maior eficiência no uso da água, a irrigação subsuperficial vem se destacando por proporcionar uma redução na evaporação da água, além de uma redução na lâmina aplicada. Entretanto, para o projeto e manejo adequado do sistema, alguns pontos ainda não estão esclarecidos, como a profundidade ideal de instalação dos gotejadores que propicie estabelecimento (germinação e desenvolvimento de plântulas) e produtividade das culturas. Este trabalho foi dividido em três capítulos com diferentes objetivos, visando o estudo da distribuição da água no perfil do solo em diferentes profundidades de instalação da fita gotejadora no capim Sabiá, com vistas ao seu crescimento inicial e produtividade, estudando também o comportamento da cultura sob diferentes condições ambientais em Viçosa-MG. No primeiro capítulo, foram desenvolvidos e testados diferentes modelos matemáticos para simular a distribuição da umidade no solo, com posterior validação com experimento instalado em campo. No segundo capítulo, foram avaliados os efeitos de distintas profundidades de instalação da fita gotejadora na germinação e desenvolvimento inicial do capim Sabiá. E por fim, no terceiro capítulo, foram estudados o potencial produtivo, as características morfogênicas e agronômicas do capim Sabiá em diferentes ciclos sob condições climáticas diversas. Foram obtidos modelos simples e com aplicabilidade para predição da distribuição da água com fita gotejadora em diferentes profundidades, podendo ser considerados uma ferramenta auxiliar para o projeto e manejo da irrigação subsuperficial. Além disso, foi possível recomendar uma melhor profundidade de instalação da fita gotejadora, nas condições estudadas, com base nas respostas relativas à germinação e vigor das plântulas e um melhor comportamento agronômico da cultura.

Palavras-chave: Irrigação subsuperficial. *Urochloa*. Germinação. Produção.

ABSTRACT

ROCHA, Mayara Oliveira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro, 2024. **Distribution of water in the soil and performance of sabiágrass irrigated with subsurface drippers.** Adviser: Fernando França da Cunha.

Livestock farming is extremely important for the Brazilian economy and, frequently, cattle feed is based on natural pastures when in an extensive system and cultivated in more technical systems. The genus *Urochloa* is widely used in Brazil due to its good adaptation to soil and climate conditions. Among the varieties used, the hybrid cv. Sabiá has great potential for forage accumulation and leaf development. Because their production and development are impacted by the Brazilian climate, pastures are usually irrigated. Aiming for greater efficiency in the use of water, subsurface irrigation has stood out for providing a reduction in water evaporation, in addition to a reduction in the applied depth. However, for the proper design and management of the system, some points are still not clear, such as the ideal depth of installation of drippers that promotes establishment (germination and development of seedlings) and crop productivity. This work was divided into three chapters with different objectives, aiming to study the distribution of water in the soil profile at different depths of installation of the drip tape on Sabiá grass, with a view to its initial growth and productivity, also studying the behavior of the crop under different environmental conditions in Viçosa-MG. In the first chapter, different mathematical models were developed and tested to simulate the distribution of moisture in the soil, with subsequent validation with an experiment installed in the field. In the second chapter, the effects of different installation depths of the drip tape on the germination and initial development of Sabiá grass were evaluated. And finally, in the third chapter, the productive potential, morphogenic and agronomic characteristics of Sabiá grass were studied in different cycles under different climatic conditions. Simple models with applicability for predicting water distribution with drip tape at different depths were obtained and can be considered an auxiliary tool for the design and management of subsurface irrigation. Furthermore, it was possible to recommend a better installation depth of the drip tape, under the conditions studied, based on the responses related to germination and vigor of the seedlings and a better agronomic behavior of the crop.

Keywords: Subsurface irrigation. *Urochloa*. Germination. Production.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	10
2. CAPÍTULO 1 - Predição da distribuição espacial da água aplicada por gotejamento subsuperficial em solo argiloso.....	12
RESUMO	12
ABSTRACT.....	12
3. INTRODUÇÃO	13
4. MATERIAIS E MÉTODOS	14
4.1. Local e montagem do experimento	14
4.2. Modelo ajustado no software SLIDE 6.0.....	16
4.3. Modelo de regressão polinomial.....	17
4.4. Modelo de regressão polinomial.....	17
4.5. Análises estatísticas	17
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
6. CONCLUSÕES	24
7. CAPÍTULO 2 - Desempenho fisiológico de sementes de capim-sabiá irrigado por gotejadores subsuperficiais	25
RESUMO	25
ABSTRACT.....	26
8. INTRODUÇÃO	26
9. MATERIAIS E MÉTODOS	29
10. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
11. CONCLUSÕES	42
12. CAPÍTULO 3 - Desempenho do capim-sabiá irrigado com gotejamento subsuperficial..	43
RESUMO	43
ABSTRACT.....	43
13. INTRODUÇÃO	44
14. MATERIAIS E MÉTODOS	46
15. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
15.1 Ciclo de uniformização.....	52
15.2 Consumo hídrico	53
15.3 Análises de crescimento	54
15.4 Características agronômicas	61
15.5 Estimativa de biomassa utilizando NDVI	65
15.6 Sistema radicular	67

16. CONCLUSÕES	69
17. CONCLUSÃO GERAL	70
REFERÊNCIAS	71

1. INTRODUÇÃO GERAL

A pecuária desempenha um papel importante no agronegócio brasileiro, sendo o Brasil o quarto maior produtor de leite (ANDRETTA et al., 2023) e o maior exportador de carne bovina (SCHWERTNER et al., 2022) do mundo. O manejo do gado brasileiro frequentemente envolve a alimentação à base de pastagens (BRUNETTI et al., 2020; MARÍN et al., 2023; SILVA NETO et al., 2019), compostas, predominantemente por gramíneas do gênero *Urochloa*, devido à sua adaptação às condições edafoclimáticas do país (CARDOSO et al., 2020). Dentre as variedades introduzidas recentemente nas pastagens brasileiras, destaca-se a *Urochloa* híbrida cv. Sabiá, reconhecida por seu potencial para promover maior acúmulo de forragem e desenvolvimento foliar.

Entretanto, as pastagens brasileiras são impactadas pelo clima do país, gerando sazonalidade da produção e influenciando os padrões de crescimento das culturas (BRUNETTI et al., 2020; AMORIM; DUBREUIL, 2017). Nesse contexto, pode-se considerar a irrigação como uma estratégia para enfrentar os desafios da sazonalidade.

A técnica de irrigação mais utilizada no país para a irrigação de pastagens é o método de aspersão (MELO et al., 2020), entretanto, existe uma tendência ao uso de sistemas de irrigação mais eficientes, principalmente quanto à utilização dos recursos hídricos. A irrigação subsuperficial é um sistema relativamente recente e apresenta diversas vantagens. Com projeto e manejo adequados, este sistema pode proporcionar uma irrigação mais eficiente do que a irrigação por aspersão e conseqüentemente em uma redução da lâmina de água a ser aplicada (YANG et al., 2020). Além disso, a aplicação de água abaixo da superfície do solo, minimiza as perdas por evaporação. Porém, como todos os sistemas, existem algumas desvantagens. Pode-se citar a possibilidade de entupimento dos emissores por raízes ou partículas de solo, caso não sejam utilizados gotejadores próprios para gotejamento enterrado, a troca de emissores com defeitos pode ser dificultosa dependendo da profundidade de instalação e para o crescimento inicial das culturas ainda não há consenso quanto a localização de instalação ideal. E esta é uma das lacunas principais de conhecimento que persistem na utilização desse sistema.

O conhecimento da distribuição da umidade no solo pode reduzir a quantidade de aplicação de água e fornecer informações úteis para determinar a profundidade de instalação dos gotejadores. Dessa forma, é essencial que pesquisas continuem sendo realizadas avaliando as condições locais e conduzindo testes para determinar a profundidade mais adequada em relação a germinação e produção da cultura.

Diante do exposto, percebe-se a importância econômica das pastagens e do uso da irrigação subsuperficial adequada para que os resultados econômicos esperados sejam obtidos. Dessa forma, este trabalho foi dividido em três capítulos com diferentes objetivos propondo-se o estudo da distribuição da umidade do solo em diferentes profundidades de instalação da fita gotejadora no capim Sabiá irrigado, visando seu crescimento inicial (germinação) e sua produção e avaliando também o comportamento da pastagem sob distintas condições climáticas na cidade de Viçosa, Minas Gerais.

O primeiro capítulo teve o objetivo de desenvolver e testar diferentes modelos matemáticos para estimar a distribuição de água no solo sob irrigação por gotejamento subsuperficial, com diferentes profundidades de instalação da fita gotejadora. Posteriormente, houve validação das simulações, utilizando dados coletados em experimentos de campo, por meio do método termogravimétrico para obtenção da umidade volumétrica do solo. O segundo capítulo teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes profundidades de instalação de emissores em irrigação por gotejamento subsuperficial na fase inicial do capim-sabiá, com análise da germinação e desenvolvimento inicial das plântulas. E no terceiro capítulo objetivou-se examinar o potencial produtivo, as características estruturais e as características agrônomicas do capim-sabiá irrigado por sistema subsuperficial com gotejadores instalados em diferentes profundidades e em diferentes épocas climáticas.

2. CAPÍTULO 1 - Predição da distribuição espacial da água aplicada por gotejamento subsuperficial em solo argiloso

RESUMO

Em sistemas de irrigação por gotejamento subsuperficial, o conhecimento do avanço tridimensional da água no solo é essencial na seleção do espaçamento e profundidade de instalação dos emissores. Objetivou-se nesta pesquisa desenvolver e testar diferentes modelos matemáticos para estimar a distribuição de água no solo sob irrigação por gotejamento subsuperficial. O experimento foi conduzido com 28 colunas de solo com emissores instalados em diferentes profundidades: 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 cm. A distribuição da água no solo foi conhecida por meio de medidas de umidades no espaço (ponto central e 20 cm deste ponto nas profundidades de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 cm) e no tempo (0, 60, 120, 180 e 240 min). Foram construídos três modelos (SLIDE 6.0, regressão polinomial e SPSS 2.0) para estimar a distribuição de água no perfil do solo. Todos os modelos apresentaram índices estatísticos dentro de faixas aceitáveis. Na comparação, o modelo gerado no software numérico SLIDE 6.0 foi o que apresentou melhor desempenho, seguido do SPSS 2.0 e regressão polinomial. Os modelos gerados foram eficientes e simples, apresentando bons resultados na predição da distribuição de água no perfil do solo para as condições estudadas.

Palavras-chave: água no solo, gotejamento enterrado, irrigação localizada, modelagem da irrigação

ABSTRACT

In subsurface drip irrigation systems, knowledge of the three-dimensional advancement of water in the soil is essential for selecting emitter spacing and installation depth. The objective of this research was to develop and test different mathematical models to estimate the distribution of water in the soil under subsurface drip irrigation. The experiment was conducted with 28 soil columns with emitters installed at different depths: 0, 5, 10, 15, 20, 25, and 30 cm. The water distribution in the soil was known through measurements of moisture at various spatial points (central part and 20 cm from this point at depths of 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, and 50 cm) and over time (0, 60, 120, 180, and 240 min). Three models (SLIDE 6.0, polynomial regression, and SPSS 2.0) were constructed to estimate the water distribution in the soil profile. All models showed statistical indices within acceptable ranges. In comparison, the model generated in the numerical software SLIDE 6.0 performed the best, followed by SPSS 2.0 and polynomial regression. The generated models were efficient and

simple, producing good results in predicting the water distribution in the soil profile under the studied conditions.

Key words: water in the soil, buried drip, localized irrigation, irrigation modeling

3. INTRODUÇÃO

O gotejamento subsuperficial é uma forma da agricultura irrigada ser mais eficiente no uso da água, energia e nutrientes. Este sistema também apresenta menor evaporação da água do solo e permite trânsito e preparação do solo sem a necessidade de remover o equipamento de irrigação.

Recentemente houve significativos progressos na engenharia e no manejo dos sistemas de irrigação por gotejamento subsuperficial, abordando questões como a prevenção de sifonagem e a intrusão radicular (SHAOLEI; SHUNSHENG, 2021). Contudo, nos estágios iniciais dos cultivos agrícolas, a água fornecida pelos emissores instalados em profundidade não consegue alcançar as raízes, que ainda estão próximas à superfície. Portanto, avanços ainda são necessários, para os quais é essencial obter uma melhor compreensão do movimento da água no solo (KERMANI et al., 2019; RAVIKUMAR et al., 2021).

Com o conhecimento do padrão de distribuição da água no solo, os emissores podem ser devidamente posicionados para que a planta possa consumir água e nutrientes de forma eficiente (SUBBAIAH; MASHRU, 2013). O padrão de distribuição de umidade é função das características físicas do solo (condutividade hidráulica saturada do solo, densidade do solo, curva característica, dentre outras), da vazão, modo de aplicação da água (contínuo ou em pulso) profundidade e espaçamento dos emissores (AL-OGAIDI et al., 2016; ELNESR; ALAZBA, 2019; KHATTAK et al., 2017; VIGO et al., 2020).

Também pode-se citar a textura do solo como influenciadora do padrão de distribuição da umidade no solo. De acordo com alguns autores, em solos de textura muito argilosa, o máximo diâmetro molhado ocorre na superfície, e tende a ser mais extenso lateralmente, devido às forças capilares mais acentuadas. Por outro lado, em solos de textura arenosa, o máximo diâmetro molhado ocorre mais profundamente, o movimento de água é maior na direção vertical (KARIMI et al., 2021). Dessa forma, apesar dos solos arenosos apresentarem reduzida porosidade total, os movimentos do ar e da água são rápidos nesses solos, em função da predominância de macroporos. Já nos solos de textura fina, apesar de apresentarem grande espaço poroso, os movimentos dos fluidos são relativamente lentos, devido à presença predominante de microporos (KUNZ; ÁVILA; PETRY, 2014).

A distribuição da água de um emissor pode ser obtida por medições em campo, com modelos físicos experimentais de laboratório e por meio de modelos matemáticos (ARAÚJO et al., 2020; RAVIKUMAR et al., 2021). Os modelos matemáticos podem ser numéricos, analíticos e empíricos (IQBAL et al., 2017; MONCEF, 2019). Diversos modelos matemáticos foram desenvolvidos para estimar a distribuição de água no solo.

Modelos complexos, baseados na equação de Richards, requerem métodos numéricos devido à sua natureza não linear, mas têm limitações por demandar informações detalhadas e alto desempenho computacional (MONCEF; KHEMAIES, 2016). Modelos analíticos, derivados da mesma equação, são mais práticos devido a suposições simplificadoras (LIU; XU, 2018; MONCEF; KHEMAIES, 2016). Modelos empíricos com dados de campo também são usados, mas podem ter limitações em solos diferentes e ao desconsiderar condições iniciais de umidade (BAUTISTA et al., 2016; MUÑOZ et al., 2022). Assim, pesquisadores têm usado experimentos em ambientes controlados e softwares como o SLIDE para obter modelos mais precisos (ROCSCIENCE INC., 2010).

Este estudo foi realizado sob a hipótese de que é possível estimar a evolução da distribuição temporal de água no solo com um modelo empírico que considere as propriedades físicas do solo e as características da irrigação. Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi desenvolver e testar diferentes modelos matemáticos para estimar a distribuição da umidade solo sob irrigação por gotejamento subsuperficial.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Local e montagem do experimento

O experimento foi conduzido na área experimental do Laboratório de Hidráulica pertencente ao Centro de Referência em Recursos Hídricos (CRRH) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais. Para condução do experimento, foram montadas 28 colunas de solo com dimensões de 40 cm de diâmetro, 55 cm de altura e 70 litros de volume, com drenagem livre (fundo perfurado). O solo foi coletado em um barranco na UFV, posteriormente passou sete dias secando e para facilitar a secagem, foi revolvido de dois em dois dias, após esse período foi peneirado para ser colocado nos vasos. As colunas foram preenchidas e a fim de obter a estabilidade do solo e distribuição da umidade mais próxima do natural, houve um período de repouso de sete dias antes de iniciar os eventos de irrigação. Portanto, os valores do teor de umidade foram relativamente semelhantes em todas as repetições. Desse solo, amostras foram coletadas para a determinação das propriedades físicas como textura, densidade e condutividade hidráulica do solo saturado. As propriedades físico-

hídricas do solo em estudo são apresentadas na Tabela 1. Para instalação das fitas gotejadoras, foi medida a altura do vaso em relação ao solo e inserida cada fita, com um emissor, nas profundidades a serem estudadas.

Tabela 1 - Propriedades físicas do solo

Característica	Valor
Densidade do solo (g cm^{-3})	1,06
Condutividade saturada (m d^{-1})	5,56
Areia grossa (kg kg^{-1})	0,307
Areia fina (kg kg^{-1})	0,137
Silte (kg kg^{-1})	0,128
Argila (kg kg^{-1})	0,428
Textura	Argilosa

Fonte: Rocha (2024).

O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições. O arranjo experimental foi de parcelas subdivididas no tempo, tendo nas parcelas diferentes profundidades de instalação de gotejadores e nas subparcelas tempos de aplicação da irrigação. As fitas gotejadoras, de 16 mm de diâmetro, com espessura de 1,4 mm, foram instaladas em sete diferentes profundidades na coluna de solo: 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 cm. Em cada coluna de solo foi instalado apenas um gotejador, inserindo-o no ponto central considerando o sentido horizontal. Os gotejadores utilizados são do modelo Amnondrip do fabricante NaanDanJain. Eles operaram com pressão de 10 mca e vazão de $1,6 \text{ L h}^{-1}$. As irrigações foram realizadas durante quatro horas, com coletas de solo em intervalos de 60 minutos (0, 60, 120, 180 e 240 min). Para determinação da umidade do solo, amostras foram coletadas nas profundidades de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 cm. Para cada profundidade, foram coletadas amostras de solo no ponto central da coluna e distante a 20 cm deste ponto. As amostras de solo foram retiradas utilizando o trado de rosca e as umidades foram determinadas por meio do método gravimétrico a cada 60 min de com o sistema de irrigação funcionando, até finalizar as 4 horas de avaliação.

Foram implementados três diferentes modelos considerando os dados de umidade medida em campo para predição da distribuição da umidade no perfil do solo. O primeiro modelo foi gerado utilizando o software SLIDE 6.0, o segundo utilizando regressão polinomial e o terceiro utilizando o software SPSS 2.0.

Utilizando-se os dados coletados nos experimentos em campo, os modelos foram baseados na distribuição temporal e espacial da umidade volumétrica. O conjunto de dados foi dividido em duas partes: treinamento e teste. Dessa forma, em cada simulação referente as

diferentes profundidades de instalação dos gotejadores, os dados de umidade das respectivas profundidades foram ocultados para elaboração dos projetos.

4.2. Modelo ajustado no software SLIDE 6.0

O fluxo de água foi simulado usando o software SLIDE 6.0 (Rocscience Inc., 2010). Para elaboração do projeto no software foram utilizados dados de umidade inicial do solo e seus respectivos potenciais matriciais que foram calculados utilizando a equação de van Genuchten (equação 1).

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left[\frac{1}{1 + (\alpha \Psi)^n} \right]^m \quad (1)$$

onde, θ é a umidade volumétrica atual do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), θ_r é a umidade volumétrica residual ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), θ_s é a umidade volumétrica saturada ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), Ψ é o potencial matricial (kPa), m , n , α são os parâmetros de ajuste do modelo de van Genuchten.

Vale destacar que no desenvolvimento do modelo, a umidade inicial do solo foi considerada, sendo relatada por Shiri et al. (2020) como um fator essencial na determinação do padrão de distribuição da água. Dessa forma, as condições iniciais das simulações foram definidas de acordo com os dados de umidade do solo medidos em campo, antes das irrigações, determinados por meio do método gravimétrico. Quanto ao início das irrigações, foi considerado uma fonte emissora de água em um ponto localizado no meio da matriz correspondente ao emissor que foi instalado em campo.

Em sequência, foi desenhada uma grade de 40 cm x 54 cm, representando as dimensões das colunas de solo que foram instaladas no campo. Os valores de umidade do solo nas profundidades de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 cm foram os obtidos em campo antes dos eventos de irrigação. Diferentes profundidades de instalação dos emissores foram simuladas dentro da grade, assim como estavam dispostos os tubos gotejadores em campo (0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 cm). O modelo foi discretizado, criando uma grade com 5.000 elementos triangulares de 6 nós, incluindo os parâmetros da curva de retenção de água do solo e o valor de condutividade hidráulica do solo saturado.

Dois módulos de regime de fluxo foram configurados: estacionário e transiente. No regime estacionário, os pontos de coleta dos dados de umidade foram configurados com pressão negativa, representando o potencial matricial. Nos pontos do emissor, foi configurado como fonte de água com vazão de $1,6 \text{ L h}^{-1}$. No módulo transiente as condições de contorno foram deixadas como desconhecidas e o ponto de localização do emissor foi configurado para simular um evento de irrigação de quatro horas.

Após as configurações, o software sugeriu diferentes modelos para cada profundidade de instalação das mangueiras e a distribuição de água nas colunas de solo, sendo analisados um ponto central (próximo ao emissor) e outro distante a 20 cm deste ponto.

4.3. Modelo de regressão polinomial

Um modelo empírico de regressão polinomial foi sugerido para simular a distribuição de água considerando as diferentes profundidades de instalação dos emissores (0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 cm), com a variável dependente sendo a umidade volumétrica e a independente a profundidade de instalação dos emissores no campo. Foram sugeridos modelos para um ponto central (próximo ao emissor) e para um ponto distante 20 cm do ponto central. Como no modelo anterior, foram utilizados os dados coletados em campo durante os eventos de irrigação e a umidade inicial do solo antes dos eventos.

4.4. Modelo de regressão polinomial

Também foi criado um modelo de regressão linear simples no IBM SPSS 2.0 com a variável dependente sendo a umidade volumétrica e a independente a profundidade de instalação dos emissores no campo (0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 cm), gerando uma equação para um ponto central (próximo ao emissor) e uma para o ponto distante 20 cm do ponto central.

4.5. Análises estatísticas

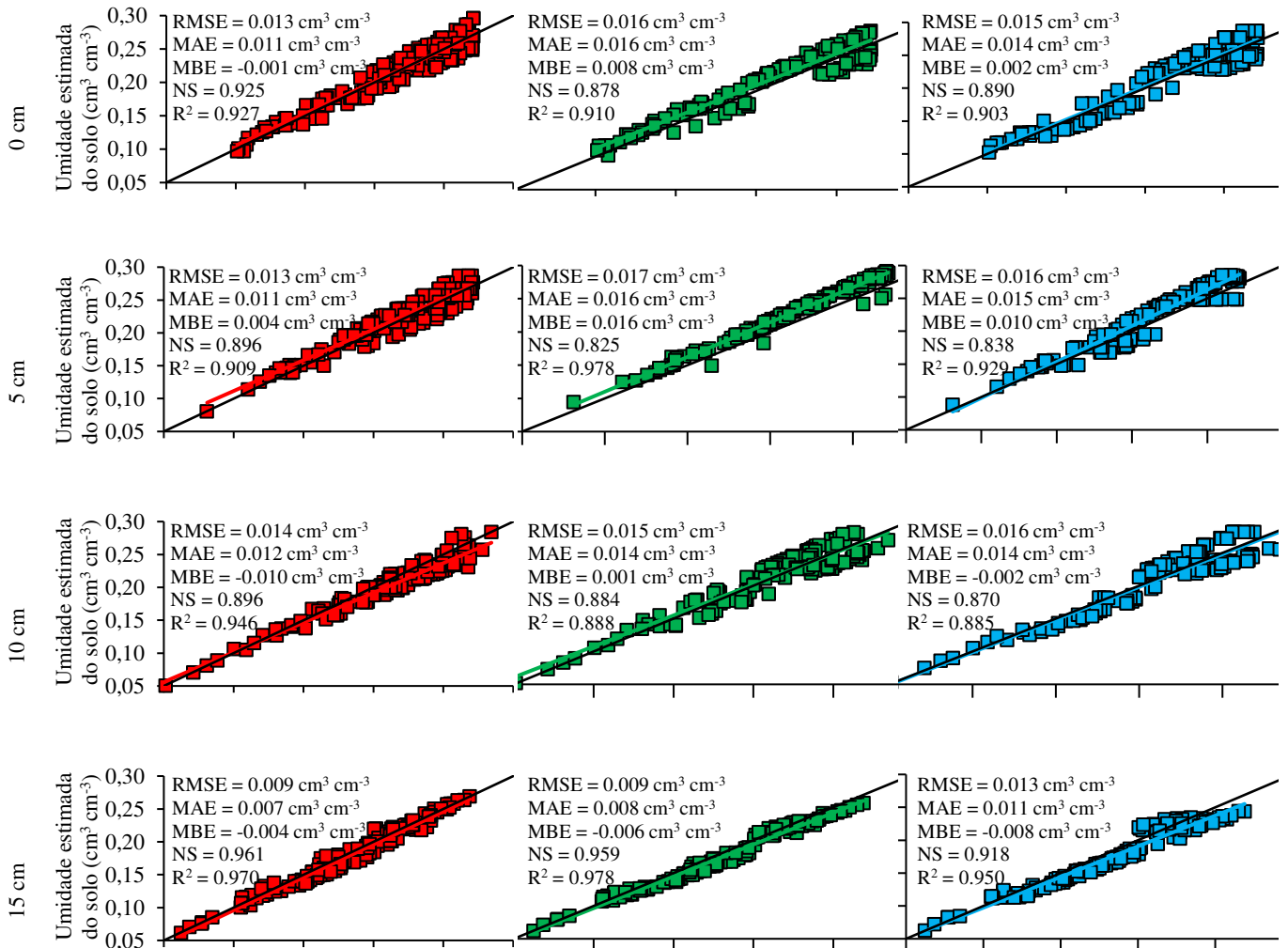
Os resultados dos modelos foram avaliados utilizando cinco métricas estatísticas: o coeficiente de determinação (R^2), a raiz quadrada do erro médio (RMSE), o erro absoluto médio (MAE), a média dos desvios (MBE) e o coeficiente de eficiência do modelo de Nash-Sutcliffe (NS).

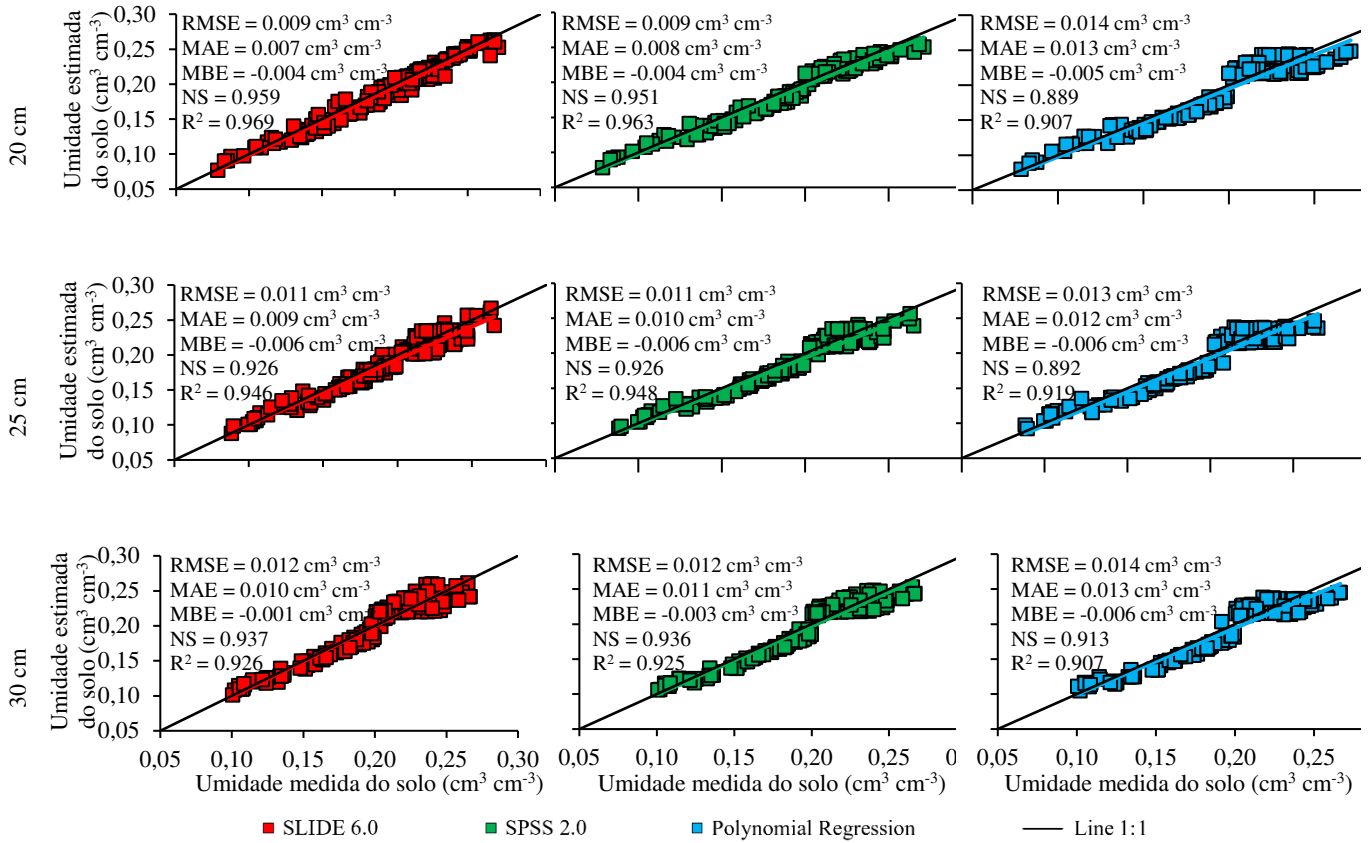
O R^2 representa o percentual da variância dos dados que é explicado pelo modelo. Os resultados variam de 0 a 1, quanto maior é o valor de R^2 , mais explicativo é o modelo em relação aos dados previstos. O RMSE mostra a diferença entre os valores preditos e observados no modelo. Um RMSE baixo, significa que a performance do modelo foi boa, pois o erro se aproxima de zero. O MAE mede a diferença entre o valor real com o predito, quanto mais próximo de zero, melhor. O MBE indica a tendência do modelo de superestimar ou subestimar os resultados em relação aos valores reais, quanto mais próximo de zero, melhor. O NS pode ser usado para descrever quantitativamente a precisão do modelo, sendo bastante utilizada para comparação entre modelos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A dispersão entre os dados de umidade do solo observado e estimado e os resultados das análises estatísticas para cada ponto coletado, modelo e profundidades de instalação dos gotejadores são apresentados nas Figuras 1 e 2. Visualmente, percebe-se pequena dispersão dos dados, mostrando que os modelos apresentaram boa precisão. Isso pode ser confirmado pelos altos valores do coeficiente de determinação (R^2), que foram superiores a 0,885 considerando todos os cenários. Modelos preditivos com R^2 elevados, ou seja, com alta precisão, possuem o potencial de melhorar ainda mais seu desempenho de predição quando são calibrados (FERREIRA et al., 2019).

Figura 1 - Umidades no ponto central das colunas de solo estimadas por diferentes modelos e em diferentes profundidades de instalação do gotejador.



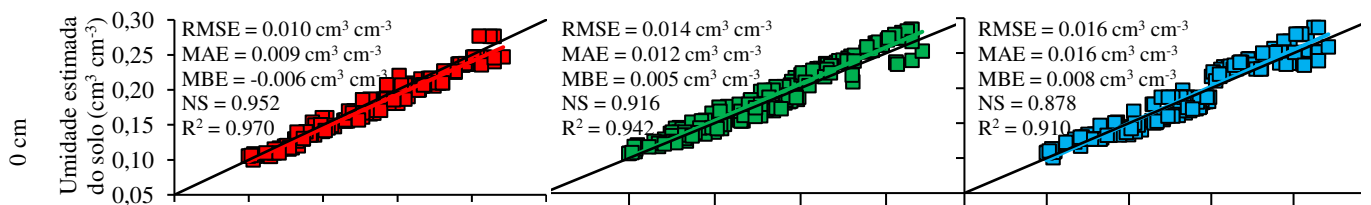


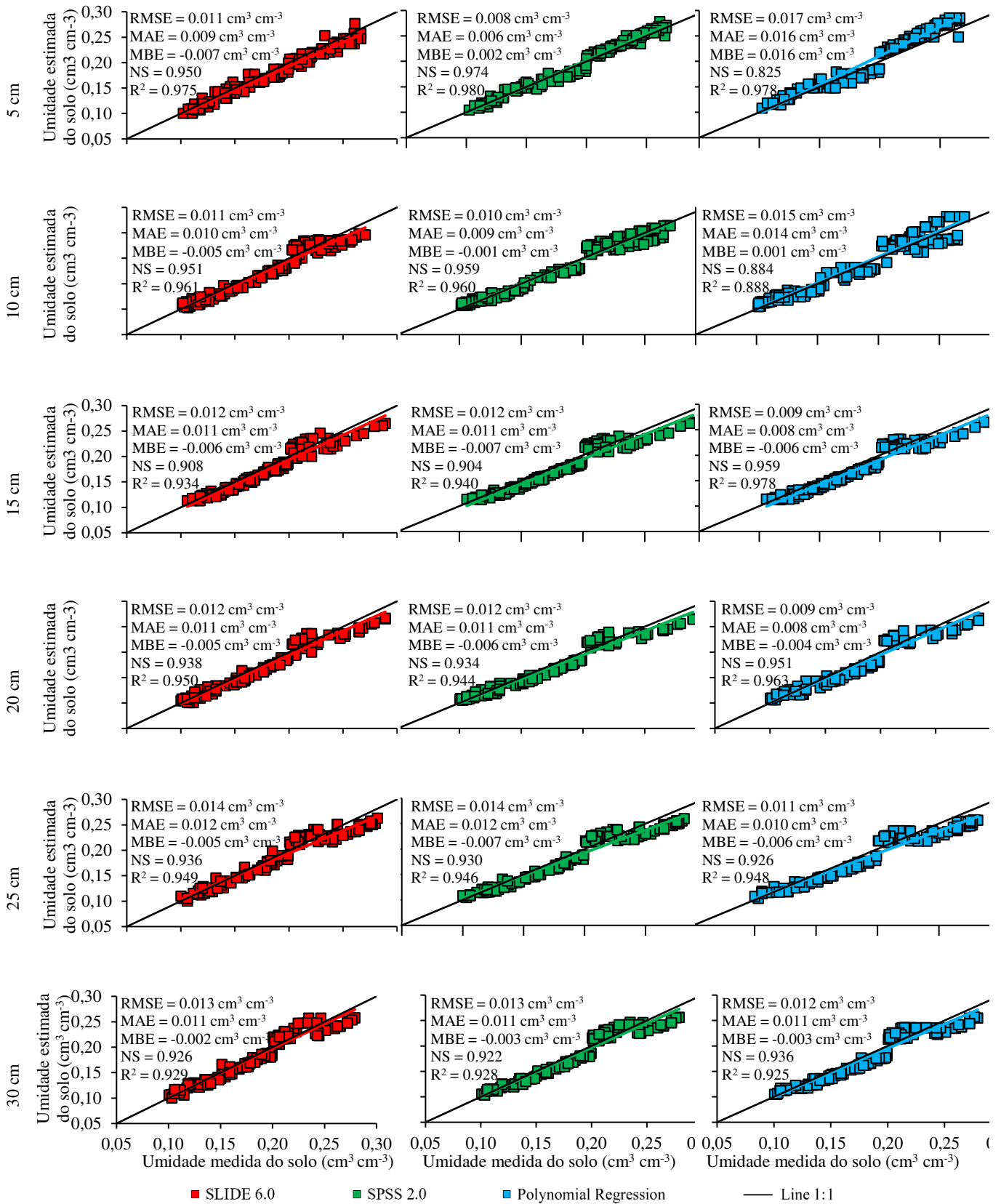
Fonte: Rocha (2024).

Na Figura 1, a fita gotejadora instalada a 15 cm apresentou o maior R² (0,970) no modelo gerado no SLIDE 6.0, no modelo do SPSS 2.0 quando instalada a 5 e 15 cm (0,978) e na regressão polinomial o maior R² (0,950) foi para a fita gotejadora instalada a também a 15 cm.

Na Figura 2, a fita gotejadora instalada a 5 cm apresentou o maior R² (0,975) no modelo gerado no SLIDE 6.0, no modelo do SPSS 2.0 quando instalada a 5 (0,980) e na regressão polinomial o maior R² (0,978) com a fita gotejadora instalada a 5 e 15 cm.

Figura 2 – Umidades no ponto distante de 20 cm do centro das colunas de solo estimadas por diferentes modelos e em diferentes profundidades de instalação do gotejador.





Fonte: Rocha (2024).

Na Tabela 2 está apresentado o resumo dos valores das métricas estatísticas utilizados para comparar as umidades do solo observadas e estimadas. Nessa tabela estão apresentados

os valores médios das métricas estatísticas fixando cada variável utilizada no estudo. Em média, o R^2 do modelo gerado no SLIDE 6.0 foi superior ao modelo SPSS 2.0 que, por sua vez, foi maior que o modelo de regressão polinomial.

Tabela 2 - Valores das métricas estatísticas para a comparação das umidades do solo observadas e estimadas por diferentes modelos, em diferentes pontos de coleta e profundidades de instalação dos gotejadores.

Fator	Variável	R^2	Métricas			Nash-Sutcliffe
			MBE	MAE cm ³ cm ⁻³	RMSE	
Modelo	SLIDE 6.0	0,9472	-0,0040	0,0100	0,0117	0,9329
	SPSS 2.0	0,9452	-0,0007	0,0111	0,0123	0,9213
	Regressão	0,9279	-0,0006	0,0125	0,0136	0,8978
Distância do ponto central da coluna (cm)	0	0,9325	-0,0014	0,0115	0,0129	0,9080
	20	0,9477	-0,0022	0,0109	0,0121	0,9266
Profundidade de instalação do gotejador (cm)	0	0,9270	0,0028	0,0130	0,0140	0,9065
	5	0,9582	0,0068	0,0122	0,0137	0,8847
	10	0,9213	-0,0027	0,0122	0,0135	0,9073
	15	0,9583	-0,0062	0,0093	0,0107	0,9348
	20	0,9493	-0,0045	0,0097	0,0108	0,9370
	25	0,9432	-0,0060	0,0108	0,0123	0,9227
	30	0,9233	-0,0028	0,0112	0,0127	0,9283

Fonte: Rocha (2024).

Em relação ao local do ponto avaliado, o ponto central apresentou menor R^2 médio em relação ao avaliado a 20 cm de distância (Tabela 2). Solat et al. (2021) também encontraram melhores resultados simulados nos pontos mais distantes do emissor, utilizando o software Hydrus para modelagem da distribuição de bulbos molhados em terrenos inclinados. Arraes et al. (2019) também verificaram esse comportamento para os pontos mais distantes do emissor. Os autores atribuíram esses resultados ao fato de que ao final do tempo de estudo a água ainda não havia sido distribuída em todo o domínio.

No geral os modelos de predição subestimaram a umidade do solo, de acordo com a dispersão dos dados abaixo da reta 1:1 e valores de MBE (Figuras 1 e 2 e Tabela 2). Apesar dessa subestimativa ser pequena, esse erro pode gerar impacto no gerenciamento da irrigação, em que será fornecida uma lâmina de água maior que a requerida, visto que a umidade do solo está subestimada. Isso certamente prejudicará também o desenvolvimento das culturas e, somado esses dois problemas, poderia ocasionar prejuízos financeiros.

Zhang et al. (2013), em sua pesquisa empregando o software HYDRUS-2D, concluíram que a subestimativa da umidade do solo ocorreu devido à histerese. Essa mesma situação pode ter ocorrido no presente estudo, pois os parâmetros relacionados à curva de retenção do solo foram adquiridos após a construção inicial da curva utilizando o equipamento extrator de Richards. Nesse processo, as amostras já estavam saturadas. No

entanto, no ambiente de campo, as amostras foram progressivamente umedecidas através da aplicação gradual de água durante o processo de irrigação. Isso resultou em uma gradual redução da tensão aplicada às colunas de solo. Assim, é possível que tenha surgido uma disparidade na forma da curva característica, levando a discrepâncias nos valores de umidade gravimétrica.

Alguns pesquisadores também mencionaram que a subestimação da umidade gravimétrica talvez possa ser atribuída a uma superestimação da taxa de evaporação (URSULINO et al., 2019). Contudo, no contexto deste estudo, o período de exposição das colunas de solo não foi prolongado o suficiente para uma evaporação de impacto significativo. Igualmente, um estudo conduzido por Turco et al. (2017) também apresentou a subestimação da capacidade de retenção do solo, o que possivelmente teve lugar no presente estudo, dada a presença de variações na distribuição de argila nas colunas de solo. Como resultado, diferentes condições de umidade no campo podem ter emergido, mesmo quando se compara a profundidade idêntica para a instalação do sistema de gotejamento e o tempo equivalente de irrigação. É importante ressaltar que essa variável não foi incorporada a nenhuma das modelagens abordadas no presente estudo.

Para os modelos SPSS 2.0 e regressão polinomial também foram verificadas superestimativas na camada inicial de solo (até 10 cm) e subestimativas nas demais camadas (Figuras 1 e 2). Esse fenômeno pode ser atribuído à complexidade do solo, resultado da heterogeneidade das camadas nas colunas de solo. Entretanto, tal variação não é considerada em nenhum dos modelos avaliados, sendo utilizado um valor médio das características físico-hídricas para todas as camadas. Isso é respaldado por Ghazouani et al. (2019), que concluem que a estimativa imprecisa da quantidade de água no solo está relacionada a uma representação imperfeita das propriedades hidráulicas do solo para a camada específica. Portanto, ao negligenciar as possíveis discrepâncias entre suas camadas, esses modelos podem fornecer resultados distintos em relação à situação real.

As limitações associadas a superestimações ou subestimações decorrem da complexidade do processo de distribuição de água no solo, da variação na distribuição de chuva e da interação entre os processos que ocorrem no solo, na água e na atmosfera. Essas limitações ressaltam a necessidade de aprimorar os parâmetros de entrada para um ajuste mais preciso do modelo (SILVA et al., 2015). Adicionalmente, é importante destacar que o modelo não leva em conta variações locais ou diferentes características entre as camadas do solo. Isso pode resultar em uma superestimação do fluxo em camadas de baixa permeabilidade ou uma subestimação em camadas de alta permeabilidade (LU et al., 2021).

Dentre os modelos testados, o gerado no software SLIDE 6.0 apresentou o menor erro de acordo com as métricas estatísticas MAE e RMSE (Tabela 2). Em seguida, os menores erros foram dos modelos SPSS 2.0 e regressão polinomial, nessa sequência. Geralmente, softwares numéricos são capazes de estimar a distribuição de umidade no perfil do solo com precisão adequada. Uma das razões para esse bom desempenho é que são consideradas várias variáveis influentes (conforme estudos anteriores), e esta técnica pode relacionar as entradas às saídas com um forte padrão de reconhecimento (KARIMI et al., 2020). Além disso, pode-se adicionar a compreensão lógica do software em relação a complexidade do solo com base em equações governantes de fluxo.

O coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NS) dá uma ideia de quão bom o modelo é comparado aos outros. De acordo com essa métrica, os melhores modelos foram SLIDE 6.0, SPSS 2.0 e regressão polinomial, nessa sequência. O modelo gerado pelo SLIDE 6.0 apresentou desempenho superior aos demais porque considera mais variáveis de entrada e fornece uma melhor compreensão do ambiente do solo. A esse respeito, o modelo do SLIDE 6.0 considera parâmetros das características do solo, incluindo densidade aparente e condutividade hidráulica do solo, que por sua vez podem fornecer um melhor entendimento da complexidade da distribuição da água no perfil do solo. Nos outros modelos, tais parâmetros não foram considerados, levando em conta apenas a umidade volumétrica do solo.

Mesmo o SLIDE 6.0 apresentando o melhor desempenho, devemos reconhecer que os demais modelos estudados também previram o comportamento da distribuição de água no perfil do solo com desempenho satisfatório, sendo mais práticos do ponto de vista do irrigante com acesso a assistência técnica qualificada. De acordo com a Tabela 2, os modelos SPSS 2.0 e regressão polinomial apresentaram baixos valores de MBE, MAE e RMSE (próximos de zero) e altos valores de R² (próximos de um). Além disso, os modelos mostraram boa capacidade para simular padrões de umedecimento em sistemas subsuperficiais quando comparados com a literatura anterior (AL-OGAIDI et al., 2016; KARIMI et al., 2020; KARIMI et al., 2021; SIERRA et al., 2021).

Os resultados ainda poderiam ter sido melhores caso o solo do presente estudo apresentasse textura arenosa. Comparando solos de diferentes texturas, Elnesr e Alazba (2019) e Karimi et al. (2020) relataram que o desempenho dos modelos em solos de textura mais arenosa (aproximadamente 70% de areia) foi melhor que em solos de textura mais argilosa (mais de 30% de argila). Segundo os autores, solos argilosos como os utilizados no presente estudo possuem baixa condutividade hidráulica, dificultando a modelagem da

distribuição de água. Além disso, em solos argilosos podem ocorrer fluxos preferenciais e os modelos podem não ser capazes de simulá-los.

Resumindo, os resultados obtidos mostraram que os modelos propostos têm desempenho adequado sob diferentes combinações de dados de umidade volumétrica e profundidade de instalação dos emissores. Como as condições iniciais dos modelos estão de acordo com as condições de campo, os resultados sugeridos podem ser aplicados diretamente nos aspectos de projeto e implementação. Além disso, os coeficientes de regressão dos modelos propostos são gerais e podem ser usados para tipos de solos, vazões e tipos de emissores semelhantes. A principal motivação desta pesquisa foi fornecer uma tecnologia confiável baseada em uma metodologia de fácil entendimento e utilizando computação básica para simular a distribuição de água de sistemas de irrigação por gotejamento subsuperficial.

Considerando ainda que esta pesquisa foi feita para uma condição específica (sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial com modo contínuo, para solo homogêneo, em colunas), é interessante realizar simulações da distribuição de água para sistema de irrigação por gotejamento com modo de pulso, diferentes camadas do perfil do solo e em maiores áreas, utilizando diferentes abordagens, como machine learning.

6. CONCLUSÕES

1. Os modelos gerados mostraram-se adequados e aplicáveis para a simulação da distribuição de água resultante de gotejadores instalados em diferentes profundidades do solo.
2. Na comparação entre eles, o modelo gerado pelo SLIDE 6.0 mostrou-se superior ao SPSS 2.0 que, por sua vez, foi superior a regressão polinomial.

7. CAPÍTULO 2 - Desempenho fisiológico de sementes de capim-sabiá irrigado por gotejadores subsuperficiais

RESUMO

O cultivo do capim-sabiá (*Urochloa* híbrida cv. Sabiá) é amplamente empregado na produção animal, demandando a identificação das condições ideais de disponibilidade hídrica para garantir a germinação das sementes e a emergência das plântulas. Este estudo visa aprimorar o manejo hídrico através da implementação de emissores em sistemas de irrigação por gotejamento subsuperficial, buscando aperfeiçoar a formação de pastagens de capim-sabiá. O objetivo principal é avaliar os efeitos de diferentes profundidades de instalação de emissores na fase inicial do desenvolvimento do capim-sabiá. O trabalho foi conduzido em vasos e realizado na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. Foram realizados três ciclos de cultivo com 21 dias de duração do capim-sabiá nas fases de germinação e emergência. O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições. O arranjo experimental foi de parcelas subdivididas no tempo, tendo nas parcelas os três ciclos de cultivo e nas subparcelas diferentes profundidades de instalação de gotejadores. As três datas de semeadura foram 26 de março, 12 de abril e 29 de abril de 2022. As fitas gotejadoras foram instaladas em sete diferentes profundidades: 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 cm. Os parâmetros avaliados foram: germinação final (GF), índice de velocidade de germinação (IVG), tempo para atingir 10% de germinação (T10), tempo para atingir 50% germinação (T50), tempo para atingir 90% de germinação (T90), uniformidade de germinação (UnifG), tempo médio de germinação (TMG) e taxa média de germinação (TaMG). Após emergência das plântulas, foram determinadas as seguintes características: comprimentos de raiz (CR) e da parte aérea (CPA) e massas fresca (MFP) e seca (MSP) de plântulas. O processo de germinação das sementes e os parâmetros relacionados à velocidade de germinação do capim-sabiá foram adversamente impactados pelo aumento da profundidade de instalação dos gotejadores. A redução do potencial hídrico, associada ao aumento da temperatura, resultou em um desempenho inferior das sementes de capim-sabiá. Recomenda-se a instalação dos gotejadores a uma profundidade de 15-20 cm em sistemas de irrigação por gotejamento subsuperficial, visando benefícios como a diminuição da evaporação da água no solo e uma operacionalidade aprimorada em comparação com sistemas superficiais.

Palavras-chave: Emergência; Germinação; Irrigação subsuperficial; Potencial hídrico; *Urochloa* híbrida cv. Sabiá.

ABSTRACT

The cultivation of sabiá grass (*Urochloa* hybrid cv. Sabiá) is widely used in animal production, requiring the identification of ideal conditions of water availability to guarantee seed germination and seedling emergence. This study aims to improve water management through the implementation of emitters in subsurface drip irrigation systems, seeking to improve the formation of sabia-grass pastures. The main objective is to evaluate the effects of different emitter installation depths in the initial phase of sabia-grass development. The work was conducted in pots and carried out at the Federal University of Viçosa, Minas Gerais. Three cultivation cycles lasting 21 days were carried out for sabiá-grass in the germination and emergence phases. The experiment was set up in a completely randomized design (DIC) with four replications. The experimental arrangement was of plots subdivided in time, with three cultivation cycles in the plots and different depths of dripper installation in the subplots. The three sowing dates were March 26, April 12 and April 29, 2022. The drip tapes were installed at seven different depths: 0, 5, 10, 15, 20, 25 and 30 cm. The parameters evaluated were: final germination (GF), germination speed index (IVG), time to reach 10% germination (T10), time to reach 50% germination (T50), time to reach 90% germination (T90), germination uniformity (UnifG), average germination time (TMG) and average germination rate (TaMG). After seedling emergence, the following characteristics were determined: root (CR) and shoot (CPA) lengths and seedling fresh (MFP) and dry (MSP) weights. The seed germination process and parameters related to the germination speed of sabiá-grass were adversely impacted by the increase in the installation depth of the drippers. The reduction in water potential, associated with the increase in temperature, resulted in a lower performance of sabiá-grass seeds. It is recommended to install drippers at a depth of 15-20 cm in subsurface drip irrigation systems, aiming for benefits such as reduced evaporation of water in the soil and improved operability compared to surface systems.

Keywords: Emergency; Germination; Subsurface irrigation; Water potential; *Urochloa* hybrid cv. Sabiá

8. INTRODUÇÃO

A pecuária é um dos setores mais importantes do agronegócio brasileiro. Em 2018, o Brasil possuía o segundo maior rebanho bovino do mundo, com aproximadamente 214,69 milhões de cabeças. Nesse mesmo ano, o país foi o maior exportador de carne bovina, com dois milhões de toneladas por ano, e o segundo maior produtor de carne, com onze milhões de

toneladas por ano (ABIEC, 2018), ocupando assim uma posição de destaque na indústria pecuária mundial. A utilização de tecnologias para aumentar a produtividade em todo o setor pecuário é fundamental para atender à crescente demanda por produtos de origem animal. Porém, essas tecnologias devem minimizar o impacto do setor sobre o meio ambiente e os recursos naturais (REIS et al., 2017).

A água é um dos fatores limitantes na produção de animais a pasto (ALENCAR et al., 2009; WANG et al., 2021), assim a irrigação se apresenta como uma prática promissora de intensificação da produção de carne e leite em regiões onde as chuvas são escassas ou de distribuição irregular (REIS et al., 2017). Forragens que recebem o suprimento adequado de água são mais produtivas e apresentam características que favorecem a produção animal como maiores teores de proteína bruta e maior digestibilidade (SANCHES et al., 2015; WANG et al., 2021; ZACCARIA et al., 2017).

A utilização de pastagens como principal fonte de nutrientes nos sistemas tradicionais de produção de leite no Brasil é comum por ser considerada a forma mais econômica de alimentação dos rebanhos, principalmente devido ao elevado preço dos concentrados. Segundo o IBGE (2023), o pasto também constitui a base de sustentação da pecuária de corte brasileira. Assim, é importante escolher a cultura forrageira que melhor se adapta as condições de solo e ambiente para utilizá-la de forma planejada, objetivando a otimização do seu uso, a potencialização da produtividade e o melhoramento do aproveitamento pelos animais (AGUILERA et al., 2020; LLANOS et al., 2018).

Atualmente, o mercado nacional apresenta uma ampla variedade de cultivares de gramíneas forrageiras pertencentes ao gênero *Urochloa*. No entanto, muitas delas ainda não tiveram suas características produtivas completamente conhecidas, como é o caso do capim-sabiá (*Urochloa* híbrida cv. Sabiá). Portanto, a avaliação de uma nova cultivar de *Urochloa* possibilita a identificação de gramíneas forrageiras adequadas para serem semeadas (BORGES et al., 2023). O capim-sabiá foi lançado no mercado brasileiro pela empresa Barenbrug e possui como características fácil manejo e intenso perfilhamento, resultando em maior produção de massa forrageira. Esse capim possui crescimento ereto, exigência moderada de fertilidade do solo, deve ser cultivado em solos bem drenados e possui boa responsividade à adubação. O capim-sabiá é indicado para pastejo, produção de silagens e é bem aceito pelos animais (BARENBRUG, 2022).

Em pastagens, a técnica de irrigação mais utilizada no Brasil é aquela enquadrada no método aspersão (ALENCAR et al., 2009; MELO et al., 2020). Contudo, existe uma tendência para que a indústria agropecuária se adeque a sistemas de irrigação mais eficientes,

como os localizados, principalmente quanto à utilização dos recursos hídricos. A utilização da irrigação por gotejamento subsuperficial vem se expandindo nas últimas décadas (ROCHA et al., 2023) por ser um sistema que reduz potencialmente as perdas de água por evaporação, além de apresentar outras vantagens como a realização de manejo sem precisar remover as linhas de gotejo, tanto no preparo do solo, na capina mecânica quanto na colheita de sementes (AYARS et al., 2015; GUIMARÃES et al., 2019; WANG et al., 2021).

Por ser uma tecnologia relativamente nova, faltam estudos mais detalhados sobre alguns pontos (ROCHA et al., 2023). Quando se trata de culturas forrageiras irrigadas, há carência de informações que permitam auxiliar os técnicos e pecuaristas no manejo adequado da aplicação de água em relação ao estabelecimento (germinação) e desenvolvimento da cultura (produção) (MOTA et al., 2020; WANG et al., 2021). A camada superficial do solo (0-10 cm), onde as sementes são depositadas, pode se tornar seca devido à evaporação e preparo do solo antes da semeadura. Além disso, na reposição hídrica pelo emissor enterrado, a ascensão capilar pode não ser suficiente para umedecer o volume de solo onde a semente está contida (MO et al., 2020; ZACCARIA et al., 2017). Esse problema pode levar a atrasos na emergência ou quebra de safra (GUAN et al., 2016).

Diminuir a profundidade das linhas de gotejamento (menos que 20 cm em relação a superfície do solo) podem resultar em germinação de sementes mais uniforme (VADAR et al., 2020; WANG et al., 2015). Outras estratégias como o uso de corretivos de solo ou aplicação de água em pulso, foram consideradas insatisfatórias (BORDOVSKY et al., 2012). Entretanto, Lamm et al. (2021) encontraram resultados diferentes, pois aplicando irrigação subsuperficial em pulsos, verificaram melhoria na redistribuição da água do solo e melhorarias na germinação e no estabelecimento das culturas.

Alguns pesquisadores propõem colocar tubos gotejadores acima de um material impermeável para promover o movimento ascendente da água do solo. Porém, a eficácia dessa prática tem sido variável e os custos correspondentes são relativamente altos (CHARLESWORTH; MUIRHEAD, 2003; ELNESR; ALAZBA, 2015). Em trabalho analisando características agronômicas e produtivas da cultura do milho, Rocha et al. (2023) concluíram que o tubo gotejador instalado a 30 cm de profundidade no solo apresentou melhores resultados para estas variáveis. Assim, pode-se dizer que as profundidades de instalação do tubo gotejador e as intensidades de aplicação de água para melhores respostas agronômicas e fisiológicas da cultura de interesse são problemas pertinentes da utilização deste sistema em pastagem (MELO et al., 2020; ZACCARIA et al., 2017). Diante do exposto, percebe-se a importância econômica do capim-sabiá e a necessidade de encontrar as

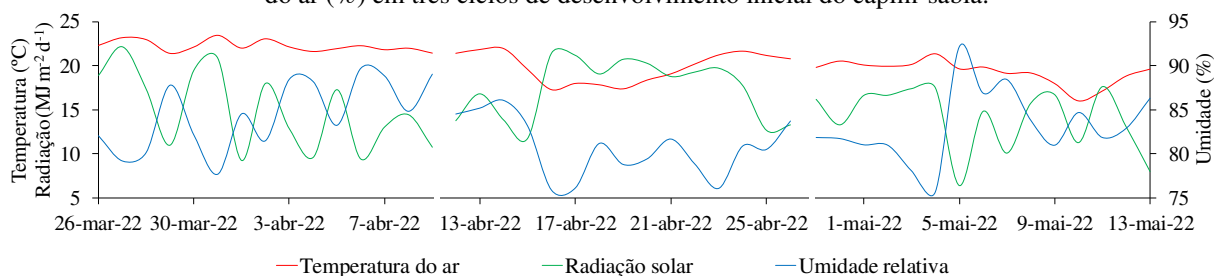
condições adequadas de disponibilidade hídrica para garantir a germinação das sementes e emergência das plântulas. Assim, são necessários estudos para encontrar o melhor manejo e instalação de emissores em irrigação por gotejamento subsuperficial, possibilitando melhoria na formação de pastagens de capim-sabiá. Dessa forma, objetivou-se neste trabalho avaliar os efeitos de diferentes profundidades de instalação de emissores em irrigação por gotejamento subsuperficial na fase inicial do capim-sabiá, analisando características de germinação e vigor da espécie.

9. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Laboratório de Hidráulica pertencente ao Centro de Referência em Recursos Hídricos (CRRH) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais. O local está situado na cidade de Viçosa, Minas Gerais, com latitude 20°46'19'' S, longitude 42°52'28'' W, altitude média de 662 m. O clima da região é do tipo Aw, caracterizado por verão quente e chuvoso e inverno frio e seco (DUBREUIL *et al.*, 2018). A temperatura anual média é de 21,8 °C e a precipitação anual de 1.345 mm, sendo o mês de dezembro o mais chuvoso e o mês de julho o menos chuvoso.

Os dados meteorológicos foram coletados em uma estação meteorológica automática da marca DAVIS, modelo Vantage Pro II, previamente instalada na área experimental. Esta estação possui sensores que fornecem dados horários de temperatura do ar (°C), umidade relativa (%), velocidade do vento (m s^{-1}), radiação solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) e precipitação pluvial (mm). Os valores médios diários de temperatura do ar, radiação solar e umidade relativa foram de 22,3; 19,9 e 19,3°C; 14,93; 17,34 e 14,11 $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ e 84,5; 80,8 e 83,1% para os ciclos 1, 2 e 3, respectivamente (Figura 1).

Figura 1 - Valores diários de temperatura média do ar (°C), radiação solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) e umidade relativa média do ar (%) em três ciclos de desenvolvimento inicial do capim-sabiá.



Fonte: Rocha (2024).

Foram realizados três ciclos de cultivo do capim-sabiá nas fases de germinação e emergência. A forrageira utilizada no estudo foi o capim-sabiá (*Urochloa* híbrida cv. Sabiá). As sementes utilizadas foram da Barenbug com pureza mínima de 95%, tratadas com

fungicida e inseticida. Para a semeadura, um sulco circular de 10 cm de raio e 2 cm de profundidade foi aberto em cada vaso, e 60 sementes foram distribuídas de maneira uniforme ao longo do sulco.

Para condução do experimento, foram instalados vasos de dimensões de 40 cm de diâmetro, 55 cm de altura e 70 litros de volume. Os vasos foram preenchidos com solo coletado em um barranco no campus da UFV. O solo foi coletado em um barranco na UFV, posteriormente passou sete dias secando e para facilitar a secagem, foi revolvido de dois em dois dias, após esse período foi peneirado para ser colocado nos vasos. As colunas foram preenchidas e a fim de obter a estabilidade do solo e distribuição da umidade mais próxima do natural, houve um período de repouso de sete dias antes de iniciar os eventos de irrigação. Portanto, os valores do teor de umidade foram relativamente semelhantes em todas as repetições.

Desse solo, amostras foram coletadas para a determinação das propriedades físico-hídricas e químicas do solo (Tabela 1). O solo foi adubado com ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio antes de cada ciclo, de forma convencional por meio de sulcos nos vasos, e a semeadura só era feita após 24 horas da adubação.

Tabela 1 - Caracterização físico-hídrica e química do solo utilizado para o preenchimento dos vasos.

Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	CC	PM	Classificação textural			
----- kg kg ⁻¹ -----									
0,307	0,137	0,128	0,428	0,247	0,137	Argila			
pH H ₂ O	pH KCl	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	
-----		----- mg dm ⁻³ -----		-----		----- cmol _c dm ⁻³ -----		-----	
6,30	5,69	117,3	46,0	6,60	5,68	0,55	0,00	1,90	
SB	t	T	V	m	ISNa	MO	N-total	P-Rem	
----- cmol _c dm ⁻³ -----		-----		----- % -----		----- dag kg ⁻¹ -----		----- mg L ⁻¹ -----	
6,38	6,38	8,28	77,1	0,00	0,35	2,96	0,115	37,0	
S	B	Cu	Mn	Fe	Zn	Cr	Ni	Cd	Pb
----- mg dm ⁻³ -----									
1,90	0,26	2,54	40,5	54,1	12,93	0,00	0,78	0,42	1,26

CC = capacidade de campo; PM = ponto de murcha permanente; P, Na, K, Fe, Zn, Mn, Cu, Cd, Pb, Ni e Cr - extrator Mehlich-1; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ - extrator KCl - 1 mol L⁻¹; H + Al - extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0; SB = soma de bases trocáveis; t = capacidade de troca catiônica efetiva; T = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V = índice de saturação por bases; m = índice de saturação por alumínio; ISNa = índice de saturação por sódio; MO (matéria orgânica) = C.Org x 1,724 - Walkley-Black; P-rem = fósforo remanescente; N total - digestão sulfúrica e destilação Kjeldhal; S - extrator por fosfato monocálcico em ácido acético; B - extrator água quente.

Fonte: Rocha (2024).

O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições. O arranjo experimental foi de parcelas subdivididas no tempo, tendo nas parcelas os três ciclos de cultivo e nas subparcelas diferentes profundidades de instalação de gotejadoras. As três datas de semeadura foram 26 de março, 12 de abril e 29 de abril de 2022. As fitas gotejadoras foram instaladas nas profundidades de 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 cm, resultando em 28 unidades experimentais.

Em cada vaso foi instalado apenas um emissor do tipo gotejador, inserindo-o no ponto central considerando o sentido horizontal. Os gotejadores utilizados foram do modelo Amnondrip e fabricante NaanDanJain. Eles operaram com pressão de serviço de 10 mca e vazão de 1,6 L h⁻¹.

Para evitar grandes variações no armazenamento de água no solo e mantê-lo com umidade próxima à capacidade de campo, o capim-sabiá era irrigado com turno de rega de dois dias. O manejo da irrigação foi conduzido por meio de dois vasos com solo designados como lisímetros de drenagem (também semeados), instalados na mesma área experimental. Esses lisímetros desempenharam a função de medir a evapotranspiração da cultura (ETc). A Equação 1 foi empregada para calcular a ETc e determinar a quantidade de água que foi aplicada nos vasos com solo.

$$ETc = P + I - D \quad (1)$$

em que: ETc = evapotranspiração da cultura (L); P = precipitação pluvial (L); I = volume de irrigação aplicada (L); D = água drenada (L).

O volume médio, calculado a partir dos dados dos dois lisímetros de drenagem, era utilizado na irrigação dos vasos com imposição dos tratamentos. Nos lisímetros, além do volume evapotranspirado, acrescentava-se 20% adicional para favorecer a induzir drenagem. É relevante destacar que todo o volume drenado em cada lisímetro era reintroduzido junto com a água de irrigação no mesmo lisímetro, assegurando o equilíbrio de sais e nutrientes no solo. Contudo, antes da aplicação da água nos lisímetros, a condutividade elétrica e o pH da água eram medidos para verificar se não causariam danos à cultura.

Para avaliação de germinação e vigor das sementes, os vasos foram examinados diariamente, sendo a primeira contagem realizada no primeiro dia e a última no vigésimo dia após a instalação dos experimentos. Os parâmetros avaliados foram: germinação final (GF), índice de velocidade de germinação (IVG), tempo para atingir 10% de germinação (T10), tempo para atingir 50% germinação (T50), tempo para atingir 90% de germinação (T90), uniformidade de germinação (UnifG), tempo médio de germinação (TMG) e taxa média de germinação (TaMG). As equações usadas para calcular cada característica, conforme descrito

por Silva et al. (2019), são apresentadas na Tabela 2. Os cálculos foram processados utilizando o software R versão 4.0.5 (www.r-project.org/) e o pacote SeedCalc (SILVA *et al.*, 2019).

Tabela 2 - Funções contidas no pacote SeedCalc para cálculo de índices, utilizando dados da contagem diária de sementes no teste de germinação / emergência

Função	Descrição da função	Fórmula	Referência
PFG	Porcentagem final de germinação	$PFG = \left(\frac{n}{N}\right) \times 100$ n é o número de sementes germinadas, e N é número total de sementes.	ISTA (2015)
IVG	Índice de velocidade de germinação	$IVG = \sum_{i=1}^K (n_i/t_i)$ n _i é o número de sementes germinadas em cada dia de contagem diária até a última contagem, e t _i é o número de dias após o início do teste em cada contagem.	Maguire (1962)
T10	Tempo necessário para germinação de 10% das sementes	$T_{10} = t_i + \frac{\left\{ \left[\frac{N}{\left(\frac{100}{10}\right)} \right] - n_i \right\} (t_f - t_i)}{(n_f - n_i)}$ N é o número final de sementes germinadas, e n _i e n _f são o número total de sementes germinadas em contagens adjacentes no tempo t _i e t _f , respectivamente, quando $n_i < \frac{N+1}{2} < n_f$.	Farooq <i>et al.</i> (2005)
T50	Tempo necessário para germinação de 50% das sementes	$T_{50} = t_i + \frac{\left\{ \left[\frac{N}{\left(\frac{100}{50}\right)} \right] - n_i \right\} (t_f - t_i)}{(n_f - n_i)}$ Mesma codificação de T10.	Farooq <i>et al.</i> (2005)
T90	Tempo necessário para germinação de 90% das sementes	$T_{90} = t_i + \frac{\left\{ \left[\frac{N}{\left(\frac{100}{90}\right)} \right] - n_i \right\} (t_f - t_i)}{(n_f - n_i)}$ Mesma codificação de T10	Farooq <i>et al.</i> (2005)
TMG	Tempo médio de germinação	$TMG = \frac{\sum_{ni}^k ni \cdot ti}{\sum_{ni}^k ni}$ n _i é o número de sementes germinadas por dia (não o número acumulado, mas o número correspondente à i-ésima observação), e t _i é o tempo desde o início do teste de germinação até a i-ésima observação.	Labouriau (1983)
TaMG	Taxa média de germinação	$\bar{v} = \frac{CoVg}{100} = 100/\bar{t}$ \bar{t} é o tempo médio de germinação e CoVg é o coeficiente de velocidade de germinação.	Labouriau (1983)

UnifG	Uniformidade de germinação	UnifG = (T90 – T10) T90 é o tempo necessário para a germinação de 90% das sementes, e T10 é o tempo necessário para germinação de 10% das sementes.	Demilly <i>et al.</i> (2014)
-------	----------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------

Fonte: Rocha (2024).

Após emergência das plântulas, elas foram retiradas cuidadosamente com um cilindro do amostrador do tipo Uhland, para que as raízes e a parte aérea fossem preservadas e foram determinadas as seguintes características:

- Comprimento de raiz (CR): com uso de régua, foi medida a distância da superfície do solo até a raiz mais profunda da plântula de capim-sabiá, em centímetro (as pla
- Comprimento da parte aérea (CPA): com uso de régua, foi medida a altura da plântula de capim-sabiá, em centímetro.
- Massa fresca de plântula (MFP): foram coletadas todas as plântulas e pesadas em balança de precisão (0,1 mg). A MFP em mg pl⁻¹ foi obtida dividindo a massa total pelo número de plântulas avaliadas.
- Massa seca de plântula (MSP): as plântulas coletadas foram secadas em estufa de circulação forçada de ar (65°C por 72 h) e pesadas em balança de precisão (0,1 mg). A MSP em mg pl⁻¹ foi obtida dividindo a massa total pelo número de plântulas avaliadas.

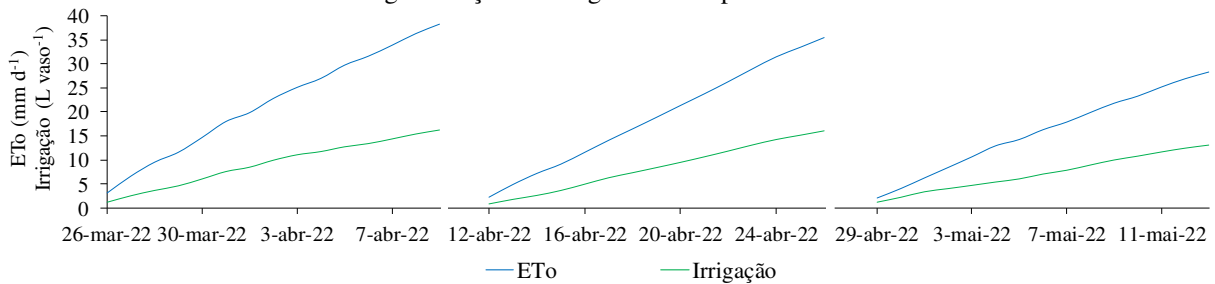
Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando 0,05 de significância no teste F. Independentemente da significância da interação entre os fatores, optou-se por desdobrá-la, considerando o interesse no estudo. Para verificações dos pressupostos de homogeneidade das variâncias e normalidade foram utilizados os testes de Bartlett e Shapiro-Wilk, respectivamente, utilizando 0,05 de significância em ambos. Para os fatores qualitativos, as médias foram comparadas utilizando o teste de Tukey a 0,05 de significância. Para os fatores quantitativos, foram testados modelos lineares e quadráticos. A seleção do modelo foi com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t a 0,05 de significância, no coeficiente de determinação (R^2) e no fenômeno biológico. Para execução das análises estatísticas foi utilizado o pacote Experimental Designs do software “R” (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2020).

10. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se na Figura 2 o consumo hídrico das sementes e plântulas do capim-sabiá ao longo dos ciclos de cultivo avaliados. O consumo hídrico total do capim-sabiá durante as avaliações foram 16,2; 16,1 e 13,2 litros de água por vaso nos ciclos 1, 2 e 3, respectivamente. Além da irrigação, na Figura 2 estão apresentadas as marchas de evapotranspiração de referência (ET_o) que apresentaram valores acumulados de 38,3; 35,5 e 28,5 mm d⁻¹ nos ciclos

1, 2 e 3, respectivamente. Os comportamentos das curvas foram semelhantes e as relações entre os fatores irrigação total e ETo acumulada foram de 0,42; 0,45 e 0,46 para os ciclos 1, 2 e 3, respectivamente. A ETo é diretamente relacionada ao coeficiente de cultivo (Kc), então o comportamento semelhante das curvas era esperado, visto que o Kc é obtido pela razão entre a evapotranspiração da cultura e a de referência, correlacionando-as à fase de desenvolvimento e às condições climáticas do local de estudo.

Figura 2 - Valores acumulados de evapotranspiração de referência (ETo) e irrigações realizadas em três ciclos de germinação e emergência do capim-sabiá.



Fonte: Rocha (2024).

Na Tabela 3 estão apresentados os resumos das análises de variância (ANOVA) para as variáveis germinação final (GF) e tempos necessários para germinação de 10, 50 e 90% (T10, 50 e 90%) das sementes de capim-sabiá. Verifica-se interação entre ciclos e profundidade de instalação dos gotejadores em todas as características avaliadas. No geral, verificou-se maiores valores no primeiro ciclo de cultivo, ou seja, a germinação do capim-sabiá no primeiro ciclo foi mais lenta que nos demais ciclos. Possivelmente, essa diferença pode ser atribuída à temperatura do ar, pois durante o ciclo 1 a temperatura máxima ultrapassou a 25° C em todos os dias, o que pode ter prejudicado a germinação. Chiodini e Silva (2013) avaliando o impacto da temperatura do ar na germinação do capim-marandu, que é da mesma espécie do capim-sabiá, verificaram melhores desempenhos quando a temperatura do ar foi inferior a 25 °C. Outras pesquisas também mostram a influência da temperatura na germinação (PRUDENTE; PAIVA, 2017; SELEMANI, 2022; SIMPSON *et al.*, 2023).

Tabela 3 - Quadrados médios, significância do teste F (ANOVA) e valores médios de germinação final (GF) e tempos necessários para germinação de 10, 50 e 90% (T10, 50 e 90%) das sementes em distintos ciclos de germinação do capim-sabiá irrigado com gotejadores instalados em diferentes profundidades.

Variável	Quadrados médios			CV (%)	Prof. (cm)	Ciclos		
	Ciclo	Prof.	C x P			1	2	3
T10 (dias)	1,42E+1**	1,26E+0**	1,22E+0**	5,89	0	5,979 b	6,634 a	5,760 b
					5	6,119 ab	6,321 a	5,639 b
					10	6,841 a	6,515 a	5,835 b
					15	7,280 a	6,788 a	5,675 b
					20	8,435 a	6,617 b	5,987 b

				25	7,813 a	6,383 b	5,429 c	
				30	7,606 a	5,873 b	5,777 b	
T50 (dias)	6,38E+0**	1,50E+0**	1,70E+0**	5,03	0	7,58 b	8,84 a	8,18 ab
					5	8,62 a	8,47 ab	7,85 b
					10	8,70 a	8,73 a	7,86 b
					15	9,11 a	8,71 ab	8,12 b
					20	10,19 a	8,72 b	8,66 b
					25	10,02 a	8,05 b	8,48 b
					30	10,06 a	7,81 c	8,76 b
T90 (dias)	1,41E+1**	3,40E+0**	3,10E+0**	4,95	0	10,32 b	11,78 a	10,65 b
					5	11,13 b	10,03 c	12,70 a
					10	12,56 a	9,80 b	12,02 a
					15	12,69 a	11,59 b	12,40 ab
					20	13,48 a	11,54 b	12,22 b
					25	12,43 a	10,40 b	11,50 a
					30	13,13 a	10,97 b	11,45 b
GF (%)	3,04E+3**	7,90E+2**	1,23E+2**	9,64	0	68,47 a	58,06 b	69,48 a
					5	71,34 a	48,56 c	60,02 b
					10	53,59 a	40,97 b	54,38 a
					15	61,58 a	45,00 b	55,32 a
					20	49,37 a	27,68 b	47,84 a
					25	58,07 a	34,09 b	64,25 a
					30	45,88 b	29,92 c	61,35 a

Prof.: Profundidades de instalação dos gotejadores; C x P: interação entre ciclos do capim-sabiá e profundidades dos gotejadores; * e **: significância a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ns: não significativo; médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,01$).

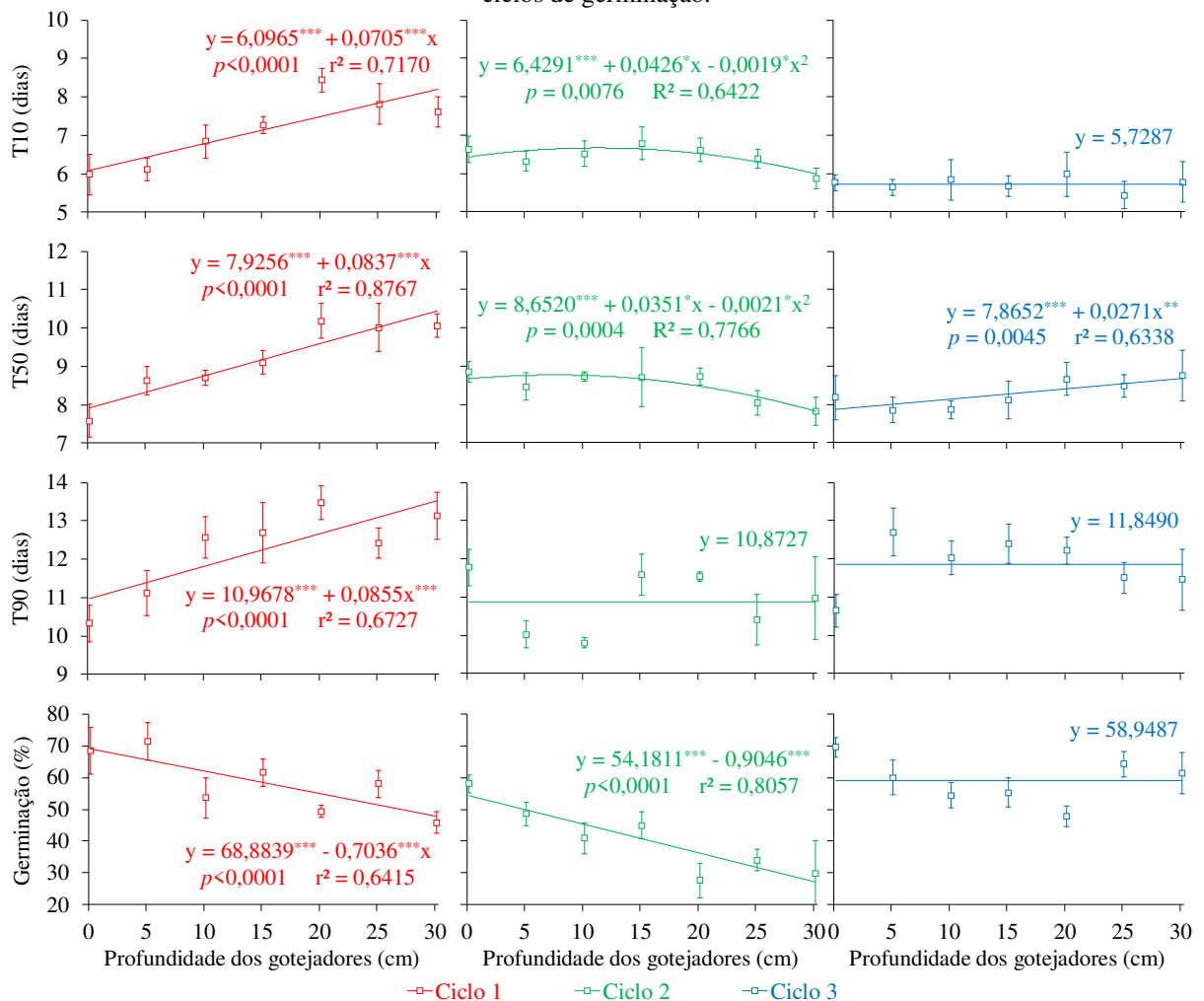
Fonte: Rocha (2024).

A germinação mais lenta no ciclo 1 pode ter sido influenciada também pela evaporação da superfície do solo, que foi mais elevada nesse ciclo em comparação com os demais, como mostrado na Figura 2. Valores elevados de evaporação indicam um fluxo maior de água do solo para a atmosfera (AHMADI; JAVANBAKHT, 2020), resultando em redução da disponibilidade de água do solo. Em contrapartida, valores baixos de evaporação indicam maior umidade no solo, menor déficit hídrico e, conseqüentemente, maior probabilidade de germinação (BARBIERI *et al.*, 2020; SINGH *et al.*, 2022). Também é oportuno ressaltar que em situação de menor disponibilidade de água no solo, menor é a evaporação e menor é a conversão de calor sensível em calor latente, resultando no aumento da temperatura do solo (NIÑO *et al.*, 2020), sendo prejudicial à germinação. Em síntese, a evaporação exerce uma influência indireta na germinação do capim-sabiá, impactando a disponibilidade de umidade no solo e as condições de estresse hídrico.

Na Figura 3 estão apresentadas as variáveis GF, T10, T50 e T90 em função das profundidades de instalação dos gotejadores. Verifica-se no geral que o aumento de profundidade de instalação dos gotejadores prejudicou a germinação do capim-sabiá. No ciclo

1, a germinação final foi reduzida e os tempos para germinação de 10, 50 e 90% das sementes foram aumentadas em função do aumento da profundidade de instalação dos gotejadores. Isso sugere que houve menor disponibilidade hídrica devido a menor ascensão da água de irrigação no solo. As diferenças observadas entre os ciclos, podem estar relacionadas com a temperatura do ambiente no ciclo 1, em que foram observados valores maiores que 25 °C (Figura 2). A diminuição da disponibilidade hídrica provoca uma redução na embebição de água pelas sementes, o que pode inviabilizar a sequência de eventos do processo germinativo, reduzindo assim a porcentagem de germinação. Plantas submetidas à restrição de água podem apresentar diferentes modelos de percepção a esse estresse, que podem ser definidos pelo traço de tolerância ao déficit hídrico característico de cada espécie (FENG *et al.*, 2016). As respostas das células ao déficit hídrico incluem alterações na divisão e no ciclo celular, modificações no sistema de endomembranas, bem como alterações na arquitetura da parede celular (ALMEIDA *et al.*, 2017; DI MARZO *et al.*, 2022).

Figura 3 - Germinação final (GF) e tempos necessários para germinação de 10, 50 e 90% (T10, 50 e 90%) do capim-sabiá em função da irrigação com gotejadores instalados em diferentes profundidades e em distintos ciclos de germinação.



*, **, *** = significativo a 5%, 1% e 0,1% de probabilidade, respectivamente.
Fonte: Rocha (2024).

Verificou-se também no ciclo 2 que as profundidades dos gotejadores conferiram efeito quadrático nas variáveis T10 e T50 (Figura 3). De acordo com a equação de regressão, a profundidade do gotejador que maximizou o T10 foi de 11,2 cm resultando no valor de 6,7 dias. A profundidade do gotejador que maximizou o T50 foi de 7,5 cm resultando no valor máximo de 8,8 dias. Esses resultados corroboram com a literatura (VIRK *et al.*, 2021) que relataram que gotejadores instalados na superfície acumulam água na camada inicial do solo, levando a uma distribuição desigual da umidade e problemas na germinação. Por outro lado, se os gotejadores forem instalados mais profundos, a água não chega à zona da semente, proporcionando umidade insuficiente para a germinação. Dessa forma, a profundidade ideal dos gotejadores é aquela que garantirá uma distribuição uniforme da umidade do solo (WANG *et al.*, 2021), promovendo uma germinação consistente e oportuna em toda a área semeada.

Na Tabela 4 estão apresentados os resumos das análises de variância (ANOVA) para as variáveis índice de velocidade de germinação (IVG), tempo médio de germinação (TMG), taxa média de germinação (TaMG) e uniformidade de germinação (UnifG) das sementes de capim-sabiá. Verificou-se interação entre ciclos e profundidade de instalação dos gotejadores em todas as características avaliadas. No geral, os valores de IVG, TaMG e UnifG foram maiores no ciclo 3 e TMG no ciclo 1.

Tabela 4 - Quadrados médios, significância do teste F (ANOVA) e valores médios de índice de velocidade de germinação (IVG), tempo médio de germinação (TMG), taxa média de germinação (TaMG) e uniformidade de germinação (UnifG) das sementes em distintos ciclos de germinação do capim-sabiá irrigado com gotejadores instalados em diferentes profundidades.

Variável	Quadrados médios			CV (%)	Prof. (cm)	Ciclos		
	Ciclo	Prof.	C x P			1	2	3
IVG	3,68E+2**	9,04E+1**	4,53E+1**	8,76	0	8,35 c	16,58 b	23,59 a
					5	23,62 a	17,85 c	20,46 b
					10	15,89 b	15,17 b	18,89 a
					15	18,07 a	12,92 b	18,73 a
					20	9,74 b	8,60 b	16,29 a
					25	13,46 b	11,06 c	21,76 a
					30	10,78 b	11,57 b	20,74 a
TMG (dias)	6,51E+0*	1,48E+0**	1,31E+0*	4,90	0	8,29 b	9,52 a	8,74 b
					5	9,07 a	8,43 a	8,95 a
					10	9,54 a	8,41 b	8,54 b
					15	9,87 a	9,65 a	8,85 b
					20	10,45 a	9,42 b	9,11 b
					25	10,41 a	8,79 b	8,89 b
					30	10,58 a	8,65 b	8,92 b
MG ()	58 E +0	55 E +0	04 E +0	5,44	0	12,19 a	10,53 b	11,49 a

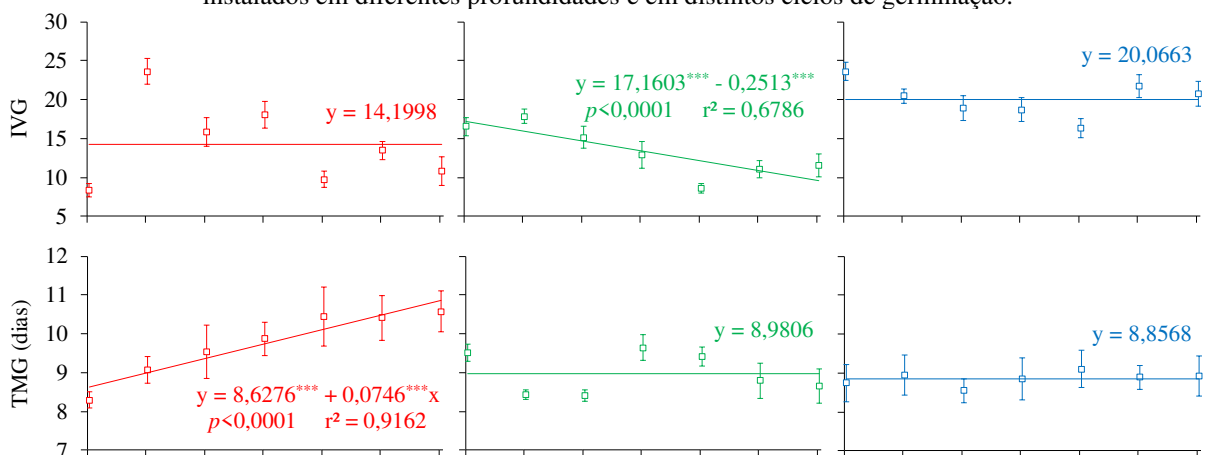
					5	11,06 a	11,88 a	11,23 a
					10	10,64 b	11,89 a	11,71 a
					15	10,24 b	10,41 b	11,37 a
					20	8,97 b	10,63 a	11,07 a
					25	9,66 b	11,42 a	11,26 a
					30	9,47 b	11,60 a	11,27 a
UnifG	2,03E+1*	1,01E+0**	2,02E+0**	7,32	0	4,343 b	5,149 a	4,887 ab
					5	5,006 b	3,704 c	7,065 a
					10	5,783 a	3,288 b	6,189 a
					15	5,415 b	4,801 b	6,721 a
					20	5,172 b	4,921 b	6,228 a
					25	4,871 b	4,018 c	6,074 a
					30	5,327 a	5,097 a	5,678 a

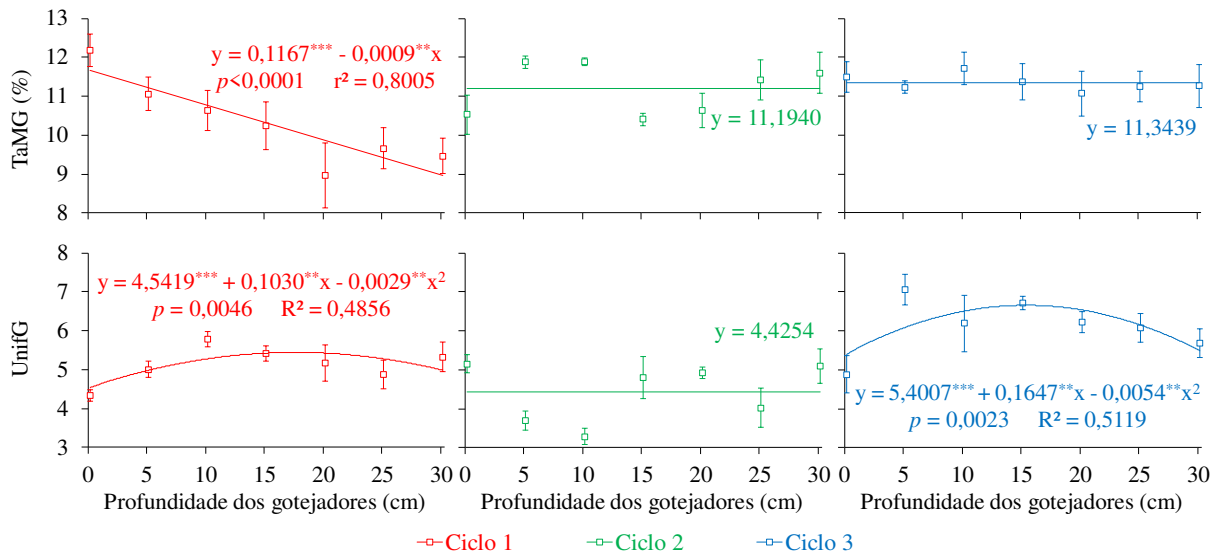
Prof.: Profundidades de instalação dos gotejadores; C x P: interação entre ciclos do capim-sabiá e profundidades dos gotejadores; * e **: significância a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ns: não significativo; médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,01$).

Fonte: Rocha (2024).

Verifica-se na Figura 4 que o IVG foi afetado pela profundidade de instalação dos gotejadores apenas no ciclo 2, sofrendo efeito linear negativo, ou seja, o aumento da profundidade dos gotejadores proporcionou redução no IVG. No ciclo 1, o aumento da profundidade dos gotejadores aumentou o TMG e reduziu a TaMG. Esses resultados corroboram com Felix *et al.* (2018), que avaliaram sementes de *Leucaena leucocephala* submetidas ao déficit hídrico. Esses autores verificaram que tanto a velocidade quanto a porcentagem de germinação das sementes sofreram reduções em seus valores quando foram submetidas a menores potenciais hídricos. Verifica-se também no ciclo 1 que o aumento da profundidade dos gotejadores proporcionou efeito quadrático na UnifG (Figura 4). De acordo com a equação de regressão, a profundidade do gotejador que maximizou a UnifG foi de 17,5 cm resultando no valor de 5,4.

Figura 4 - Velocidade de germinação (IVG), tempo médio de germinação (TMG), taxa média de germinação (TaMG) e uniformidade de germinação (UnifG) do capim-sabiá em função da irrigação com gotejadores instalados em diferentes profundidades e em distintos ciclos de irrigação.





*, **, *** = significativo a 5%, 1% e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Fonte: Rocha (2024).

No ciclo 3 a profundidade de instalação dos gotejadores influenciou apenas a UnifG, sendo o efeito quadrático. De acordo com a equação de regressão, a profundidade do gotejador que maximizou a UnifG foi de 15,3 cm resultando no valor de 6,7. Isso sugere que profundidades de instalação dos gotejadores de até 15-20 cm pode ser utilizada para formação de pastagem com capim-sabiá para o solo utilizado no estudo, de textura argilosa. A rápida estabilização das sementes germinadas e a maior velocidade na germinação é uma característica benéfica. Essas características contribuem para a redução da exposição das sementes à fatores bióticos e abióticos que possam comprometer a sua germinação. Assim, as profundidades de instalação dos gotejadores variando entre 15-20 cm foram aquelas que destacaram e consideradas ótimas para a germinação do capim-sabiá para este item no presente estudo.

Na Tabela 5 estão apresentados os resumos das análises de variância (ANOVA) para as variáveis comprimento de raiz (CR), comprimento da parte aérea (CPA) e massas fresca (MFP) e seca (MSP) das plântulas de capim-sabiá. Verificou-se interação entre ciclos e profundidade de instalação dos gotejadores em todas as características avaliadas. No geral, os valores de CR foram maiores no ciclo 1 e CPA, MFP e MSP foram maiores no ciclo 2.

Tabela 5 - Quadrados médios, significância do teste F (ANOVA) e valores médios de comprimento de raiz (CR), comprimento da parte aérea (CPA) e massas fresca (MFP) e seca (MSP) das plântulas de capim-sabiá irrigado com gotejadores instalados em diferentes profundidades durante três ciclos de cultivo.

Variável	Quadrados médios			CV (%)	Prof. (cm)	Ciclos		
	Ciclo	Prof.	C x P			1	2	3
CR (cm)	0	0		13,38	0	3,699 a	3,215 ab	2,630 b
	1,67E+0**	1,62E+0**	8,87E-1**		5	4,208 a	3,443 b	2,960 b
					10	3,313 a	3,055 a	3,225 a
					15	3,421 a	2,174 b	2,738 b

				20	2,887	a	2,488	ab	2,168	b	
				25	2,828	a	2,777	a	2,849	a	
				30	2,209	b	2,172	b	3,446	a	
CPA (cm)	8,96E-2 ^{ns}	4,66E+0 ^{**}	5,90E+0 ^{**}	12,95	0	8,458	a	4,962	b	5,670	b
					5	6,203	a	6,442	a	5,775	a
					10	7,807	a	5,663	b	5,863	b
					15	5,846	a	5,944	a	5,525	a
					20	3,708	b	5,387	a	5,429	a
					25	4,776	b	6,267	a	5,772	ab
					30	3,293	b	6,012	a	5,887	a
MFP (mg pl ⁻¹)	1,43E+4 ^{**}	1,51E+3 [*]	1,16E+3 ^{**}	11,82	0	129,7	a	143,9	a	130,2	a
					5	96,3	c	156,4	a	126,0	b
					10	96,0	b	122,7	ab	141,6	a
					15	121,1	a	143,6	a	137,1	a
					20	91,2	a	113,5	a	111,4	a
					25	56,4	b	135,5	a	137,6	a
					30	79,3	c	153,2	a	124,0	b
MSP (mg pl ⁻¹)	1,72E+2 [*]	9,39E+1 ^{**}	2,51E+1 ^{**}	11,23	0	23,21	b	28,48	a	26,75	ab
					5	20,08	b	30,35	a	21,42	b
					10	18,22	a	21,31	a	21,14	a
					15	21,36	a	22,47	a	22,34	a
					20	20,97	a	20,76	a	17,34	a
					25	13,73	b	21,65	a	21,95	a
					30	14,95	b	22,16	a	18,65	ab

Prof.: Profundidades de instalação dos gotejadores; C x P: interação entre ciclos do capim-sabiá e profundidades dos gotejadores; * e **: significância a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ^{ns}: não significativo; médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,01).

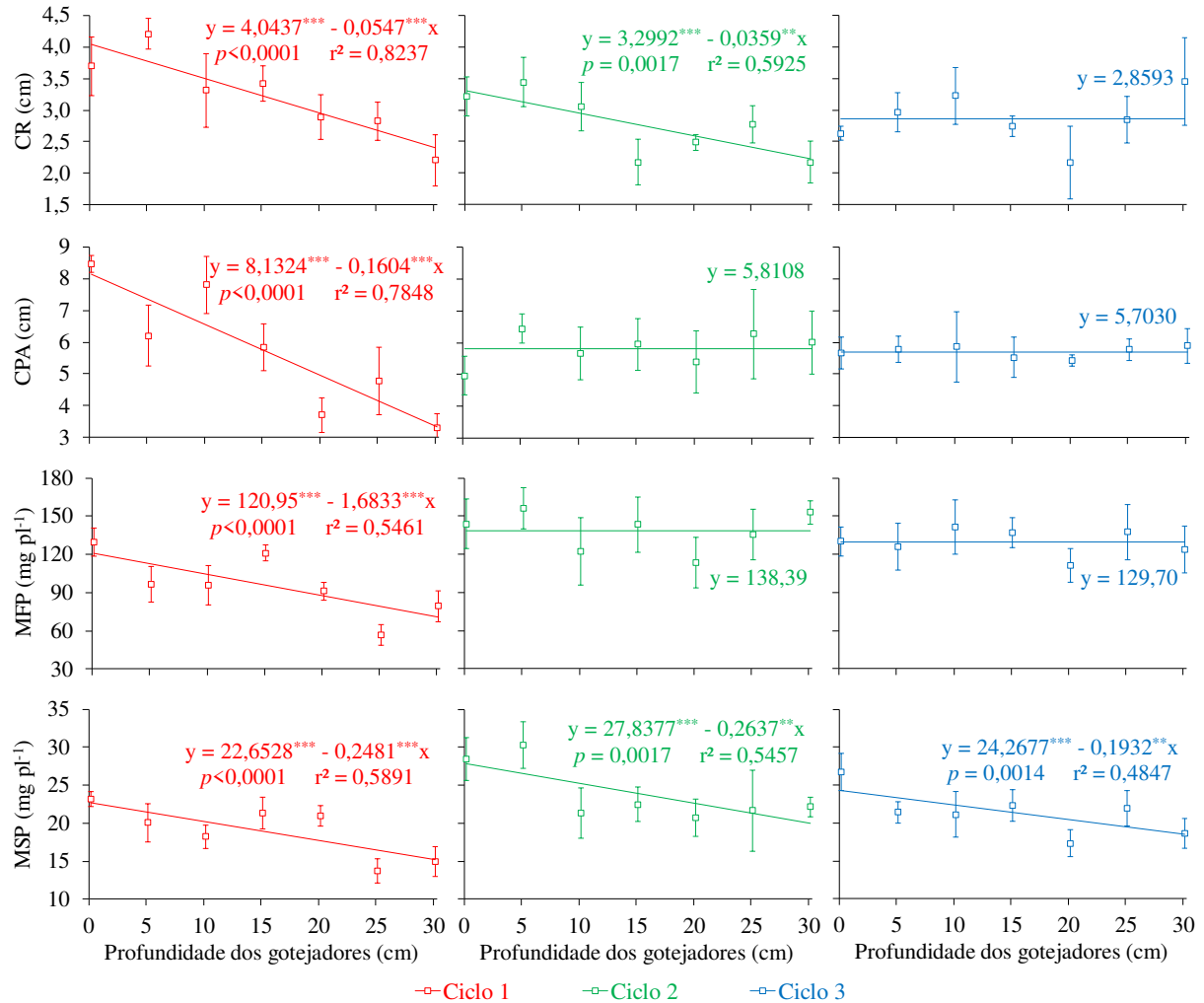
Fonte: Rocha (2024).

Os melhores desempenhos das plântulas do capim-sabiá no ciclo 2 também podem ser atribuídos a maior radiação solar nesse período (Figura 1). A radiação solar influencia diretamente na taxa de produção de biomassa das plântulas de *Urochloa* (YE *et al.*, 2020). Níveis mais elevados de radiação solar proporcionam uma maior quantidade de energia para a fotossíntese (SLOT; WINTER, 2017), resultando em um aumento na produção de matéria orgânica e no acúmulo de biomassa (YE *et al.*, 2020). A intensificação da radiação solar também favorece o desenvolvimento de copas foliares maiores e mais expansivas (DURAND *et al.*, 2021), contribuindo para taxas superiores de acúmulo de biomassa (LIU *et al.*, 2020). A presença adequada de luz solar facilita ainda a regulação eficiente da perda de água por meio da transpiração, graças à abertura e fechamento estomáticos ideais (RICHARDSON *et al.*, 2017). Isso permite que as plantas ajustem suas necessidades hídricas de maneira eficaz, maximizando simultaneamente as taxas fotossintéticas, otimizando a eficiência no uso da água (DRIESEN *et al.*, 2020).

No ciclo 1, verifica-se na Figura 5 que o aumento da profundidade de instalação dos gotejadores proporcionou redução linear em todas as características avaliadas. No ciclo 2

apenas CR e MSP foram reduzidas com o aumento da profundidade dos gotejadores. No ciclo 3 apenas MSP foi reduzida com o aumento da profundidade dos gotejadores. Os resultados sugerem que a ascensão da água no solo foi prejudicada conforme aumentou a profundidade de instalação dos gotejadores, como relatado anteriormente.

Figura 5 - Comprimento de raiz (CR), comprimento da parte aérea (CPA) e massas fresca (MFP) e seca (MSP) das plântulas de capim-sabiá em função da irrigação com gotejadores instalados em diferentes profundidades e em distintos ciclos de cultivo.



*, **, *** = significativo a 5%, 1% e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Fonte: Rocha (2024).

Gotejadores instalados em menor profundidade também podem estimular o crescimento das raízes mais superficialmente (SIERRA *et al.*, 2021), onde a água e os nutrientes estão mais prontamente disponíveis. Isso pode promover o rápido desenvolvimento das raízes e o estabelecimento das plântulas, promovendo uma germinação mais rápida e um crescimento precoce. Quando instalados mais profundamente, os gotejadores estimulam um aprofundamento das raízes (SIERRA *et al.*, 2021), o que pode beneficiar as plantas já estabelecidas, mas pode atrasar o crescimento inicial. Entretanto, foi observado neste estudo o

efeito contrário, quanto mais profundos os gotejadores, menor o comprimento das raízes, o que pode ter ocorrido por conta do estresse hídrico sofrido pelas plântulas, prejudicando seu crescimento.

Por meio dos resultados obtidos neste estudo, é possível identificar um melhor desempenho germinativo do capim-sabiá, com base nas respostas relacionadas às características de germinação e de vigor da espécie expostas às condições de estresse hídrico e térmico. Assim, como para algumas variáveis a melhor profundidade de instalação dos gotejadores foi entre 15 e 20 cm, com contribuição para a redução da evaporação da água no solo e melhor operacionalidade em comparação com o emissor instalado superficialmente, recomenda-se essa profundidade de instalação dos gotejadores em sistemas de irrigação por gotejamento subsuperficial para solos de textura argilosa, como o utilizado neste estudo.

11. CONCLUSÕES

A germinação das sementes, assim como os parâmetros relacionados a velocidade de germinação de capim-sabiá foram negativamente afetados pelo aumento da profundidade de instalação dos gotejadores. Com a diminuição da umidade do solo e, por consequência, o aumento da temperatura, houve uma redução do desempenho das sementes de capim-sabiá.

Recomenda-se instalar gotejadores a uma profundidade de 15-20 cm em sistemas de irrigação por gotejamento subsuperficial em solos com características iguais ou próximas do solo estudado neste experimento.

12. CAPÍTULO 3 - Desempenho do capim-sabiá irrigado com gotejamento subsuperficial

RESUMO

A irrigação subsuperficial possui maior eficiência de irrigação e minimiza o umedecimento superficial do solo, reduzindo as perdas de água por evaporação. Entretanto, o capim-sabiá pode apresentar diferentes desempenhos quando irrigado por sistema subsuperficial. Assim, objetivou-se avaliar o desempenho do capim-sabiá irrigado com gotejadores instalados em diferentes profundidades, em distintas épocas climáticas. O experimento foi realizado no período de janeiro a julho de 2022 e conduzido em condições de céu aberto em Viçosa-MG. O experimento foi montado no delineamento experimental inteiramente casualizado, em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas consistiram de quatro ciclos de capim-sabiá e as subparcelas foram constituídas de sete profundidades de instalação dos gotejadores (superficial, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 cm). O capim-sabiá foi cultivado em vasos e as recomendações das irrigações foram via evapotranspiração da cultura (ET_c), medida em dois lisímetros de drenagem. Foram avaliados o consumo hídrico e as características morfogênicas e agronômicas do capim-sabiá. Os consumos hídricos totais do capim-sabiá nos ciclos 1, 2, 3 e 4 foram de 42,4; 26,7; 14,9 e 11,5 L vaso⁻¹, respectivamente. O capim apresentou redução em seu crescimento, desenvolvimento e produtividade do ciclo 1 (verão) até o ciclo 4 (inverno). As características morfogênicas foram pouco afetadas pelas diferentes profundidades de instalação dos gotejadores. O capim-sabiá apresentou menores massas frescas e secas da parte aérea e produtividade do uso da água nas maiores profundidades dos gotejadores. O capim apresentou maior desenvolvimento do sistema radicular quando o gotejador foi instalado entre 10 e 15 cm de profundidade. O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) demonstrou ser uma ferramenta promissora para a estimativa da produção de biomassa do capim-sabiá. Diante dos resultados, recomenda-se instalar as fitas gotejadoras entre 10 e 20 cm de profundidade para cultivo do capim-sabiá em solo argiloso.

PALAVRAS-CHAVE: *Urochloa* híbrida cv. Sabiá, irrigação subsuperficial, morfogênese, estacionalidade, pastagem irrigada.

ABSTRACT

Subsurface irrigation has greater irrigation efficiency and minimizes surface wetting of the soil, reducing water losses through evaporation. However, sabiágrass can present different performances when irrigated by a subsurface system. Thus, the objective was to evaluate the performance of sabiá-grass irrigated with drippers installed at different depths, in different

climatic seasons. The experiment was carried out from January to July 2022 and conducted under open sky conditions in Viçosa-MG. The experiment was set up in a completely randomized experimental design, in split plots, with four replications. The plots consisted of four cycles of sabiá-grass and the subplots consisted of seven dripper installation depths (surface, 5, 10, 15, 20, 25 and 30 cm). Sabiá-grass was grown in pots and irrigation recommendations were via crop evapotranspiration (ETc), measured in two drainage lysimeters. The water consumption and morphogenic and agronomic characteristics of sabiágrass were evaluated. The total water consumption of sabiágrass in cycles 1, 2, 3 and 4 was 42.4; 26.7; 14.9 and 11.5 L vessel⁻¹, respectively. The grass showed a reduction in its growth, development and productivity from cycle 1 (summer) to cycle 4 (winter). The morphogenic characteristics were little affected by the different installation depths of the drippers. Sabiá-grass presented lower fresh and dry masses of the aerial part and water use productivity at greater depths of the drippers. The grass showed greater root system development when the dripper was installed between 10 and 15 cm deep. The normalized difference vegetation index (NDVI) demonstrated to be a promising tool for estimating the biomass production of sabiá-grass. Given the results, it is recommended to install drip tapes between 10 and 20 cm deep for growing sabiá-grass in clayey soil.

KEYWORDS: *Urochloa* hybrid cv. Sabia. Subsurface Irrigation. Morphogenesis. Seasonality. Irrigated pasture.

13. INTRODUÇÃO

A pecuária desempenha um papel significativo na economia brasileira, sendo o Brasil o quarto maior produtor de leite (ANDRETTA et al., 2023) e o maior exportador de carne bovina (SCHWERTNER et al., 2022) do mundo. A produção animal, abrangendo carne e leite, é essencial tanto para a segurança alimentar interna quanto para o comércio internacional (ANDRETTA et al., 2023; POMPEU et al., 2021).

O manejo do gado brasileiro frequentemente envolve a alimentação à base de pastagens, com a escolha das espécies forrageiras influenciada por fatores como clima, tipo de solo e requisitos nutricionais do gado (BRUNETTI et al., 2020; MARÍN et al., 2023; SILVA NETO et al., 2019). As pastagens brasileiras, predominantemente, são compostas por gramíneas do gênero *Urochloa*, devido à sua adaptação às condições edafoclimáticas do país (CARDOSO et al., 2020). Dentre as variedades introduzidas recentemente nas pastagens brasileiras, destaca-se a *Urochloa* híbrida cv. Sabiá, reconhecida por seu potencial para promover maior acúmulo de forragem e desenvolvimento foliar.

A sazonalidade da produção de pastagens no Brasil, variando conforme a região e o clima, impacta diretamente o crescimento das mesmas. O clima tropical do país, caracterizado por períodos chuvosos durante a primavera e o verão, seguidos por outonos e invernos mais secos, influencia os padrões de crescimento das pastagens (BRUNETTI et al., 2020; AMORIM; DUBREUIL, 2017). Irregularidades no regime pluvial, incluindo períodos de déficit hídrico, mesmo durante estações chuvosas, limitam o desenvolvimento de plantas forrageiras. As pastagens também são particularmente vulneráveis a mudanças adversas na temperatura e na precipitação (EMADODIN et al., 2021). Além disso, a evapotranspiração da pastagem geralmente excede a precipitação pluvial, sendo assim, a distribuição de água em pastagens por meio de irrigação pode assegurar melhores índices de produtividade e de rentabilidade (CUNHA et al., 2007).

A irrigação é uma estratégia para enfrentar os desafios da sazonalidade, principalmente em épocas de mudanças climáticas. A irrigação, ao fornecer água adicional durante períodos secos, pode prolongar o período de cultivo, aumentar a produção de forragem e melhorar sua qualidade (ALLEN; MACADAM, 2020; JESUS et al., 2021). Diferentes sistemas de irrigação, como aspersão, gotejamento superficial ou subsuperficial, pivô central e irrigação por superfície, podem ser empregados em pastagens, sendo a escolha dependente de fatores como tamanho da área, tipo de solo e disponibilidade de água (ALLEN; MACADAM, 2020).

A irrigação subsuperficial é um sistema relativamente recente e apresenta diversas vantagens. Uma delas seria a maior eficiência de uso da água (ALLEN; MACADAM, 2020), uma vez que os gotejadores apresentam melhor distribuição de água. Isso resulta em maior eficiência de irrigação e, conseqüente, redução da lâmina de água a ser aplicada. Além disso, a aplicação de água em profundidade, abaixo da superfície do solo, minimiza as perdas por evaporação do solo no início do ciclo de cultivo. Em pastagens, essa característica de evitar o umedecimento superficial é benéfica, contribuindo para a redução da compactação do solo causada pelo pisoteio dos animais (FERREIRA et al., 2020). Adicionalmente, as tubulações enterradas ficam protegidas contra pisoteios e não há necessidade de redução da área útil.

No entanto, lacunas de conhecimento, como a profundidade ideal de instalação dos gotejadores, persistem. Torna-se crucial que pesquisas sejam realizadas para que avaliem as condições locais e conduzam testes para determinar a profundidade mais adequada (KARIMI et al., 2020). Essas pesquisas oferecerão percepções valiosas para aprimorar o desempenho sustentável da irrigação subsuperficial de pastagens, contribuindo, assim, para uma gestão mais eficaz dos recursos hídricos e um manejo agrônômico otimizado.

As plantas sendo irrigadas em diferentes profundidades, podem desenvolver adaptações para acessar a água e melhorar o seu funcionamento, especialmente em termos de transpiração (SANTOS et al., 2022). Portanto, o conhecimento básico sobre as respostas ecofisiológicas e a morfogênese de gramíneas forrageiras tropicais nessas condições é importante, pois pode auxiliar no manejo adequado dessas espécies.

Diante do exposto, a hipótese desse estudo é que o capim-sabiá pode apresentar diferentes desempenhos quando irrigado por gotejadores instalados em diferentes profundidades. Além disso, o posicionamento desses gotejadores pode provocar efeitos distintos em diferentes estações do ano, ocasionando modificações em suas características produtivas, morfológicas e estruturais para melhor se adaptar. Portanto, este estudo se propôs a avaliar o potencial produtivo, as características estruturais e as características agronômicas do capim-sabiá cultivado em diferentes épocas climáticas e irrigado por sistema subsuperficial com gotejadores instalados em diferentes profundidades.

14. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Laboratório de Hidráulica pertencente ao Centro de Referência em Recursos Hídricos (CRRH) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais. O clima da região é do tipo Aw, caracterizado por verão quente e chuvoso e inverno frio e seco (ALVARES et al., 2013). O índice pluviométrico anual é de 1.345 mm, sendo o mês de dezembro o mais chuvoso e o mês de julho o menos chuvoso.

Para condução do experimento, foram instalados 30 vasos de dimensões de 40 cm de diâmetro, 55 cm de altura e 70 litros de volume. Os vasos foram preenchidos com solo coletado em um barranco no campus da UFV. As características físico-hídricas e químicas do solo estão apresentadas na Tabela 1. Com base nos resultados da análise do solo e nas exigências da cultura, foi realizada a correção da fertilidade no momento da implantação do experimento, seguindo as recomendações de Alvarez et al. (1999). Os fertilizantes utilizados para a adubação foram: ureia (3,25 g de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ por vaso), superfosfato triplo (2,32 g de P_2O_5 por vaso) e cloreto de potássio (1,12 g de KCl por vaso). As aplicações desses fertilizantes ocorreram antes da semeadura e no mesmo dia dos respectivos cortes, sem a necessidade de correção da acidez do solo.

Tabela 1 - Caracterização físico-hídrica e química do solo utilizado para o preenchimento dos vasos.

Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	CC	PM	Classificação textural
----- kg kg ⁻¹ -----						

0,307	0,137	0,128	0,428	0,247	0,137	Argila

pH H ₂ O	pH KCl	P -----	K ⁺ mg dm ⁻³	Na ⁺ -----	Ca ²⁺ -----	Mg ²⁺ cmol _c dm ⁻³	Al ³⁺ -----	H+Al -----	
6,30	5,69	117,3	46,0	6,60	5,68	0,55	0,00	1,90	
SB -----	t cmol _c dm ⁻³	T -----	V -----	m %	ISNa -----	MO dag kg ⁻¹	N-total -----	P-Rem mg L ⁻¹	
6,38	6,38	8,28	77,1	0,00	0,35	2,96	0,115	37,0	
S -----	B -----	Cu -----	Mn -----	Fe -----	Zn mg dm ⁻³	Cr -----	Ni -----	Cd -----	Pb -----
1,90	0,26	2,54	40,5	54,1	12,93	0,00	0,78	0,42	1,26

CC = capacidade de campo; PM = ponto de murcha permanente; P, Na, K, Fe, Zn, Mn, Cu, Cd, Pb, Ni e Cr - extrator Mehlich-1; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ - extrator KCl - 1 mol L⁻¹; H + Al - extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0; SB = soma de bases trocáveis; t = capacidade de troca catiônica efetiva; T = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V = índice de saturação por bases; m = índice de saturação por alumínio; ISNa = índice de saturação por sódio; MO (matéria orgânica) = C.Org x 1,724 - Walkley-Black; P-rem = fósforo remanescente; N total - digestão sulfúrica e destilação Kjeldhal; S - extrator por fosfato monocálcico em ácido acético; B - extrator água quente.

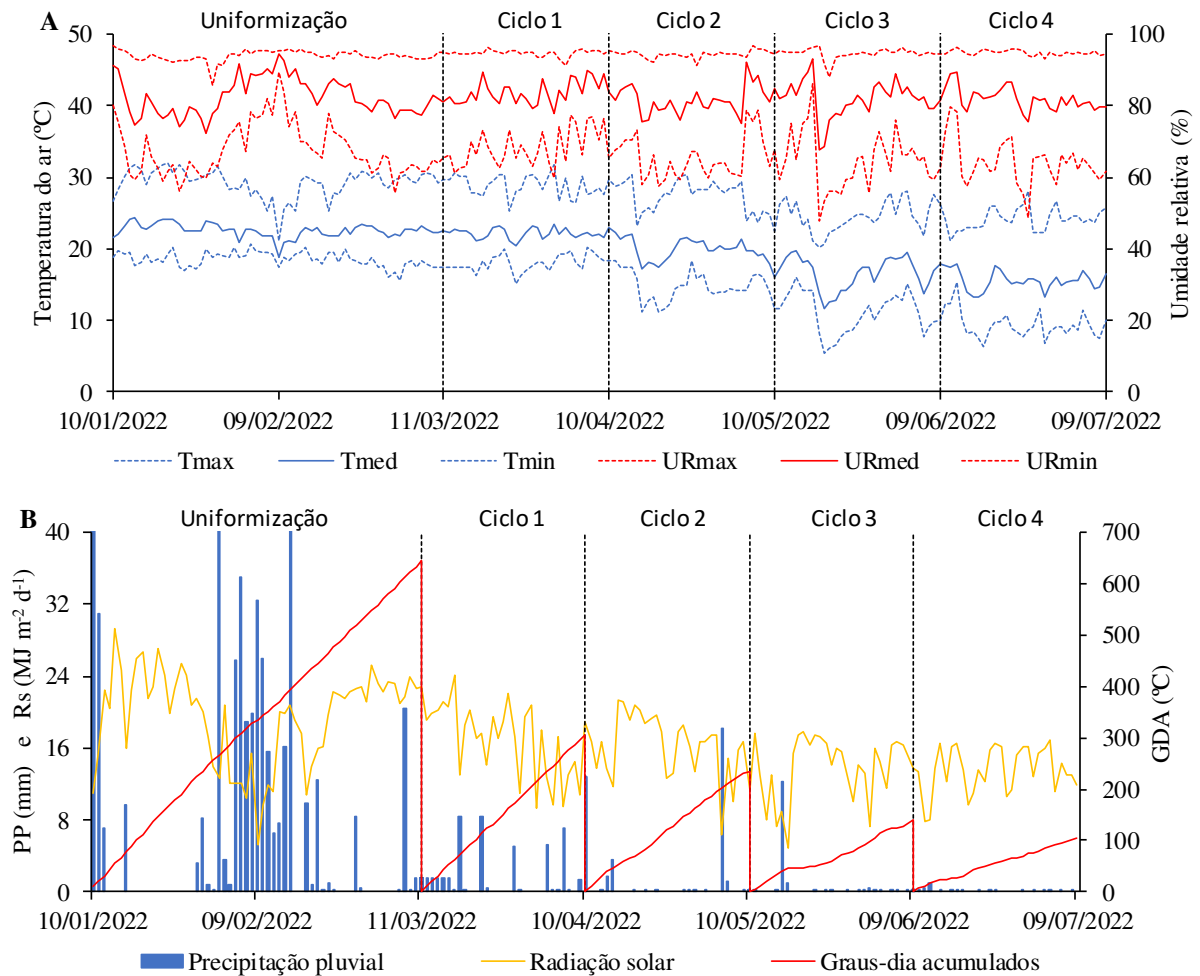
Fonte: Rocha (2024).

A forrageira utilizada no estudo foi o capim-sabiá (*Urochloa* híbrida cv. Sabiá). As sementes, provenientes da Barenbug, possuíam pureza mínima de 95% e foram tratadas com fungicida e inseticida. Para a semeadura, um sulco circular de 10 cm de raio e 2 cm de profundidade foi aberto em cada vaso, e 20 sementes foram distribuídas de maneira uniforme ao longo do sulco. O período experimental decorreu de 10/01/2022 a 09/07/2022, com ciclos de avaliação realizados de março a julho de 2022. Cinco cortes foram efetuados: o primeiro, de uniformização, ocorreu 60 dias após a semeadura, e os subsequentes tiveram intervalos de 30 dias após o corte inicial, mantendo-se um resíduo de 10 cm na superfície do solo. As datas dos cortes foram as seguintes: 11/03/2022, 10/04/2022, 10/05/2022, 09/06/2022 e 09/07/2022. Estas datas seguiram a recomendação da fornecedora de sementes, que preconiza ciclo do capim de 30 dias.

O ciclo de uniformização foi realizado com o objetivo de estabelecer uma padronização na forrageira durante o primeiro ciclo. Isso foi feito para assegurar condições iniciais consistentes e minimizar possíveis variabilidades que poderiam interferir nos resultados. Ao interromper o crescimento livre e desordenado das plantas, comum em plantas forrageiras (BAUNGRATZ et al., 2024; GOMIDE; GOMIDE, 2000), cria-se um ponto de partida homogêneo.

Os dados climáticos ocorridos durante o período experimental estão apresentados na Figura 1.

Figura 1 - (A) Temperaturas do ar máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin), umidades relativas máxima (URmax), média (URmed) e mínima (URmin), (B) precipitação pluvial (PP), radiação solar (Rs) e graus-dia acumulados (GDA) durante o período experimental.



Fonte: Rocha (2024).

Na literatura, não há referências disponíveis para os valores de temperaturas basais inferior e superior específicos para o capim-sabiá. Portanto, para calcular os valores de graus-dia acumulados (GDA), foram adotados dados do capim-marandu, uma cultivar semelhante ao capim-sabiá. Dessa forma, as temperaturas basais inferior e superior consideradas foram de 12°C e 35°C, respectivamente (BRUNETTI et al., 2020; SOUSA et al., 2022; SOUZA et al., 2021).

O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições. O arranjo experimental foi em parcelas subdivididas, tendo os ciclos de cultivo na parcela e profundidades de instalação de gotejadores nas subparcelas. O ciclo de uniformização não foi incluído na análise, ficando os quatro ciclos restantes nas parcelas. As subparcelas foram constituídas de sete profundidades de instalação da fita gotejadora (superficial, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 cm), resultando em 28 unidades experimentais.

Os vasos foram perfurados na altura correspondente a cada profundidade de interesse e foi instalado apenas um gotejador, inserindo-o no ponto central considerando o sentido horizontal. Os gotejadores utilizados foram do modelo Amnondrip e fabricante NaanDanJain. Eles operaram com pressão de 10 mca e vazão de 1,6 L h⁻¹.

Para evitar grandes variações no armazenamento de água no solo e mantê-lo com umidade próxima à capacidade de campo, o capim-sabiá era irrigado com turno de rega de dois dias. O manejo da irrigação foi conduzido por meio de dois vasos com solo designados como lisímetros de drenagem, instalados na mesma área experimental. Esses lisímetros desempenharam a função de medir a evapotranspiração da cultura (ET_c). A Equação 1 foi empregada para calcular a ET_c e determinar a quantidade de água que foi aplicada nos vasos com solo.

$$ET_c = P + I - D \quad (1)$$

em que: ET_c = evapotranspiração da cultura (L); P = precipitação pluvial (L); I = volume de irrigação aplicada (L); D = água drenada (L).

O volume médio, calculado a partir dos dados dos dois lisímetros de drenagem, era utilizado na irrigação dos 28 vasos do experimento. Nos lisímetros, além do volume evapotranspirado, acrescentava-se 20% adicional para induzir drenagem. É relevante destacar que os lisímetros eram irrigados manual e superficialmente e todo o volume drenado em cada um deles era reintroduzido junto com a água de irrigação no mesmo lisímetro, assegurando o equilíbrio de sais e nutrientes no solo. Contudo, antes da aplicação da água nos lisímetros, a condutividade elétrica e o pH da água eram medidos para verificar se não causariam danos à cultura.

Após o ciclo de uniformização, foram selecionados, ao acaso, dois perfilhos de cada vaso para avaliação da morfogênese do capim-sabiá. Foram medidos o comprimento total das lâminas foliares expandidas e emergentes, assim como o comprimento do pseudocolmo, tomando a distância da última lígula exposta até a base do perfilho. A coleta dos dados ocorreu no período da manhã, com início às 7:00, em três dias na semana (segunda, quarta e sexta).

A partir dos dados obtidos, referentes ao estudo de crescimento de folhas, foram calculadas as seguintes variáveis de acordo com Gomide e Gomide (2000): taxa de aparecimento de folha (TA_{pF}), taxa de alongamento de folha (TA_{IF}), taxa de alongamento de colmo (TA_{IC}), taxa de senescência de folha (TSF), número de folhas expandidas (NF_{Ex}), número de folhas emergentes (NF_{Em}) e número de folhas vivas (NF_V).

- Taxa de aparecimento de folhas (TApF, folhas perfilho⁻¹ d⁻¹): obtida por meio da subtração do número de folhas surgidas, por perfilho, em relação às folhas iniciais, pelo número de dias envolvidos;
- Taxa de alongamento de folhas (TAIF, cm perfilho⁻¹ d⁻¹): obtida por meio da subtração entre os comprimentos iniciais e finais das lâminas, dividindo a diferença obtida pelo número de dias decorridos na avaliação e multiplicando o resultado pelo número de perfilhos considerados;
- Taxa de alongamento de colmo (TAIC, cm perfilho⁻¹ d⁻¹): obtida por meio da subtração entre os comprimentos iniciais e finais dos colmos, dividindo a diferença obtida pelo número de dias decorridos na avaliação e multiplicando o resultado pelo número de perfilhos considerados;
- Taxa de senescência de folha (TSF, cm perfilho⁻¹ d⁻¹): calculada dividindo-se o comprimento final total do tecido senescente, pelo número de dias envolvidos;
- Número de folhas expandidas (NFEx), obtido no final do período de crescimento, considerando o número de folhas expandidas de cada perfilho, ou seja, com lígula exposta;
- Número de folhas emergentes (NFEm), obtido no final do período de crescimento, considerando como folhas emergentes ou em expansão aquelas que não apresentavam lígula exposta;
- Número de folhas vivas (NFV), obtido no final do período de crescimento, somando o número de folhas em expansão e expandidas do perfilho.

Os dados espectrais foram coletados utilizando o sensor ativo GreenSeeker® (sensor de culturas portátil da Trimble). Este sensor portátil é equipado com dois tipos de LED, emitindo radiação ativa em comprimentos de onda centralizados em 660 nm (vermelho) e 770 nm (infravermelho próximo), cada um com uma largura de banda de cerca de 25 nm. Os resultados compreendem cinco índices de vegetação, sendo que, para este estudo, apenas os dados do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foram utilizados.

As medições de NDVI foram realizadas nos dias 0, 7, 15, 22 e 30 após o corte do capim-sabiá. Antes de iniciar as medições, foi realizada a medição em pontos aleatórios do solo para estabilização do aparelho. Posteriormente, o GreenSeeker foi posicionado a 0,6 m de altura em relação aos vasos, seguindo as recomendações de Rodrigues et al. (2021), para leitura do NDVI do capim. Dessa forma, as leituras foram obtidas ao longo de toda a extensão dos vasos, e a média de duas leituras por vaso foi considerada como o valor final.

As características agronômicas massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa seca da parte aérea (MSPA) foram avaliadas no final de cada ciclo de cultivo do capim-sabiá. A

MFPA correspondeu a toda a parte aérea (folhas e colmo) da planta com altura superior a 10 cm, sendo pesada utilizando uma balança digital de precisão (0,01 g). Posteriormente, as folhas e colmos de cada vaso foram armazenados em sacos de papel e submetidos à secagem em uma estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 h, sendo então pesados novamente com uma balança digital de precisão (0,01 g) para determinação da MSPA.

A produtividade do uso da água (PA) foi calculada por meio da Equação 2, sendo a relação entre a MSPA e o volume de água aplicada nos vasos cultivados com capim-sabiá.

$$PA = \frac{MSPA}{Vt} \quad (2)$$

em que: PA = produtividade do uso da água (kg m^{-3}); MSPA = massa seca da parte aérea (kg vaso^{-1}); Vt = volume total de água aplicado ($\text{m}^3 \text{ vaso}^{-1}$).

Após o último corte, o estudo de distribuição do sistema radicular foi realizado por meio de amostragens a cada 10 cm de profundidade (0 a 40 cm) ao longo do perfil do solo dentro dos vasos. Utilizou-se um trado tipo Uhland, equipado com um anel de 6,98 cm de diâmetro e 7,16 cm de altura, para realizar a coleta do material de solo e raízes. As raízes presentes nas amostras foram cuidadosamente limpas, utilizando água corrente e peneiras. Posteriormente, as raízes foram acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificadas e submetidas à secagem em uma estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, durante 72 h. Em seguida, as raízes foram pesadas em uma balança digital de precisão (0,1 mg). A massa das raízes foi dividida pelo volume da amostra, resultando na densidade de raízes em cada ponto amostrado. A profundidade efetiva do sistema radicular foi estabelecida com base na profundidade em que 80% do peso das raízes estava concentrado.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando 0,05 de significância no teste F. Independentemente da significância da interação entre os fatores, optou-se por desdobrá-la, considerando o interesse no estudo. Para verificações dos pressupostos de homogeneidade das variâncias e normalidade foram utilizados os testes de Bartlett e Shapiro-Wilk, respectivamente, utilizando 0,05 de significância em ambos. Para os fatores qualitativos, as médias foram comparadas utilizando o teste de Tukey a 0,05 de significância. Para os fatores quantitativos, foram testados modelos de regressão lineares e quadráticos. A seleção do modelo foi com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t a 0,05 de significância, no coeficiente de determinação (R^2) e no fenômeno biológico. Para execução das análises estatísticas foi utilizado o pacote Experimental Designs do software “R” (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2020).

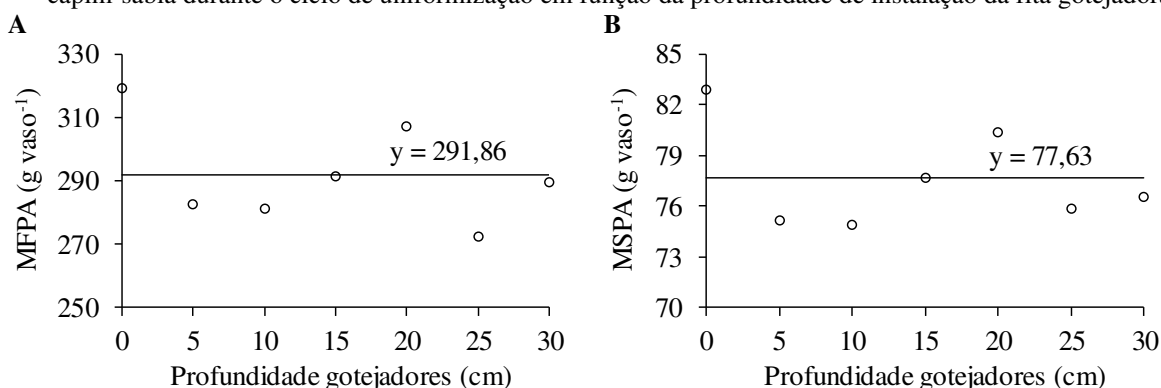
15. RESULTADOS E DISCUSSÃO

15.1 Ciclo de uniformização

O ciclo de uniformização transcorreu desde a semeadura em 10/01/2022 até o momento do corte ocorrido em 11/03/2022. A uniformização é particularmente importante em estudos científicos, pois permite isolar e controlar variáveis, facilitando a análise dos efeitos das intervenções planejadas no experimento.

As massas fresca e seca da parte aérea no final do ciclo de uniformização apresentaram valores médios de 291,86 e 77,63 g vaso⁻¹, respectivamente (Figura 2). Mesmo não havendo ajuste de uma equação de regressão, percebe-se que a fita gotejadora instalada a 20 cm de profundidade proporcionou maiores produções de massa fresca e seca da parte aérea. Dessa forma, considerando o gotejamento subsuperficial, existe uma sinalização que a fita gotejadora poderá ser instalada a 20 cm de profundidade para a formação de pastagem de capim-sabiá. Entretanto, é oportuno ressaltar que somente esta variável não é suficiente para corroborar essa afirmação.

Figura 2 - (A) Massa fresca da parte aérea (MFPA) e (B) massa seca da parte aérea (MSPA) produzida pelo capim-sabiá durante o ciclo de uniformização em função da profundidade de instalação da fita gotejadora.



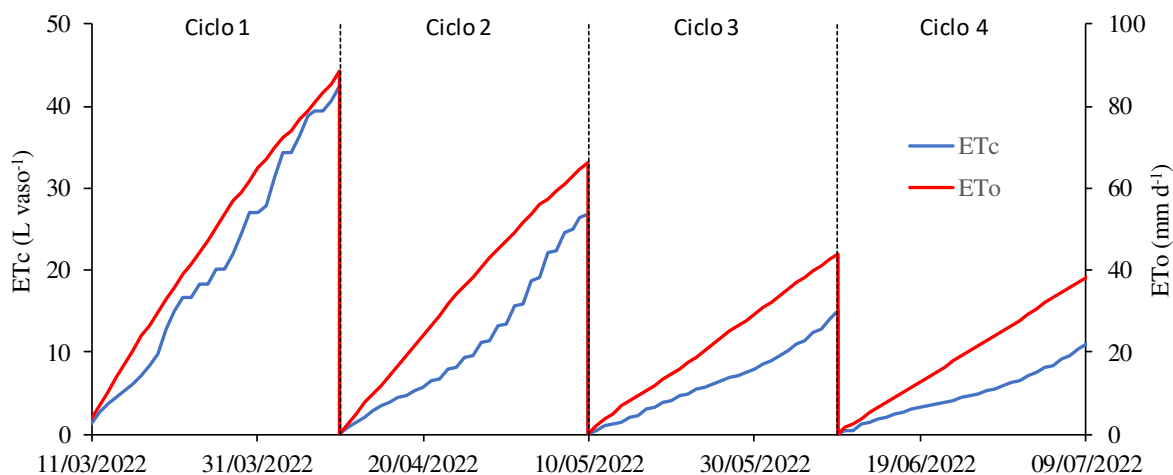
Fonte: Rocha (2024).

O corte de uniformização, além de permitir o início de novo ciclo com todas as plantas cortadas a 10 cm em relação ao solo, também estimula a rebrota. O rebaixamento e uniformização têm a função de estimular o perfilhamento basal, que são brotos que nascem da base da planta, proporcionando melhor cobertura do solo. Além disso, é importante para controlar o porte das plantas, evitando que estas fiquem muito altas e acabem acamando (FARIAS et al., 2019; MARTUSCELLO et al., 2017; SANTOS et al., 2020; SBRISSIA et al., 2018).

15.2 Consumo hídrico

Pode ser observada na Figura 3 a evolução da evapotranspiração da cultura (ETc) e de referência (ETo), calculada conforme Allen et al. (1998), ao longo dos ciclos de capim-sabiá avaliados. Os consumos hídricos totais do capim-sabiá, que é igual a ETc, nos ciclos 1, 2, 3 e 4 foram de 42,4; 26,7; 14,9 e 11,5 L vaso⁻¹, respectivamente. A variação no consumo de água, em termos de ETc, pode ser associada às variações climáticas observadas durante o período de condução do experimento. Nos ciclos 2, 3 e 4 (outono/inverno) observaram-se menores valores de ETc em comparação com o ciclo 1 (verão). Isso aconteceu devido às reduções da temperatura do ar e radiação solar ao longo do período experimental, como apresentado na Figura 1. Essas variáveis afetam diretamente a ETo e, por consequência, a ETc.

Figura 3 - Evolução do consumo hídrico do capim-sabiá em distintos ciclos de cultivo por meio da evapotranspiração da cultura (ETc) e de referência (ETo).



Fonte: Rocha (2024).

A redução da ETc acumulada durante o período experimental também pode ser justificada pelos últimos ciclos não terem atingido a ETc máxima. Os cortes foram realizados em intervalos fixos de 30 dias, e nos últimos ciclos, as amostras foram coletadas antes que o capim atingisse sua máxima área foliar, o que impediu a alcançar a ETc máxima. Isso se deve ao fato de que, nos últimos ciclos de cultivo, o capim-sabiá experimentou uma menor soma térmica de graus-dias acumulados (GDA), como evidenciado na Figura 1B. Esse resultado é corroborado por Souza et al. (2021), que observaram um baixo acúmulo de biomassa de capim-marandu (*Urochloa brizantha*) durante o outono e inverno devido a valores menores de GDA.

Observa-se também na Figura 3 um aumento na diferença entre ETc e ETo à medida que avançam os ciclos de cultivo do capim-sabiá. A ETc e ETo apresentam alta correlação, a ponto de os modelos de estimativa da ETc incorporarem a ETo como parâmetro de entrada.

Sendo assim, esperava-se que a ETc das pastagens tivesse relação numérica similar à ETo. Entretanto, isso não aconteceu e essa variação também pode estar relacionada à redução da massa das plantas nos ciclos subsequentes. A diminuição na massa das plantas está vinculada a um índice de área foliar mais baixo e, por conseguinte, a um valor inferior de coeficiente de cultivo (Kc), que também é utilizado na estimativa da ETc. Portanto, a diferença entre ETc e ETo era mais acentuada à medida que o valor de Kc diminuía.

15.3 Análises de crescimento

A variável número de folhas emergentes (NFEm) do capim-sabiá sofreu efeito isolado dos diferentes ciclos de cultivo e profundidades de instalação dos gotejadores (Tabela 2). No geral, foram encontrados os maiores valores de NFEm no ciclo 1, que ocorreu no verão, e os menores valores foram encontrados no ciclo 4. No verão, as temperaturas do ar, radiação solar, e conseqüentemente o fotoperíodo, foram maiores (Figura 1). Dessa forma, as plantas obtiveram melhores condições para o crescimento durante o ciclo 1. À medida que as temperaturas do ar começaram a diminuir no outono, o capim-sabiá começou a sofrer uma desaceleração no crescimento e na emergência das folhas.

Tabela 2 - Quadrados médios, significância do teste F (ANOVA) e valores médios das características morfológicas: número de folhas emergentes (NFEm), número de folhas expandidas (NFEx), número de folhas vivas (NFV), taxa de aparecimento foliar (TApF), taxa de alongamento foliar (TAIF), taxa de alongamento de colmo (TAIC) e taxa de senescência foliar (TSF) em distintos ciclos do capim-sabiá irrigado com gotejadores instalados em diferentes profundidades.

Variável	Quadrados Médios			CV (%)	Prof. (cm)	Ciclos			
	Ciclo	Prof.	C x P			1	2	3	4
NFEm	3,91E-1*	4,53E+0**	3,35E-1 ^{ns}	23,07	0	3,125 a	2,375 ab	1,875 bc	1,250 c
					5	2,250 a	2,125 a	2,125 a	1,750 a
					10	2,750 a	2,750 a	2,250 ab	1,625 b
					15	2,250 a	2,250 a	2,125 a	1,500 a
					20	2,375 a	1,750 a	1,875 a	1,625 a
					25	2,250 ab	2,625 a	2,500 a	1,500 b
					30	1,875 a	2,375 a	2,125 ab	1,375 b
NFEx	2,43E-1*	1,58E+0**	6,18E-2 ^{ns}	33,69	0	0,875 a	1,375 a	1,375 a	1,125 a
					5	0,625 b	1,250 a	1,250 a	0,750 ab
					10	0,750 a	1,125 a	1,125 a	0,625 a
					15	0,750 a	1,250 a	1,125 a	0,875 a
					20	0,500 b	1,000 ab	1,250 a	0,750 ab
					25	0,750 a	1,125 a	1,000 a	0,625 a
					30	0,875 a	0,875 a	1,000 a	0,500 a
NFV	7,75E-1*	7,91E+0**	2,92E-1 ^{ns}	13,24	0	4,000 a	3,750 a	3,250 a	2,375 b
					5	2,875 ab	3,375 a	3,375 a	2,500 b
					10	3,500 a	3,875 a	3,375 a	2,250 b
					15	3,000 ab	3,500 a	3,250 a	2,375 b
					20	2,875 a	2,750 a	3,125 a	2,375 a
					25	3,000 a	3,750 a	3,500 a	2,125 b
					30	2,750 a	3,250 a	3,125 a	1,875 b

	TApF (folhas perfilho ⁻¹ d ⁻¹)	TAIF (cm perfilho ⁻¹ d ⁻¹)	TAIC (cm perfilho ⁻¹ d ⁻¹)	TSF (cm perfilho ⁻¹ d ⁻¹)
	7,40E-4**	1,41E+0**	7,55E-3**	5,33E-1*
	1,73E-2**	4,44E+1**	1,63E-1**	4,58E+0**
	5,02E-4**	3,10E-1**	1,42E-2**	1,35E-1 ^{ns}
	12,56	15,62	13,17	36,81
	0	0	0	0
	5	5	5	5
	10	10	10	10
	15	15	15	15
	20	20	20	20
	25	25	25	25
	30	30	30	30
	0,125 a	4,238 a	0,204 a	1,450 a
	0,085 b	3,332 a	0,418 a	1,428 a
	0,067 bc	3,398 a	0,153 b	0,482 b
	0,054 c	2,235 b	0,138 b	0,709 ab
	0,063 b	1,329 c	0,203 b	0,617 b
	0,045 b	1,836 c	0,074 d	0,715 ab
	0,054 c	1,313 c	0,145 c	0,899 b
	0,071 b	0,929 c	0,147 c	0,463 b
	0,054 b	0,661 c	0,122 c	1,793 a
	0,054 c	0,582 c	0,130 b	0,514 b
	0,049 c		0,071 c	0,196 b
			0,071 c	0,485 b
			0,071 c	0,485 b
			0,071 c	0,347 b

Prof.: Profundidades de instalação dos gotejadores; C x P: interação entre ciclos do capim-sabiá e profundidades dos gotejadores; * e **: significância a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ^{ns}: não significativo; médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,01$).

Fonte: Rocha (2024).

Para a variável número de folhas expandidas (NFEx) não houve diferença entre os ciclos 2, 3 e 4 (Tabela 2). O ciclo 1 apresentou menores médias apenas quando o capim-sabiá foi irrigado com gotejadores instalados na profundidade de 5 e 20 cm. O ciclo 1 ocorreu em período de maiores temperaturas do ar e dias mais longos. Embora essas condições possam promover o crescimento, temperaturas do ar mais elevadas e maior radiação solar podem limitar a expansão das folhas (MARÍN et al., 2023). Temperaturas mais altas proporcionam aumento do déficit de pressão de vapor. Assim, durante os momentos mais críticos do dia, há um aumento no fluxo de água da planta para a atmosfera, o que leva a planta a ajustar a abertura estomática, resultando na diminuição das taxas de expansão das folhas. No entanto, como o experimento era irrigado, o capim continuou a produzir novas folhas, mesmo que em menor quantidade quando comparado aos demais ciclos.

Observa-se na Tabela 2 que o número de folhas vivas (NFV) diferiu entre os ciclos de cultivo do capim-sabiá, em que o ciclo 4 (inverno) apresentou menores médias em

comparação com os demais ciclos (verão e outono). No inverno, as plantas foram expostas a temperaturas mínimas baixas (Figura 1A). Assim, o capim priorizou a manutenção das folhas mais jovens por apresentarem maior capacidade fotossintética, o que levou à maior mortalidade das folhas velhas localizadas na base dos perfilhos (SANTOS et al., 2020). É oportuno ressaltar que o fato de não terem sido observadas diferenças no NFV, durante o verão e o outono, sugere que essa é uma característica geneticamente estável e, portanto, não é profundamente afetada (SANTOS et al., 2020). Entretanto, o NFV pode sofrer alterações em condições do meio, como disponibilidade de água, nutrientes no solo e manejo do capim (COSTA et al., 2021).

Para a variável taxa de aparecimento foliar (TApF) observa-se que houve interação entre ciclos de cultivo e profundidades de instalação dos gotejadores (Tabela 2). Independente da profundidade do gotejador, o ciclo 1 apresentou os maiores valores de TApF, enquanto os menores valores foram encontrados no ciclo 4. Pode-se notar que os valores da TApF diminuíram gradativamente com o passar dos ciclos. Os menores valores de temperatura do ar e radiação solar que ocorreram no ciclo 4, sendo condições ambientais desfavoráveis para o capim, podem ter prejudicado a TApF, corroborando com outros estudos (FARIAS et al., 2019; SBRISSIA et al., 2018). Martuscello et al. (2017) que também mencionam em suas pesquisas que o número de horas de insolação determina a TApF.

O clima desfavorável ao crescimento das plantas no inverno também resultou em menor taxa de alongamento foliar (TAIF) durante o experimento (Tabela 2). A TAIF diferiu significativamente entre os distintos ciclos. O ciclo 1 destacou-se, com valores bem maiores que os demais ciclos. O ciclo 4 apresentou os menores valores, também diferindo significativamente dos demais ciclos. A TAIF é de grande relevância para o fluxo de biomassa das plantas, pois está diretamente associada à capacidade fotossintética das mesmas, impactando diretamente na produção de forragem (PACIULLO et al., 2016). Juntamente com a TApF, é responsável pelo aumento da quantidade de folhas na forrageira (CAMARGO et al., 2022). Apesar do capim-sabiá ser suscetível à sazonalidade da produção, devido à desaceleração no fluxo tecidual, é possível inferir que como mecanismo de adaptação os processos de organogênese (TApF e TAIF) não foram cessados durante o período experimental.

A taxa de alongamento do colmo (TAIC) também apresentou padrão semelhante às outras variáveis discutidas anteriormente, diminuindo de maneira geral à medida que o experimento avançou. Os maiores valores ocorreram no ciclo 1 (Tabela 2), quando as condições climáticas foram mais favoráveis. Abreu et al. (2020) relataram que, para que haja

intensificação do perfilhamento de determinada forrageira, é necessário que fatores relacionados ao desenvolvimento vegetal (temperatura, luminosidade, água e nutrientes) estejam em condições favoráveis. Com a restrição em um desses fatores, um dos mecanismos de adaptação desencadeado pela planta é a redução do alongamento de colmo. Tal comportamento pode ser observado no ciclo 4, em que foram registrados os menores valores para a TAIC.

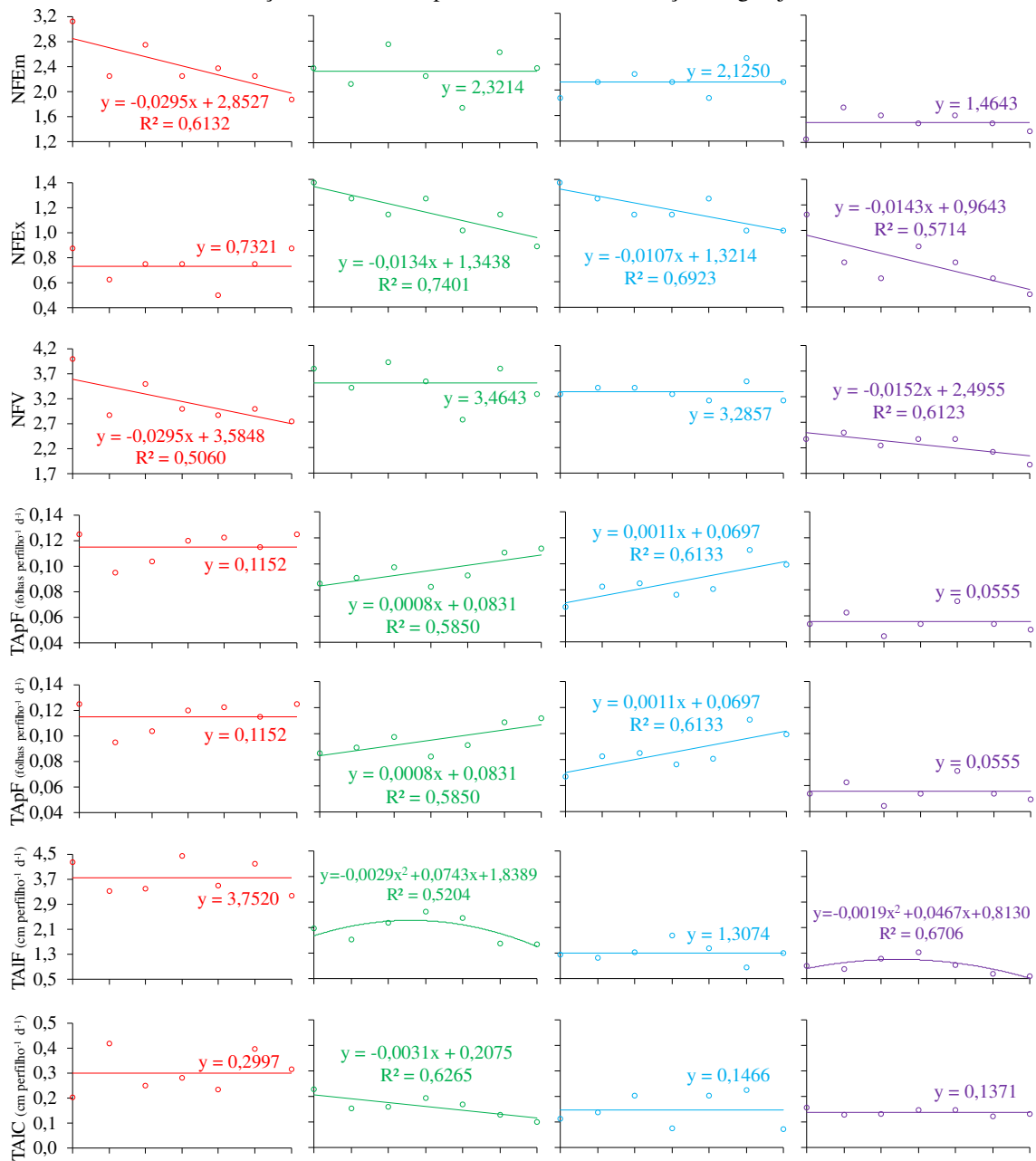
A maior taxa de crescimento das plantas no período inicial, impulsionada pelas condições ambientais mais favoráveis, promoveu maiores valores de TApF e TAIF. Portanto, para sustentar as folhas e aloca-las na parte superior da touceira, são necessárias estruturas de apoio. Por esse motivo, os maiores valores de TAIC ocorreram concomitantemente com os maiores valores de TApF e TAIF (ALVES et al., 2019). Também é válido adicionar que no decorrer do processo de diferenciação celular na zona meristemática, as células se diferem formando a lâmina foliar e bainha da folha. Assim, aumentos no aparecimento bem como no alongamento foliar estão relacionados a maior altura de colmo (SACRAMENTO et al., 2019).

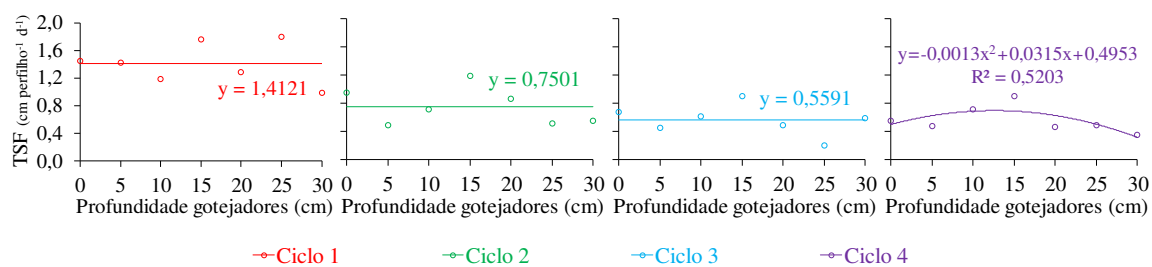
A taxa de senescência foliar (TSF) do capim-sabiá nos ciclos 2, 3 e 4 não diferiram entre si e foram menores que no ciclo 1 (Tabela 2). A maior senescência foliar observada no ciclo inicial pode estar relacionada ao crescimento mais acelerado das folhas em plantas expostas ao ambiente mais favorável. Os perfilhos no ciclo 1 atingiram o tamanho final mais rapidamente e iniciaram o processo de senescência devido ao processo de renovação das plantas. Em resumo, a maior TSF observada no ciclo 1 pode ser atribuída às maiores TApF e TAIF. Adicionalmente, é possível que, durante o verão, com temperaturas mais altas e maior incidência de radiação solar, as folhas tenham passado pelo processo de senescência para fornecer nutrientes e auxiliar na expansão de novas folhas (SANTOS et al., 2020). Por outro lado, à medida que se aproximavam os meses mais frios e os dias mais curtos, o capim prolongou a vida útil das folhas e reduziu a TApF. Nesse contexto, a planta estendeu o tempo de vida das folhas, resultando em menores perdas devido à senescência (SILVA NETO et al., 2019).

As características estruturais foram influenciadas pelos diferentes ciclos por ocorrerem sob diferentes estações do ano. Esse padrão demonstra que essas características são fortemente influenciadas pelas condições ambientais (MORENO et al., 2014). Certamente, a ação climática sobre a dinâmica de crescimento das plantas é um fator que exerce grande influência sobre as características morfofisiológicas do dossel forrageiro (SILVA NETO et al., 2019).

Na Figura 4 são apresentadas as variações das características morfológicas em função das profundidades de instalação dos gotejadores nos diferentes ciclos de cultivo do capim-sabiá. No ciclo 1, o aumento da profundidade dos gotejadores provocou redução linear no NFEm. Nos ciclos seguintes, os dados não se ajustaram a nenhum modelo de regressão, indicando a ausência de uma tendência significativa ou uma menor variação do NFEm em resposta às profundidades dos gotejadores.

Figura 4 - Valores médios de número de folhas emergentes (NFEm), número de folhas expandidas (NFEx), número de folhas vivas (NFV), taxa de aparecimento foliar (TApF), taxa de alongamento foliar (TAIF), taxa de alongamento de colmo (TAIC) e taxa de senescência foliar (TSF) em distintos ciclos de cultivo do capim-sabiá e em função de diferentes profundidades de instalação de gotejadores.





Fonte: Rocha (2024).

Os resultados para o NFEx foram opostos aos observados para o NFEm. Verifica-se na Figura 4 uma redução linear no NFEx com o aumento da profundidade dos gotejadores nos ciclos 2, 3 e 4, enquanto no ciclo 1 o capim-sabiá não foi afetado. Já o NFV é a soma de NFEx e NFEm e está altamente correlacionada com a produtividade de forragem (COSTA et al., 2021; LAGE FILHO et al., 2021). O aumento da profundidade de instalação dos gotejadores provocou redução linear no NFV nos ciclos 1 e 4 do capim-sabiá (Figura 4).

As características associadas ao número de folhas, sejam emergentes, expandidas ou totais, são significativamente influenciadas pelas condições hídricas (ARAÚJO et al., 2011; CUNHA et al., 2007). A profundidade de instalação dos gotejadores em irrigação subsuperficial influencia a forma de distribuição da água no perfil do solo (KARIMI et al., 2020). Em um estudo recente conduzido por Rocha et al. (2024), utilizando os mesmos vasos e solo do presente estudo, os autores observaram que a água aplicada em maiores profundidades (30 cm) não alcançou a superfície do solo. Isso, de certa forma, reduz as perdas de água por evaporação, mas ao mesmo tempo limita a absorção de água pelo sistema radicular próximo à superfície do solo. Conseqüentemente, nos tratamentos com gotejadores instalados em maiores profundidades, é possível que o capim tenha consumido uma quantidade menor de água. Em situações de disponibilidade hídrica reduzida, algumas forrageiras podem optar por diminuir o número de folhas como uma estratégia para conservar água e recursos, priorizando a manutenção das folhas existentes e reduzindo a produção de novas folhas (CUNHA et al., 2007; GHALKHANI et al., 2023).

Verifica-se na Tabela 4, que a profundidade de instalação dos gotejadores provocou aumento linear na TApF durante os ciclos 2 e 3 do capim-sabiá. Nos demais ciclos de cultivo, os dados não se ajustaram a nenhum modelo de regressão. Em relação a TAlF, as profundidades dos gotejadores conferiram efeito quadrático nos ciclos 2 e 4 do capim-sabiá. Com base nas equações de regressão e aplicando a derivada parcial, as profundidades dos gotejadores que maximizaram a TAlF foram de 13,0 e 12,4 cm, resultando em valores de 2,32 e 1,10 cm perfilho⁻¹ d⁻¹ para os ciclos 2 e 3, respectivamente. Nos demais ciclos de cultivo, não foi possível ajustar nenhum modelo de regressão com os dados de TAlF.

A TAlF, assim como a TApF, podem ser reduzidas devido ao déficit hídrico, pois esse fenômeno inibe a divisão celular, resultando na diminuição do surgimento e expansão das folhas (COUTINHO et al., 2020; LAGE FILHO et al., 2021). Assim, os resultados de TApF e TAlF sugerem uma redução na disponibilidade hídrica na camada superficial, possivelmente devido a maior perda de água pelo processo de evaporação. A presença de gotejadores instalados próximo à superfície expõe a água diretamente à atmosfera, o que amplia as perdas de água por evaporação (ROCHA et al., 2024; YANG et al., 2020). Essa condição é especialmente desfavorável em regiões com climas quentes e secos, onde a evaporação pode ser significativamente elevada. Também é oportuno ressaltar que instalar as fitas gotejadoras na superfície ou em pequenas profundidades para irrigação de pastagem pode aumentar os custos associados à manutenção e ao manejo do sistema, devido ao pisoteio animal.

Os valores de TAIC do capim-sabiá sofreram redução linear com o aumento da profundidade dos gotejadores no ciclo 2. Nos demais ciclos, os dados não se ajustaram a nenhum modelo de regressão (Figura 4). O segundo ciclo foi bastante afetado pela profundidade de instalação dos gotejadores, afetando não apenas a TAIC, mas também as variáveis NFE_x, TApF e TAlF. Provavelmente, o ciclo 1 não foi tão influenciado devido às precipitações pluviais (Figura 1B). Já nos ciclos 3 e 4, o capim-sabiá apresentou um menor consumo hídrico (menor ET_c), resultando em uma menor variação de água no solo e na minimização do déficit hídrico.

As profundidades de instalação dos gotejadores conferiram efeito quadrático na TSF do ciclo 4 do capim-sabiá. Com base nas equações de regressão e aplicando a derivada parcial, a profundidade dos gotejadores que maximizou a TSF foi de 12,0 cm, resultando no valor de 0,69 cm perfilho⁻¹ d⁻¹. Nos demais ciclos de cultivo, não foi possível ajustar nenhum modelo de regressão com os dados de TSF.

Pode-se inferir que, nos ciclos nos quais as características morfogênicas não foram afetadas pelas diferentes profundidades de instalação dos gotejadores, isso se deve ao fato de que, neste estudo, a quantidade de água de irrigação aplicada foi uniforme para todos os vasos, independentemente da localização do emissor. Dessa maneira, com a quantidade de água fornecida sendo suficiente para repor a evapotranspiração da cultura (ET_c), as plantas não experimentaram déficit ou excesso de água suficientes para limitarem o desenvolvimento da cultura. Nesse cenário, as condições climáticas predominantes em cada ciclo exerceram uma influência maior sobre o crescimento e desenvolvimento do capim-sabiá.

15.4 Características agronômicas

Para as produções de massas fresca (MFPA) e seca da parte aérea (MSPA) do capim-sabiá, observa-se na Tabela 3 que houve interação entre ciclos de cultivo e profundidade de instalação dos gotejadores. Em relação à MFPA, as maiores médias foram encontradas no ciclo 1, diminuindo progressivamente até o ciclo 4. Para a MSPA, foi observado um comportamento semelhante de redução nas médias do ciclo 1 ao 4, embora o ciclo 3 não tenha diferido significativamente do ciclo 4 em algumas profundidades de gotejadores avaliadas. A redução gradual na produção de biomassa da parte aérea do capim-sabiá está relacionada ao seu consumo hídrico. À medida que a biomassa diminui, a área foliar também se reduz, resultando em uma menor perda de água pela planta. De acordo com Doorenbos e Kassan (1979), essa correlação possibilita a avaliação do impacto do manejo da irrigação na produção econômica das culturas e ajuda na escolha de estratégias mais eficientes.

Tabela 3 - Quadrados médios, significância do teste F (ANOVA) e valores médios das características agronômicas massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), produtividade de água (PA) e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em distintos ciclos de cultivo do capim-sabiá irrigado com gotejadores instalados em diferentes profundidades.

Variável	Quadrados Médios			CV (%)	Prof. (cm)	Ciclos			
	Ciclo	Prof.	C x P			1	2	3	4
MFPA (g vaso ⁻¹)	2,23E+3*	1,66E+6**	1,66E+6*	10,52	0	637,9 a	259,1 b	125,6 c	63,0 d
					5	649,4 a	230,5 b	109,7 c	61,1 c
					10	596,2 a	231,6 b	125,1 c	54,4 d
					15	595,9 a	237,1 b	126,4 c	49,9 d
					20	559,1 a	246,3 b	130,5 c	52,4 d
					25	575,4 a	209,5 b	120,5 c	38,3 d
					30	587,2 a	209,8 b	134,2 c	45,8 d
MSPA (g vaso ⁻¹)	6,60E+2**	9,51E+4**	5,85E+2**	14,53	0	164,6 a	58,9 b	31,7 c	17,6 c
					5	160,7 a	54,1 b	32,1 c	19,9 c
					10	164,8 a	53,2 b	33,3 c	20,0 c
					15	157,3 a	53,2 b	32,5 c	17,9 d
					20	130,7 a	57,0 b	32,9 c	19,9 c
					25	130,6 a	50,0 b	31,3 c	17,0 d
					30	136,4 a	50,4 b	31,5 c	16,0 d
PA (kg m ⁻³)	5,99E-1**	1,64E+1**	3,78E-1**	11,83	0	3,880 a	2,203 b	2,120 bc	1,537 c
					5	3,787 a	2,025 b	2,149 b	1,739 b
					10	3,883 a	1,990 b	2,231 b	1,741 b
					15	3,707 a	1,990 b	2,177 b	1,562 b
					20	3,079 a	2,131 b	2,201 b	1,737 b
					25	3,079 a	1,868 b	2,098 b	1,479 b
					30	3,216 a	1,886 bc	2,112 b	1,397 c
NDVI	1,05E-3*	9,23E-2**	4,70E-4 ^{ns}	2,49	0	0,913 a	0,905 a	0,863 b	0,790 c
					5	0,915 a	0,898 a	0,823 b	0,778 c
					10	0,915 a	0,915 a	0,878 a	0,793 b
					15	0,928 a	0,903 ab	0,875 b	0,788 c

20	0,920 a	0,898 a	0,880 a	0,810 b
25	0,920 a	0,895 ab	0,875 b	0,775 c
30	0,920 a	0,905 ab	0,873 b	0,795 c

Prof.: Profundidades de instalação dos gotejadores; C x P: interação entre ciclos do capim-sabiá e profundidades dos gotejadores; * e **: significância a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ^{ns}: não significativo; médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,01$).

Fonte: Rocha (2024).

O capim-sabiá é uma planta C4, caracterizada por uma produção mais elevada de fotoassimilados quando exposta a maior luminosidade e temperaturas do ar mais elevadas, situadas entre 30 e 40°C. No entanto, quando as temperaturas se encontram na faixa de 10 a 15°C, o crescimento das gramíneas C4 é prejudicado, o que foi observado no ciclo 4 deste estudo. É importante notar que existem variações entre espécies e cultivares, e embora para o capim-sabiá não haja informações publicadas sobre temperaturas bases, para outras braquiárias, é relatado um valor acima de 16°C (SOUSA et al., 2022). Para otimizar o acúmulo de forragem, a planta requer condições adequadas de temperatura, água e radiação solar, essenciais para a manutenção da população de perfilhos (DUCHINI et al., 2018).

Para além dos fatores climáticos, as variáveis morfogênicas desempenham um papel significativo na determinação da massa de forragem. Durante o verão, os maiores valores de biomassa da parte aérea mostram uma possível correlação com a TApF e o NFV (SILVA et al., 2020). Além disso, valores mais elevados de TAlF têm o potencial de intensificar a renovação dos tecidos, influenciando positivamente na substituição de material morto da planta (RAMOS et al., 2022) e, por conseguinte, impulsionando uma maior produção de massa de forragem (OLIVEIRA et al., 2020).

A produtividade do uso da água (PA) pelo capim-sabiá se encontra na Figura 3. Verifica-se na Tabela 3 que houve interação entre ciclos de cultivo e profundidade de instalação dos gotejadores para PA. Notavelmente, o ciclo 1 destacou-se com as maiores médias, enquanto os ciclos subsequentes não mostraram diferenças significativas entre si. Isso sugere uma maior eficiência do capim-sabiá no ciclo 1 em transformar a água consumida em biomassa. Essa adaptação está associada à regulação do CO₂ e da temperatura foliar, bem como à redução da perda de água devido às modificações na abertura estomática (ZANDALINAS et al., 2018).

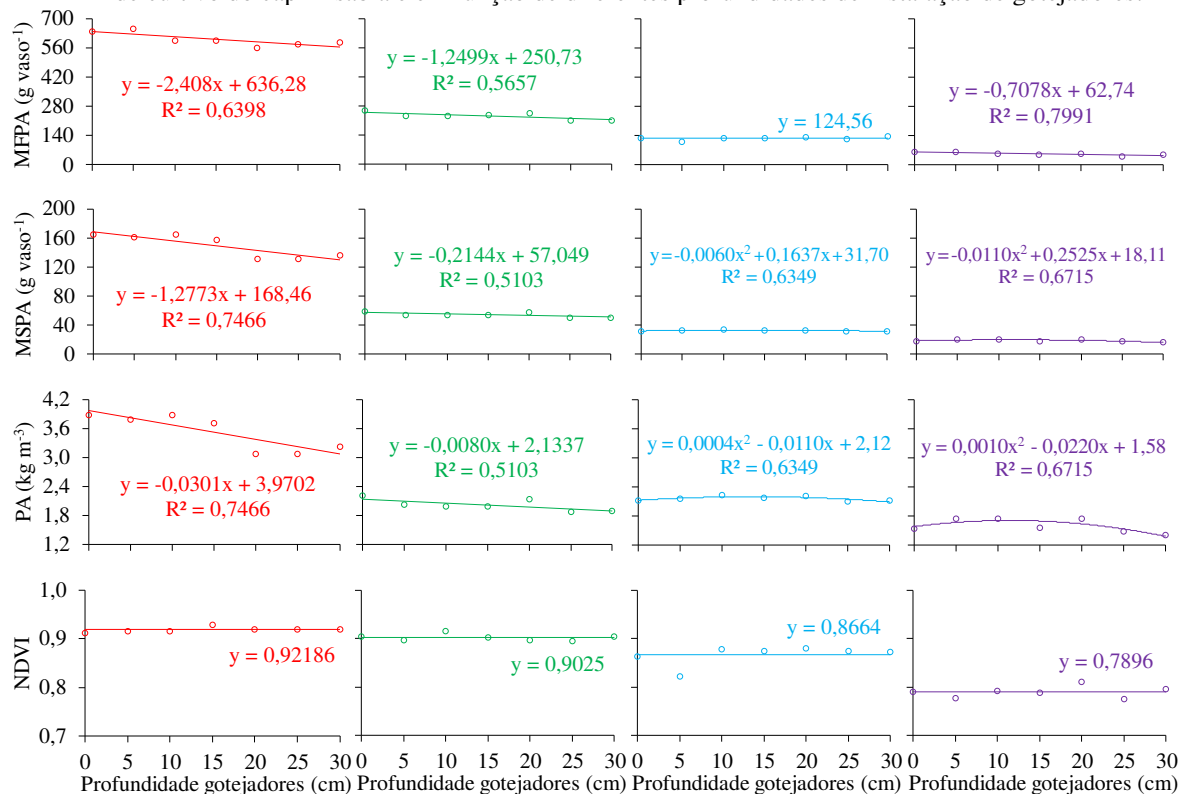
A partir do segundo ciclo de cultivo, observou-se que o capim-sabiá começou a enfrentar desafios relacionados a estacionalidade, indicando que o fator limitante para a produção não era mais a disponibilidade de água, mas sim as condições climáticas. Nesses períodos, a planta pode ser afetada por fatores como mudanças na temperatura, luminosidade e outras condições ambientais que impactam diretamente seu crescimento e desenvolvimento

(BRUNETTI et al., 2020). A compreensão dessas flutuações sazonais é crucial para o manejo adequado da pastagem, permitindo ajustes nas práticas agrônômicas, como a época de corte, conforme as demandas específicas de cada estação.

Observa-se também na Tabela 3 que os valores de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foram maiores no ciclo 1, contudo, não apresentaram diferença significativa em relação ao ciclo 2, sendo superiores ao ciclo 4 do capim-sabiá. A redução na produção de biomassa da parte aérea teve relação direta com o NDVI, que se mostrou bom indicador de produtividade, corroborando com os resultados de Simões et al. (2015).

Na Figura 5 são apresentadas as variações das características agrônômicas em função das profundidades de instalação dos gotejadores nos diferentes ciclos de cultivo do capim-sabiá. O aumento da profundidade dos gotejadores provocou redução linear na MFPA do capim-sabiá nos ciclos 1, 2 e 4. Para o ciclo 3, os modelos de regressão não se ajustaram aos dados. Já a MSPA apresentou comportamento linear decrescente nos dois primeiros ciclos de cultivo do capim-sabiá e quadrático nos demais. Utilizando as equações de regressão e aplicando a derivada parcial, verifica-se que as profundidades dos gotejadores que maximizaram a MSPA foram de 13,6 e 11,5 cm, resultando em valores de 32,8 e 19,6 g vaso⁻¹ para os ciclos 3 e 4, respectivamente.

Figura 5 - Valores médios de massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), produtividade de uso da água (PA) e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em distintos ciclos de cultivo do capim-sabiá e em função de diferentes profundidades de instalação de gotejadores.



→Ciclo 1 →Ciclo 2 →Ciclo 3 →Ciclo 4

Fonte: Rocha (2024).

Adicionalmente aos aspectos morfogênicos mencionados anteriormente, em relação à reduzida disponibilidade hídrica proveniente dos gotejadores mais profundos, os resultados do acúmulo de biomassa podem ter sido influenciados também pela temperatura do solo. A evaporação da água do solo converte o calor sensível em calor latente, resultando na redução da temperatura do solo (NIÑO et al., 2020). Durante o ciclo 1, os gotejadores próximos à superfície provavelmente contribuíram para uma menor temperatura do solo, beneficiando o cultivo realizado no verão. Em contrapartida, nos ciclos 3 e 4, os gotejadores em profundidade, que não umedeceram a superfície do solo, contribuíram para um aumento da temperatura do solo, favorecendo os cultivos realizados no outono-inverno, como indicado pelos resultados de MSPA na Figura 5.

Outra consideração possível é que as adubações foram realizadas de forma convencional. Nos casos em que a água de irrigação não alcançou satisfatoriamente a superfície do solo nos vasos com gotejadores instalados em maiores profundidades, é possível que esses tratamentos não tenham utilizado os fertilizantes de maneira eficiente. A água desempenha um papel essencial na absorção e transporte de nutrientes do solo para as raízes das plantas (CHEN et al., 2020; LI et al., 2018).

Observa-se também na Figura 5 que o aumento da profundidade de instalação dos gotejadores proporcionou redução linear na PA do capim-sabiá nos ciclos 1 e 2. Esse resultado é decorrente da MSPA (numerador), uma vez que a água fornecida (denominador) foi a mesma em ambos os tratamentos. Nos ciclos 3 e 4 as profundidades dos gotejadores proporcionaram efeito quadrático na PA do capim-sabiá. Por meio das equações de regressão e da aplicação da derivada parcial, determinou-se que as profundidades ideais dos gotejadores para maximizar a PA foram de 13,6 e 11,5 cm, resultando em valores de 2,20 e 1,71 kg m⁻³ para os ciclos 3 e 4, respectivamente.

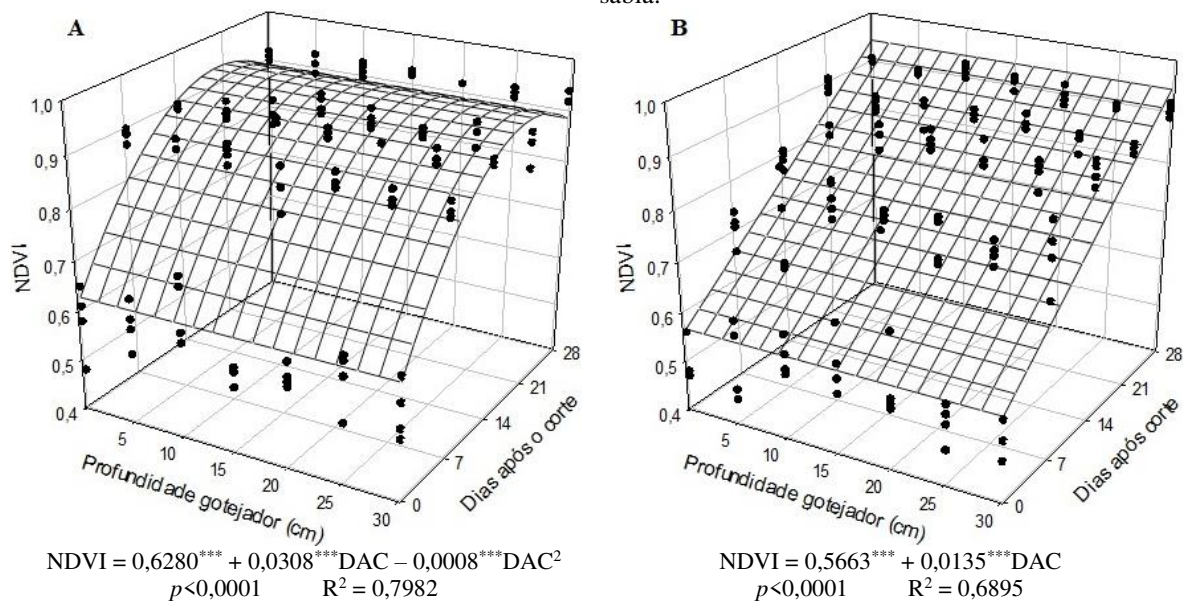
A irrigação subsuperficial por fornecer água diretamente na zona radicular, reduzindo as perdas por evaporação e escoamento superficial, pode melhorar a PA e a eficiência no uso da água. A melhoria na produtividade do uso da água além de favorecer a planta (LI et al., 2018; YANG et al., 2019), conserva os recursos hídricos. A eficiência hídrica também desempenha um papel crucial na adaptação da agricultura às variações climáticas, proporcionando resiliência às safras. Essa abordagem não apenas assegura uma produção alimentar mais sustentável, mas também fortalece a segurança hídrica e alimentar em face das crescentes demandas globais.

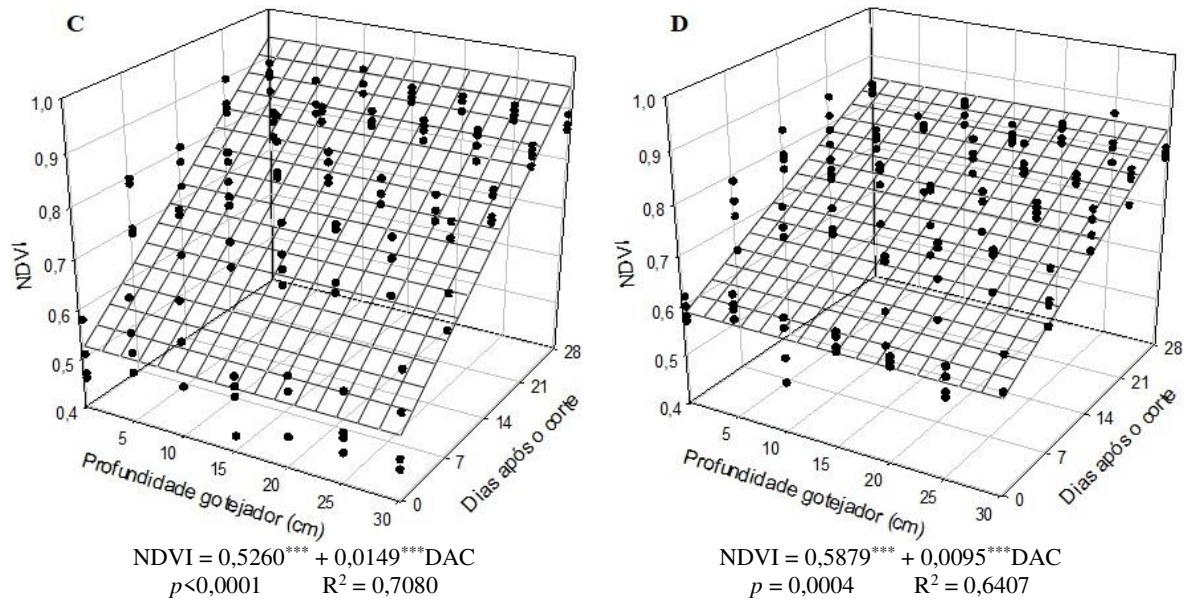
Quanto ao NDVI, não foi possível ajustar os dados em nenhum modelo de regressão em nenhum ciclo de cultivo do capim-sabiá (Figura 5). Embora as profundidades dos gotejadores não tenham gerado um impacto direto no NDVI, observa-se uma influência indireta (XUE; SU, 2017), afetando a saúde das plantas, a produção de biomassa e o estado hídrico. A posição adequada dos gotejadores e as práticas de manejo da irrigação são indispensáveis para manter a vegetação em bom estado e maximizar os valores de NDVI.

15.5 Estimativa de biomassa utilizando NDVI

Na Figura 6 encontram-se os dados referentes ao índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) do capim-sabiá nos diferentes ciclos de cultivo e em função da profundidade de instalação dos gotejadores e datas após a último corte. As profundidades dos gotejadores não afetaram o NDVI, mas houve variações ao longo do período de cultivo. O NDVI, em função dos dias após o corte (DAC), respondeu de forma quadrática no ciclo 1 (Figura 1A). Utilizando a equação de regressão e aplicando a derivada parcial, verifica-se que o capim-sabiá alcançou o maior NDVI aos 20 dias após o corte, obtendo o valor de 0,9364. Os dados apresentados na Figura 1A indicam que o capim-sabiá foi colhido em um estágio posterior ao seu pico de vigor vegetativo, sugerindo a possibilidade de uma colheita anterior. Esta interpretação é respaldada pelos maiores valores de taxa de senescência observados no ciclo 1 (Tabela 2). Esses resultados evidenciam o potencial das medições de NDVI para determinar o momento ideal de colheita ou pastejo do capim-sabiá.

Figura 6 - Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em função das profundidades de instalação dos gotejadores e a diferentes dias após o corte (DAC) nos ciclos de cultivo 1 (A), 2 (B), 3 (C) e 4 (D) do capim-sabiá.



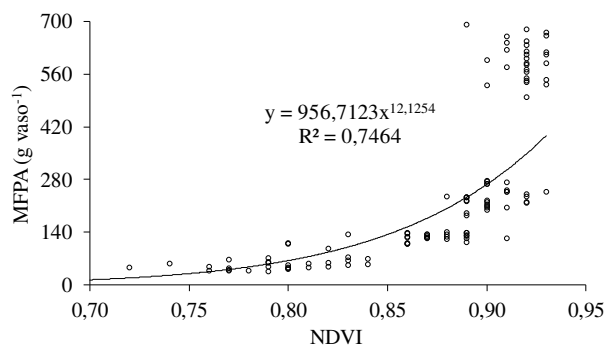


Fonte: Rocha (2024).

Nos demais ciclos (Figuras 1B, C, D) o NDVI do capim-sabiá, em função dos dias após o corte (DAC), respondeu de forma linear crescente. Ao contrário do relatado para o ciclo 1, nos demais ciclos de cultivo o capim foi colhido antes de atingir o maior índice vegetativo. Isso pode ser justificado pelos menores valores de GDA (Figura 1B) e radiação solar, como relatado anteriormente. É oportuno ressaltar, que no presente estudo foi adotado o intervalo de corte fixo de 30 dias, normalmente utilizados nos estudos científicos e em pastejo intensivo para atendimento da necessidade do rebanho (ALVES et al., 2019; ARAÚJO et al., 2011; KROTH et al., 2015; MOURA et al., 2021). Mas os resultados indicam que seria mais interessante adotar o sistema de pastejo com data variável, visando as melhores características do capim-sabiá.

Ao analisar os dados de NDVI coletados em diferentes ciclos e profundidades de instalação dos gotejadores e correlacioná-los com a produção de biomassa, foi possível ajustar um modelo de regressão potencial com boa precisão (Figura 7). Isso evidencia que, além de auxiliar na determinação do momento adequado do corte do capim ou pastejo, o NDVI também pode ser uma ferramenta eficaz na predição da biomassa. Santos et al. (2017), ao avaliarem a *Urochloa brizantha* cv. Marandu, também encontraram uma forte correlação entre NDVI e biomassa, congruente com os resultados deste estudo ($R^2 = 0,7464$). Resultados semelhantes foram observados por Rodrigues et al. (2021), que identificaram uma correlação positiva entre NDVI e biomassa em diversas espécies vegetais. Além disso, os autores mencionados constataram uma boa correlação entre os valores de NDVI e o coeficiente de cultivo (K_c), indicando que o NDVI também pode ser útil no manejo hídrico das culturas.

Figura 7 – Massa fresca da parte aérea (MFPA) do capim-sabiá em função do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)



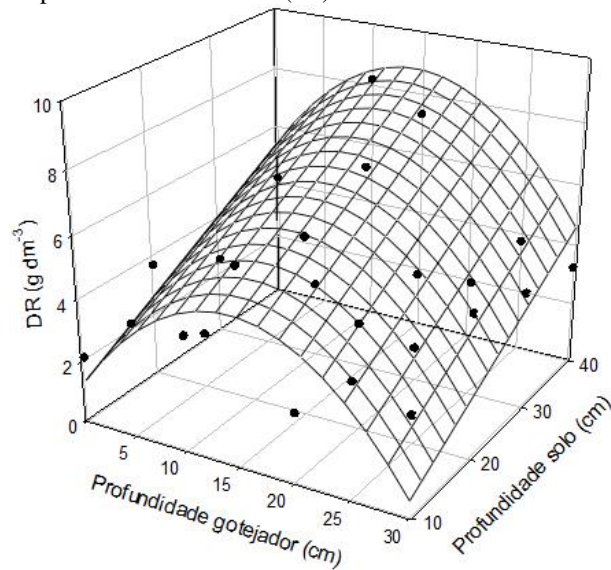
Fonte: Rocha (2024).

Contudo, é necessário adotar precauções na seleção do modelo e nas calibrações a fim de mitigar erros nas estimativas de biomassa. Um exemplo ilustrativo é o estudo de Chen et al. (2021), no qual foi constatada uma baixa relação ($R^2 < 0,39$) entre medidas in situ de biomassa forrageira e dados de NDVI, por meio de uma análise de regressão linear. A diferença destacada entre os dois conjuntos de dados indica que o uso do NDVI da vegetação na estimativa da biomassa requer precauções. Portanto, torna-se crucial explorar e calibrar diversos modelos, ajustando-os conforme as características específicas de cada região, com o intuito de minimizar erros nas previsões.

15.6 Sistema radicular

Ao término do experimento, após a remoção da parte aérea da planta, a densidade de raízes (DR) foi determinada em cada vaso até a profundidade de 40 cm. A DR do capim-sabiá aumentou linearmente ao longo do perfil do solo e apresentou comportamento quadrático em relação às diferentes profundidades de instalação dos gotejadores (Figura 8). A maior DR observada na maior profundidade do solo pode ser atribuída ao confinamento das raízes em pequeno volume imposto pela limitação do vaso. Assim, as raízes alcançaram o fundo dos vasos, iniciando um processo de enovelamento e, por consequência, aumentando a DR. Em estudos anteriores, Cunha et al. (2010) observaram que o sistema radicular da *Urochloa brizantha* cv. Marandu, que é da mesma espécie do capim-sabiá, atingiu profundidades de até 50 cm, valor esse superior à profundidade de 40 cm do vaso utilizado no presente estudo.

Figura 8 - Densidade de raízes (DR) do capim-sabiá em relação às profundidades de instalação dos gotejadores (PG) e às profundidades do solo (PS) onde foram realizadas as coletas.



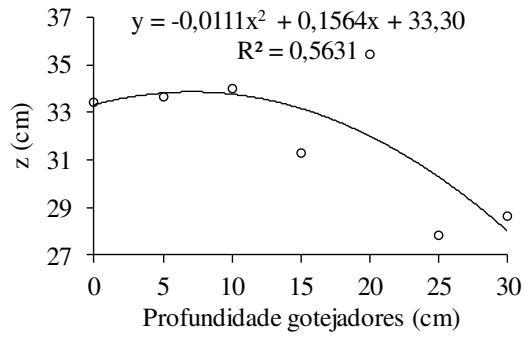
$$DR = 0,4777 PG + 0,1358 PS - 0,0168 PG^2 \quad R^2 = 0,6002$$

Fonte: Rocha (2024).

Utilizando a equação de regressão fornecida na Figura 8 e aplicando a derivada parcial, determinou-se que a profundidade de instalação dos gotejadores que maximizou a densidade de raízes (DR) foi de 14,2 cm. Nessa profundidade de instalação, os valores de DR variam entre 3,4 e 8,2 g dm⁻³ nas profundidades do solo de 0 a 40 cm, respectivamente. Por ser um parâmetro relacionado à biomassa de raízes, a DR desempenha um importante papel na absorção de água pelas plantas (CHEN et al., 2020; LI et al., 2018; METSELAAR et al., 2019). A maior DR alcançada com o gotejador instalado na profundidade ideal de 14,2 cm impulsionaria o fluxo de água sob menores gradientes de pressão, evitando dessa forma, o estresse hídrico. Por outro lado, no cenário de menor desenvolvimento radicular, maiores gradientes hidráulicos são necessários para atingir as densidades de fluxo compatíveis com a demanda atmosférica.

Observa-se na Figura 9 que a profundidade efetiva do sistema radicular (z) sofreu efeito quadrático em função da profundidade de instalação dos gotejadores. Com base na equação de regressão e aplicando a derivada parcial, verifica-se que a profundidade dos gotejadores de 7,1 cm maximiza a profundidade efetiva do sistema radicular, resultando no valor de 34,4 cm. Quanto maior é a profundidade efetiva do sistema radicular, maior é a capacidade total (CTA) e real de água no solo (CRA), trazendo maior segurança hídrica e maior economia por aumentar a precipitação efetiva (BERNARDO et al., 2019).

Figura 9 - Profundidade efetiva do sistema radicular (z) do capim-sabiá em função da profundidade de instalação dos gotejadores.



Fonte: Rocha (2024).

16. CONCLUSÕES

A *Urochloa* híbrida cv. Sabiá apresentou padrão típico de desenvolvimento sazonal, mesmo sendo irrigada. Houve redução no crescimento, desenvolvimento e produtividade quando as condições ambientais (principalmente radiação e temperatura do ar) foram menos favoráveis.

A profundidade de instalação dos gotejadores pouco influenciou as características morfogênicas, mas conferiu efeito nas características agrônômicas e no sistema radicular do capim-sabiá.

Houve melhoria no desempenho da cultura quando os gotejadores foram instalados a uma profundidade entre 10 e 20 cm, sendo esta recomendada para solos argilosos

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) demonstrou ser uma ferramenta promissora para a estimativa da produção de biomassa do capim-sabiá.

17. CONCLUSÃO GERAL

Os modelos gerados mostraram-se adequados e aplicáveis para simular a distribuição de água com gotejadores instalados em diferentes profundidades do solo sob as condições experimentais estudadas. Dessa forma, podem ser considerados uma ferramenta importante de auxílio para os técnicos e irrigantes na elaboração do projeto de irrigação subsuperficial com vistas ao uso mais eficiente desse sistema.

Pode-se identificar um melhor desempenho germinativo e produtivo do capim-sabiá, com base nas respostas relacionadas as características de germinação e de vigor das plântulas, bem como uma melhoria no desempenho da cultura quando os gotejadores foram instalados a uma profundidade de 10-20 cm. Isso propicia uma otimização no uso da água, mesmo sob distintas e desfavoráveis condições de cultivo, considerando benefícios como redução da evaporação da água e melhor distribuição da umidade no solo quando comparados a maiores profundidades.

REFERÊNCIAS

- ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. **Perfil da Pecuária no Brasil - Relatório Anual**, 2018. <http://abiec.siteoficial.ws/images/upload/sumario-pt-010217.pdf>
- ABREU, M. J. I.; PAULA, P. R. P.; TAVARES, V. B.; CIDRINI, I. A.; NUNES, H. O.; EMILIANO, W. J. C.; SOUZA, W. L.; COELHO, R. M.; NEIVA JÚNIOR, A. P.; TOMAZ, C. E. P. Morfogênese, características estruturais e acúmulo de forragem do *Megathyrus maximus* BRS Zuri submetido a adubação nitrogenada. **Boletim de Indústria Animal**, v. 77, e1486, 2020. <http://doi.org/10.17523/bia.2020.v77.e1486>
- AGUILERA, E.; GAONA, C. D.; LAUREANO, R. G.; PALOMO, C. R.; GUZMÁN, G. I.; ORTOLANI, L.; RODRÍGUEZ, M. S.; ESTÉVEZ, V. R. Agroecology for adaptation to climate change and resource depletion in the Mediterranean region. A review. **Agricultural Systems**, v. 181, p. 102809, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102809>
- AHMADI, S. H.; JAVANBAKHT, Z. Assessing the physical and empirical reference evapotranspiration (ET_o) models and time series analyses of the influencing weather variables on E_{to} in a semi-arid area. **Journal of Environmental Management**, v. 276, p. 111278, 2020. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111278>
- ALENCAR, C. A. B.; CUNHA, F. F.; MARTINS, C. E.; COSER, A. C.; ROCHA, W. S. D.; ARAUJO, R. A. S. Irrigação de pastagens: atualidade e recomendações para uso e manejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 1, p. 98-108, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001300012>
- ALLEN, L. N.; MACADAM, J. W. Irrigation and water management. **Forages**, v. 7, p. 497-513, 2020. <http://doi.org/10.1002/9781119436669.ch27>
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALMEIDA, J. P. N.; LESSA, B. F. T.; PINHEIRO, C. L.; GOMES, F. M.; MEDEIROS, S.; SILVA, C. C. Germinação e desenvolvimento de plântulas de *Amburana cearensis* em função do peso da semente, luz e temperatura. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 39, n. 4, p. 525-533, 2017. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v39i4.32786>
- AL-OGAIDI, A. A. M.; WAYAYOK, A.; ROWSHON, M. K.; ABDULLAH, A. F. Wetting patterns estimation under drip irrigation systems using an enhanced empirical model. **Agricultural Water Management**, v.176, p.203-213, 2016. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.06.002>
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ALVAREZ, V. V. H.; NOVAES, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P.

T. G. Eds. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999, p. 25-32.

ALVES, L. C.; SANTOS, M. E. R.; PEREIRA, L. E. T.; CARVALHO, A. N.; ROCHA, G. O.; CARVALHO, B. H. R.; VASCONCELOS, K. A.; ÁVILA, A. B. Morphogenesis of age groups of Marandu palisade grass tillers deferred and fertilised with nitrogen. **Semina**, v. 40, n. 6, p. 2683-2692, 2019. <http://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n6p2683>

AMORIM, M.; DUBREUIL, V. Intensity of urban heat islands in tropical and temperate climates. **Climate**, v. 5, n. 4, p. 91, 2017. <http://doi.org/10.3390/cli5040091>

ANDRETTA, M.; CALL, D. R.; NERO, L. A. Insights into antibiotic use in Brazilian dairy production. **International Journal of Dairy Technology**, v. 76, n. 1, p. 28-37, 2023. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12914>

ARAÚJO, E. D.; SANTOS, D. L.; ALVINO, F. C. G.; FERREIRA, L. B.; CUNHA, F. F. Predictive models of water application and distribution efficiency in conventional sprinkling. **Engenharia Agrícola**, v.40, p.24-33, 2020. <http://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v40n1p24-33/2020>

ARAÚJO, R. A. S.; CUNHA, F. F.; WENDLING, I. J.; SILVA, C. F.; CALAZANI, W. R.; EMERICK, J. A. N. Morfogênese e crescimento do capim-marandu consorciado com coco-anão sob irrigação e intervalos de desfolha. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 6, p. 856-864, 2011.

ARRAES, F. D. D.; MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N. Modeling soil water redistribution under surface drip irrigation. **Engenharia Agrícola**, v.39, p.55-64, 2019. <http://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39n1p55-64/2019>

AYARS, J. E.; FULTON, A.; TAYLOR, B. Subsurface drip irrigation in California - Here to stay? **Agricultural Water Management**, v. 157, p. 39-47, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.01.001>

BAJPAI, A.; KAUSHAL, A. Soil moisture distribution under trickle irrigation: a review. **Water Supply**, [S.L.], v. 20, n. 3, p. 761-772, 2020. <http://dx.doi.org/10.2166/ws.2020.005>.

BARBIERI, J. D.; FREITAS, P. S. L.; DALLACORT, R.; REZENDE, R.; SILVA, A. L. B. R.; FENNER, W.; CARVALHO, M. A. C. Influence of soil coverage on evapotranspiration and dual crop coefficients on soybean. **Journal of Experimental Agriculture International**, p. 111-125, 2020. <http://doi.org/10.9734/jeai/2020/v42i630546>

BARENBRUG. **Cultivar Sabiá: a Brachiaria desenvolvida geneticamente pela Barenbrug**. Ribeirão Preto: Empresa Agropecuária Barenbrug, 2022. Disponível em: www.barenbrug.com.br/brachiaria-sabia. Acesso em: 10 dez. 2023.

BAUNGRATZ, A. R.; BORBA, L. P.; MENEZES, B. M.; PORSCHE, J. L. M.; VENTURINI, T.; BORQUIS, R. R. A.; MESQUITA, E. E.; VALENTE, É. E. L.; BAUTISTA, F. C.; GONZÁLEZ, A. Z.; REYNA, V. A.; RÍOS, P. C.; GONZÁLEZ, M. R.; GONZÁLEZ, M. S. Validación de un modelo para estimar la extensión del bulbo de humedecimiento del suelo con riego por goteo. **Tecnología y Ciencias del Agua**, v.7, p.45-55, 2016.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. 9 ed. Viçosa: Editora UFV, 2019. 525 p.

BORDOVSKY, J. P.; CRANMER, A. M.; COLAIZZ, P. D.; LAMM, F. R.; EVETT, S. R.; HOWELL, T. A. Investigating strategies to improve crop germination when using SDI. In: Annual Central Plains Irrigation Conference, 24., 2012, Colby, Kansas. **Proceedings**. Colby, Kansas: CPIA, p. 117-132, 2012. <https://www.ksre.k-state.edu/sdi/reports/2012/Bordovsky12.pdf>

BORGES, G. S.; SILVA, N. A. M.; SANTOS, M. E. R. Structural and productive differences between deferred braúna, cayana and sabiá grasses. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 75, n. 6, p. 1155-1164, 2023. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-12989>

BRUNETTI, H. B.; CAVALCANTI, P. P.; DIAS, C. T. S.; PEZZOPANE, J. R. M.; SANTOS, P. M. Climate risk and seasonal forage production of marandu palisadegrass in Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, n. 3, e20190046, 2020. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020190046>

CAMARGO, F. C.; DIFANTE, G. S.; MONTAGNER, D. B.; EUCLIDES, V. P. B.; TAIRA, C. A. Q.; GURGEL, A. L. C.; SOUZA, D. L. Morphogenetic and structural traits of Ipyporã grass subjected to nitrogen fertilization rates under intermittent grazing. **Ciência Rural**, v. 52, n. 5, e20201074, 2022. <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20201074>

CARDOSO, A. S.; BARBERO, R. P.; ROMANZINI, E. P.; TEOBALDO, R. W.; ONGARATTO, F.; FERNANDES, M. H. M. R.; RUGGIERI, A. C.; REIS, R. A. Intensification: a key strategy to achieve great animal and environmental beef cattle production sustainability in brachiaria grasslands. **Sustainability**, v. 12, n. 16, p. 1-17, 2020. <http://doi.org/10.3390/su12166656>

CHARLESWORTH, P. B.; MUIRHEAD, W. A. Crop establishment using subsurface drip irrigation: a comparison of point and area sources. **Irrigation Science**, v. 22, n. 3-4, p. 171-176, 2003. <https://doi.org/10.1007/s00271-003-0082-6>

CHEN, Y.; GUERSCHMAN, J.; SHENDRYK, Y.; HENRY, D.; HARRISON, M. T. Estimating pasture biomass using Sentinel-2 imagery and machine learning. **Remote Sensing**, v. 13, n. 4, p. 603, 2021. <http://doi.org/10.3390/rs13040603>

CHEN, Z.; KHAN, A.; SHI, X.; HAO, X.; TAN, D. K. Y.; CHIODINI, B. M.; SILVA, C. T. A. C. Efeito da temperatura na germinação de sementes de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (Hochst. ex A. Rich.) Stapf (Poaceae). **Revista Varia Scientia Agrárias**, v. 3, n. 2, p. 105-113, 2013.

COSTA, A. B. G.; DIFANTE, G. S.; CAMPELO, B. A. M.; GURGEL, A. L. C.; COSTA, C. M.; THEODORO, G. F.; SILVA, Á. T. A.; EMERENCIANO NETO, J. V.; DIAS, A. M.; FERNANDES, P. B. Morphogenetic, structural and production traits of marandu grass under nitrogen rates in Neo soil. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 73, n. 3, p. 658-664, 2021. <http://doi.org/10.1590/1678-4162-12301>

- COUTINHO, M. J. F.; CARNEIRO, M. S. S.; EDVAN, R. L.; BEZERRA, L. R.; FERREIRA, R. R.; ARAÚJO, M. J.; BIAGIOTTI, D.; LIMA NETO, A. F. Crescimento e produção do capim massai sob déficit hídrico. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 35690-35700, 2020. <http://doi.org/10.34117/bjdv6n6-200>
- CUNHA, F. F.; RAMOS, M. M.; ALENCAR, C. A. B.; MARTINS, C. E.; COSER, A. C.; OLIVEIRA, R. A. Sistema radicular de seis gramíneas irrigadas em diferentes adubações nitrogenadas e manejos. **Acta Scientiarum-Agronomy**, v. 32, n. 2, p. 351-357, 2010. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i2.1020>
- CUNHA, F. F.; SOARES, A. A.; PEREIRA, O. G.; LAMBERTUCCI, D. M.; ABREU, F. V. S. Características morfogênicas e perfilhamento do *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia irrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 628-635, 2007. <http://doi.org/10.1590/S1413-70542007000300005>
- DEMILLY, D.; DUCOURNAU, S.; WAGNER, M. H.; DÜRR, C. Digital imaging of seed germination. **Plant Image Analysis**, v. 1, p. 147-164, 2014. <http://doi.org/10.1201/b17441-8>
- DI MARZO, M.; BABOLIN, N.; VIANA, V. E.; OLIVEIRA, A. C.; GUGI, B.; CAPORALI, E.; UBALDO, H. H.; ESTRADA, E. M.; DRIOUICH, A.; FOLTER, S.; COLOMBO, L.; EZQUER, I. The genetic control of SEEDSTICK and LEUNIG-HOMOLOG in seed and fruit development: new insights into cell wall control. **Plants**, v. 11, n. 22, p. 3146, 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11223146>
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1979. 193 p.
- DRIESEN, E.; ENDE, D.; PROFT, M. de; SAEYS, W. Influence of environmental factors light, CO₂, temperature, and relative humidity on stomatal opening and development: a review. **Agronomy**, v. 10, n. 12, p. 1975, 2020. <http://doi.org/10.3390/agronomy10121975>
- DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J. L. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Confins**, n. 37, p. 1-22, 2018. <http://doi.org/10.4000/confins.15738>
- DUCHINI, P. G.; GUZATTI, G. C.; ECHEVERRIA, J. R.; AMÉRICO, L. F.; SBRISSIA, A. F. Experimental evidence that the perennial grass persistence pathway is linked to plant growth strategy. **Plos One**, v. 13, n. 11, p. 350-360, 2018. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0207360>
- DURAND, M.; MURCHIE, E. H.; LINDFORS, A. V.; URBAN, O.; APHALO, P. J.; ROBSON, T. M. Diffuse solar radiation and canopy photosynthesis in a changing environment. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 311, p. 108684, 2021. <http://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108684>
- ELNESR, M. N.; ALAZBA, A. A. Computational evaluations of HYDRUS simulations of drip irrigation in 2D and 3D domains (i-Surface drippers). **Computers and Electronics in Agriculture**, v.162, p.189-205, 2019. <http://doi.org/10.1016/j.compag.2019.03.035>
- ELNESR, M. N.; ALAZBA, A. A. The effects of three techniques that change the wetting

patterns over subsurface drip-irrigated potatoes. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 13, n. 3, p. 1204-1216, 2015. <https://doi.org/10.5424/sjar/2015133-7102>

EMADODIN, I.; CORRAL, D. E. F.; REINSCH, T.; KLUB, C.; TAUBE, F. Climate Change Effects on Temperate Grassland and Its Implication for Forage Production: a case study from northern germany. **Agriculture**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 232, 2021. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture11030232>.

FARIAS, L. N.; ZANINE, A. M.; FERREIRA, D. J.; RIBEIRO, M. D.; SOUZA, A. L.; GERON, L. J. V.; PINHO, R. M. A.; SANTOS, E. M. Effects of nitrogen fertilization and seasons on the morphogenetic and structural characteristics of Piatã (*Brachiaria brizantha*) grass. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias**, v. 51, n. 2, p. 42-54, 2019.

FAROOQ, M.; BASRA, S. M. A.; AHMAD, N.; HAFEEZ, K. Thermal hardening: a new seed vigor enhancement tool in rice. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 47, n. 2, p. 187-193, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2005.00031.x>

FELIX, F. C.; ARAÚJO, F. S.; SILVA, M. D.; FERRARI, C. S.; PACHECO, M. V. Water and thermal stress on the germination *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit seeds. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 2, p. e5515, 2018. <https://doi.org/10.5039/agraria.v13i2a5515>

FENG, W., LINDNER, H., ROBBINS, N. E., DINNENY, J. R. Growing out of stress: the role of cell-and organ-scale growth control in plant water-stress responses. **The Plant Cell**, v. 28, n. 8, p. 1769-1782, 2016. <https://doi.org/10.1105/tpc.16.00182>

FERREIRA, L. B.; CUNHA, F. F.; SEDIYAMA, G. C.; CAMPOS, F. B. HS Cal software for the calibration of the Hargreaves-Samani equation. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.54, p.e00226, 2019. <http://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00226>

FERREIRA, S. R. M.; ARAÚJO, A. G. D.; BARBOSA, F. A. S.; R.; BEZERRA, I. M. L. Analysis of changes in volume and propagation of cracks in expansive soil due to changes in water content. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, e0190169, 2020. <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20190169>

GHALKHANI, A.; GOLZARDI, F.; KHAZAEI, A.; MAHROKH, A.; ILLÉS, Á.; BOJTOR, C.; MOUSAVI, S. M. N.; SZÉLES, A. Irrigation management strategies to enhance forage yield, feed value, and water-use efficiency of sorghum cultivars. **Plants**, v. 12, n. 11, p. 2154, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12112154>

GHAZOUANI, H.; RALLO, G.; MGUIDICHE, A.; LATRECH, B.; DOUH, B.; BOUJELBEN, A.; POVENZANO, G. Assessing Hydrus-2D model to investigate the effects of different on-farm irrigation strategies on potato crop under subsurface drip irrigation. **Water**, v.11, p.540, 2019. <http://doi.org/10.3390/w11030540>

GOMIDE, C. A. M.; GOMIDE, J. A. Morfogênese de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 2, p. 341-348, 2000. <http://doi.org/10.1590/s1516-35982000000200004>

GUAN, X.; YANG, M.; BAI, T.; HAN, J.; HUANG, J.; WANG, J.; WANG, T. Suitable deep

sowing increasing emergence rate and promoting summer maize growth in seeding stage under subsurface drip irrigation. **Transactions of the CSAE**, v. 32, n. 13, p. 75-80, 2016. <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2016.13.011>

GUIMARÃES, C. M.; CUNHA, F. F.; SILVA, F. C. S.; ARAUJO, E. D.; GUIMARÃES, A. B. F.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. J. H. Agronomic performance of lettuce cultivars submitted to different irrigation depths. **PLoS One**, v. 14, p. e0224264, 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224264>

HASSAN, M. U.; CHATTHA, M. U.; KHAN, I.; CHATTHA, M. B.; BARBANTI, L.; AAMER, M.; IQBAL, M. M.; NAWAZ, M.; MAHMOOD, A.; ALI, A.; ASLAM, M. T. Heat stress in cultivated plants: Nature, impact, mechanisms, and mitigation strategies - A review. **Plant Biosystems**, v. 155, n. 2, p. 211-234, 2021. <https://doi.org/10.1080/11263504.2020.1727987>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria.html>

IQBAL, M.; GHUMMAN, A. R.; HASHMI, H. N. Study of wetting pattern under drip-emitter using sand box model and empirical equations. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v.54, p.699-709, 2017. <http://doi.org/10.21162/pakjas/17.6086>

ISTA. The germination test. In: International rules for seed testing, Zurich. **Anais...** Zurich: International Seed Testing Association, p. 5-56, 2015. <http://doi.org/10.15258/istarules.2015.05>

JESUS, F. L. F.; SANCHES, A. C.; SOUZA, D. P.; MENDONÇA, F. C.; GOMES, E. P.; SANTOS, R. C.; SANTOS, J. E. O.; SILVA, J. L. B. Seasonality of biomass production of irrigated Mombaça ‘Guinea grass’. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v. 71, n. 3, p. 156-164, 2021. <http://doi.org/10.1080/09064710.2020.1863456>

KARIMI, B.; KARIMI, N.; SHIRI, J.; SANIKHANI, H. Modeling moisture redistribution of drip irrigation systems by soil and system parameters: regression-based approaches. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v.36, p.157-172, 2021. <http://doi.org/10.1007/s00477-021-02031-y>

KARIMI, B.; KARIMI, N.; SHIRI, J.; SANIKHANI, H. Modeling moisture redistribution of drip irrigation systems by soil and system parameters: regression-based approaches. **Stochastic Environmental Research And Risk Assessment**, [S.L.], v. 36, n. 1, p. 157-172, 2021. <http://dx.doi.org/10.1007/s00477-021-02031-y>.

KARIMI, B.; MOHAMMADI, P.; SANIKHANI, H.; SALIH, S. Q.; YASEEN, Z. M. Modeling wetted areas of moisture bulb for drip irrigation systems: an enhanced empirical model and artificial neural network. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.178, p.105767, 2020. <http://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105767>

KARIMI, B.; MOHAMMADI, P.; SANIKHANI, H.; SALIH, S. Q.; YASEEN, Z. M. Modeling wetted areas of moisture bulb for drip irrigation systems: an enhanced empirical

model and artificial neural network. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 178, p. 105-115, 2020. <http://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105767>

KERMANI, S. G.; SAYARI, S.; KISI, O.; KERMANI, M. Z. Comparing data driven models versus numerical models in simulation of waterfront advance in furrow irrigation. **Irrigation Science**, v.37, p.547-560, 2019. <http://doi.org/10.1007/s00271-019-00635-5>

KHATTAK, M. S.; ALI, W.; AJMAL, M.; KHALIL, T. M.; AHMAD, J.; MALIK, A.; AKBAR, G. Assessment of wetted irrigation patterns for inline and online emitters in different soil textures. **Journal of Himalayan Earth Science**, v.50, p.149-163, 2017.

KROTH, B. E.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; KOETZ, M.; SCHLICHTING, A. F. Cultivares de *Brachiaria brizantha* sob diferentes disponibilidades hídricas em Neossolo Flúvico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 5, p. 464-469, 2015. <http://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n5p464-469>

LABOURIAU, L. G. **Uma nova linha de pesquisa na fisiologia da germinação das sementes**. Congresso Nacional de Botânica. SBB, Porto Alegre, 11-50, 1983.

LAGE FILHO, N. M.; LOPES, A. R.; RÊGO, A. C.; DOMINGUES, F. N.; FATURI, C.; SILVA, T. C.; CÂNDIDO, E. P.; SILVA, W. L. Effects of stubble height and season of the year on morphogenetic, structural and quantitative traits of Tanzania grass. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 9, n. 3, p. 256-267, 2021. [http://doi.org/10.17138/tgft\(9\)256-267](http://doi.org/10.17138/tgft(9)256-267)

LAMM, F. R.; COLAIZZI, P. D.; SORENSEN, R. B.; BORDOVSKY, J. P.; DOUGHERTY, M.; BALKCOM, K.; ZACCARIA, D.; BALI, K. M.; RUDNICK, D. R.; PETERS, R. T. A 2020 vision of subsurface drip irrigation in the U.S. **Transactions of the ASABE**, v. 64, n. 4, p. 1319-1343, 2021. <http://doi.org/10.13031/trans.14555>

LI, J.; XU, X.; LIN, G.; WANG, Y.; LIU, Y.; ZHANG, M.; ZHOU, J.; WANG, Z.; ZHANG, Y. Micro-irrigation improves grain yield and resource use efficiency by co-locating the roots and N-fertilizer distribution of winter wheat in the North China Plain. **Science of The Total Environment**, v. 643, p. 367-377, 2018. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.157>

LI, X.; WEN, Y.; ZHANG, J.; LIU, L.; JIN, L.; YAN, T.; WANG, Y. The effect of low-temperature event on the survival and growth of *Juglans mandshurica* seedlings within forest gaps. **Journal of Forestry Research**, v. 29, n. 4, p. 943-951, 2018. <http://doi.org/10.1007/s11676-017-0520-6>.

LIU, G.; YANG, Y.; LIU, W.; GUO, X.; XUE, J.; XIE, R.; MING, B.; WANG, K.; HOU, P.; LI, S. Leaf removal affects maize morphology and grain yield. **Agronomy**, v. 10, n. 2, p. 269, 2020. <http://doi.org/10.3390/agronomy10020269>

LIU, Z.; XU, Q. Wetting patterns estimation in cultivation substrates under drip irrigation. **Desalination and Water Treatment**, v.113, p.319-324, 2018. <http://doi.org/10.5004/dwt.2018.22324>

LLANOS, E.; ASTIGARRAGA, L.; PICASSO, V. Energy and economic efficiency in grazing dairy systems under alternative intensification strategies. **European Journal of**

Agronomy, v. 92, n. 1, p. 133-140, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.10.010>

LÓPEZ, A. S.; LÓPEZ, D. R.; ARANA, M. V.; BATLLA, D.; MARCHELLI, P. Germination response to water availability in populations of *Festuca pallescens* along a Patagonian rainfall gradient based on hydrotime model parameters. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1-11, 2021. <http://doi.org/10.1038/s41598-021-89901-1>

LU, P.; SHENG, Z.; ZHANG, Z.; MILLER, G.; REINERT, S.; HUANG, M. Effect of multilayered groundwater mounds on water dynamics beneath a recharge basin: Numerical simulation and assessment of surface injection. **Hydrological Processes**, v.35, e14193, 2021. <http://doi.org/10.1002/hyp.14193>

LUO, H. Water-nutrient management enhances root morpho-physiological functioning, phosphorus absorption, transportation and utilization of cotton in arid region. **Industrial Crops and Products**, v. 143, e111975, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111975>
 MACEDO, V. P. Nutrient characterization and mineral composition of aruana in a silvopastoral system with nitrogen fertilization. **Grasses**, v. 3, p. 11-18, 2024. <https://doi.org/10.3390/grasses3010002>

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, p. 176-177, 1962. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>

MARÍN, J. M. C.; JIMÉNEZ, E. O.; QUIROZ, J. F. E.; HUERTA, H. V.; ESTRADA, J. A. S. E.; MEDINA, A. A. Analysis of the growth of Chetumal grass established in a tropical climate. **Agro Productividad**, v. 16, n. 12, p. 147-153, 2023. <https://doi.org/10.32854/agrop.v16i12.2781>

MARTUSCELLO, J. A.; AMORIM, P. L.; CUNHA, D. N. F. V.; FERREIRA, P. S.; RIBEIRO, L. S.; SOUZA, M. W. Morfogênese e estrutura do capim-braquiária em sistema de integração agricultura e pecuária. **Revista Ciência Agrícola**, v. 15, n. 1, p. 33, 2017. <http://doi.org/10.28998/rca.v15i1.2537>

MELO, M. C.; GUIMARÃES, L. C.; SILVA, P. L.; CAMARGO, D. D.; DRUMOND, L. C. D. Crescimento e produtividade de *Brachiaria* adubada e irrigada por gotejamento subsuperficial. **Irriga**, v. 25, p. 112-130, 2020. <https://doi.org/10.15809/irriga.2020v25n1p112-130>

METSELAAR, K.; PINHEIRO, E. A. R.; LIER, Q. J. Mathematical description of rooting profiles of agricultural crops and its effect on transpiration prediction by a hydrological model. **Soil Systems**, v. 3, n. 3, p. 44, 2019. <http://doi.org/10.3390/soilsystems3030044>

MO, Y.; LI, G.; WANG, D.; LAMM, F. R.; WANG, J.; ZHANG, Y.; CAI, M.; GONG, S. Planting and preemergence irrigation procedures to enhance germination of subsurface drip irrigated corn. **Agricultural Water Management**, v. 242, p. 1-12, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106412>

MOHAMMED, M. E. A.; ALHAJHOJ, M. R.; ALI-DINAR, H. M.; MUNIR, M. Impact of a Novel Water-Saving Subsurface Irrigation System on Water Productivity, Photosynthetic

Characteristics, Yield, and Fruit Quality of Date Palm under Arid Conditions. **Agronomy**, [S.L.], v. 10, n. 9, p. 1265, 2020. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10091265>.

MONCEF, H. Optimizing emitters' density and water supplies in trickle irrigation systems. **American Journal of Water Science and Engineering**, v.5, p.16, 2019. <http://doi.org/10.11648/j.ajwse.20190501.13>

MONCEF, H.; KHEMAIES, Z. An analytical approach to predict the moistened bulb volume beneath a surface point source. **Agricultural Water Management**, v.166, p.123-129, 2016. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.12.020>

MORENO, L. S. B.; PEDREIRA, C. G. S.; BOOTE, K. J.; ALVES, R. R. Base temperature determination of tropical Panicum spp. grasses and its effects on degree-day-based models. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 186, p. 26-33, 2014. <http://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.09.013>

MOTA, V. J. G.; CARVALHO, A. J. de; OLIVEIRA, F. G.; GOMES, V. M.; MONÇÃO, F. P.; MOTA FILHO, V. J. G. Determinação do coeficiente de cultura do capim-mombaça manejado em diferentes estações do ano no semiárido mineiro. **Irriga**, v. 25, n. 1, p. 170-183, 2020. <https://doi.org/10.15809/irriga.2020v25n1p170-183>

MOURA, A. M.; TOMICH, T. R.; PEREIRA, L. G. R.; PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, C. A. M.; GONÇALVES, L. C. Nutritive value and in vitro methane production of *Urochloa brizantha* cv. Marandu under fixed time or variable stocking cycles. **Grass and Forage Science**, v. 76, n. 3, p. 427-439, 2021. <https://doi.org/10.1111/gfs.12509>

MUÑOZ, I. C.; HERNÁNDEZ, J. V. P.; RUIZ, A. M.; RAMÍREZ, F. P.; ACEVEDO, D. C.; MUÑOZ, D. C. An improved empirical model for estimating the geometry of the soil wetting front with surface drip irrigation. **Water**, v.14, p.1827, 2022. <http://doi.org/10.3390/w14111827>

NIÑO, J. M. D.; MANERA, J. O.; ARBAT, G.; GIRONA, J.; CASADESÚS, J. Analysis of the variability in soil moisture measurements by capacitance sensors in a drip-irrigated orchard. **Sensors**, v. 20, n. 18, p. 5100, 2020. <http://doi.org/10.3390/s20185100>

OLIVEIRA, J. K. S.; CORRÊA, D. C.; CUNHA, A. M. Q.; RÊGO, A. C.; FATURI, C.; SILVA, W. L.; DOMINGUES, F. N. Effect of nitrogen fertilization on production, chemical composition and morphogenesis of guinea grass in the humid tropics. **Agronomy**, v. 10, n. 11, p. 1840, 2020. <http://doi.org/10.3390/agronomy10111840>

PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, C. A. M.; CASTRO, C. R. T.; MAURÍCIO, R. M.; FERNANDES, P. B.; MORENZ, M. J. F. Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. **Grass and Forage Science**, v. 72, n. 3, p. 590-600, 2016. <http://doi.org/10.1111/gfs.12264>

POMPEU, J.; NOLASCO, C. L.; WEST, P.; SMITH, P.; GERAGE, J.; OMETTO, J. Is domestic agricultural production sufficient to meet national food nutrient needs in Brazil? **Plos One**, v. 16, n. 5, e0251778, 2021. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0251778>

PRUDENTE, D.; PAIVA, R. Seed dormancy and germination: physiological considerations. **Journal of Cell and Developmental Biology**, v. 2, n. 1, p. 1-2, 2018.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020. <https://www.R-project.org/>

RAMOS, B. L. P.; PEDREIRA, M. S.; SANTOS, H. P.; CRUZ, N. T.; PEZENTI, E.; SILVA, A. S.; DIAVÃO, J.; MORENZ, M. J. F.; PITTA, B. S. L.; FRIES, D. D. Forage production, morphogenetic and structural components, and nutritional value of tropical grasses in the semiarid condition. **Semina**, v. 43, n. 6, p. 2499-2516, 2022. <http://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n6p2499>

RAMOS, C. E. C. O.; OLIVEIRA, G. A. Morphogenic and structural characteristics and chemical composition of grass aruana, submitted to nitrogen fertilization. **Semina**, v. 40, n. 62, p. 3167-3179, 2019. <http://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n6supl2p3167>

RAVIKUMAR, V.; ANGALEESWARI, M.; VALLALKANNAN, S. Design and evaluation of drip irrigation system for sugarcane in India. **Sugar Tech**, v.23, p.1085-1096, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12355-021-00983-7>

REIS, M. M.; SANTOS, L. D. T.; OLIVEIRA, F. G.; SANTOS, M. V. Irrigação de pastagens tropicais: desafios e perspectivas. **Revista Unimontes Científica**, v. 19, n. 1, 2017.

RICHARDSON, F.; BRODRIBB, T. J.; JORDAN, G. J. Amphistomatic leaf surfaces independently regulate gas exchange in response to variations in evaporative demand. **Tree Physiology**, v. 37, n. 7, p. 869-878, 2017. <http://doi.org/10.1093/treephys/tpx073>

ROCHA, M. O.; MIRANDA, A. G. S.; SILVA, P. A.; TEIXEIRA, A. S.; CUNHA, F. F. Predicting the spatial distribution of water applied by subsurface drip in clay soil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 28, n. 5, e277102, 2024. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n5e277102>

ROCHA, M. O.; TEIXEIRA, A. S.; SILVA FILHO, F. C.; GONDIM, R. S.; SOUSA, A. B. O. The use of numerical modelling to assess soil water dynamics in subsurface irrigation. **Revista Ciência Agronômica**, v. 54, p. e20217808, 2023. <http://doi.org/10.5935/1806-6690.20230034>

ROCSCIENCE INC. 2010, SLIDE Version 6.0 – 2D Limit Equilibrium Slope Stability Analysis. www.rocscience.com, Toronto, Ontario, Canada.

RODRIGUES, T. F.; CUNHA, F. F.; SILVA, G. H.; SACRAMENTO, A. M. H.; MENEZES, O. C.; BARROS, T. M.; PINHEIRO, D. N.; JAEGER, S. M. P. L.; RIBEIRO, O. L.; CONDE, S. B.; SILVA, F. C. S. Water use of different weed species using lysimeter and NDVI. **Advances in Weed Science**, v. 39, p. e021233767, 2021. <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2021;39:00004>

SANCHES, A. C.; GOMES, E. P.; RICKLI, M. E.; FASOLIN, J. P.; SOARES, M. R. C.; GOES, R. H. Produtividade e valor nutritivo do capim Tifton 85 irrigado e sobressemeado com aveia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 126-133, 2015. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n2p126-133>

SANTOS, G. O.; ROSALEN, D. L.; FARIA, R. T. Use of active optical sensor in the characteristics analysis of the fertigated brachiaria with treated sewage. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 6, p. 1213-1221, 2017. <http://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n6p1213-1221/2017>

SANTOS, M. E. R.; CARDOSO, R. C.; SILVA, G. P.; CARVALHO, B. H. R.; BASSO, K. C.; VAN CLEEF, F. O. S.; CARVALHO, A. N.; MEDICA, J. A. S. The morphogenesis of marandu palisadegrass at fixed or variable heights in different seasons of the year. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 2, p. 332-340, 2020. <http://doi.org/10.14393/bj-v36n2a2020-42217>

SANTOS, T. B.; RIBAS, A. F.; SOUZA, S. G. H.; BUDZINSKI, I. G. F.; DOMINGUES, D. S. Physiological responses to drought, salinity, and heat stress in plants: a review. **Stresses**, v. 2, n. 1, p. 113-135, 2022. <http://doi.org/10.3390/stresses2010009>

SBRISSIA, A. F.; DUCHINI, P. G.; ZANINI, G. D.; SANTOS, G. T.; PADILHA, D. A.; SCHMITT, D. Defoliation strategies in pastures submitted to intermittent stocking method: underlying mechanisms buffering forage accumulation over a range of grazing heights. **Crop Science**, v. 58, n. 2, p. 945-954, 2018. <http://doi.org/10.2135/cropsci2017.07.0447>

SCHWERTNER, J. J. G.; SCHWERTNER, E.; SOUZA, F. R.; SILVA, R. A.; CORONEL, D. A. Desempenho dos principais estados brasileiros exportadores de carne bovina (2000-2020). **Revista do Instituto de Ciências Econômicas, Administrativas e Contábeis**, v. 26, n. 2, p. 27-45, 2022. <https://doi.org/10.17648/2236-7608-v26n2-13668>

SELEMANI, I. S. Growth and yield of three Brachiaria cultivars from the Southern Highlands, Rungwe, Mbeya, Tanzania. **Tanzania Journal of Agricultural Sciences**, v. 21, n. 2, p. 161-169, 2022.

SEYAR, M. H.; AHAMED, T. Development of an IoT-based precision irrigation system for tomato production from indoor seedling germination to outdoor field production. **Applied Sciences**, v. 13, n. 9, p. 5556, 2023. <http://doi.org/10.3390/app13095556>

SHAOLEI, G.; SHUNSHENG, W. Irrigation regime for protection on root intrusion for subsurface drip irrigation. **Journal of Biobased Materials and Bioenergy**, v.15, p.639-647, 2021. <https://doi.org/10.1166/jbmb.2021.2098>

SHIRI, J.; KARIMI, B.; KARIMI, N.; KAZEMI, M. H.; KARIMI, S. Simulating wetting front dimensions of drip irrigation systems: multi criteria assessment of soft computing models. **Journal of Hydrology**, v.585, p.124792, 2020. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124792>

SIERRA, A. J. Z.; PÉREZ, M. F. M.; REQUENA, R. R.; AGUGLIARO, F. M. Root distribution with the use of drip irrigation on layered soils at greenhouses crops. **Science of The Total Environment**, v. 768, p. 144944, 2021. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.144944>

SIERRA, A. Z.; CAÑAS, J. R.; REQUENA, R. E.; PÉREZ, M. M. Study of the wet bulb in stratified soils (sand-covered soil) in intensive greenhouse agriculture under drip irrigation by

calibrating the Hydrus-3D model. **Water**, v.13, p.600, 2021.
<http://doi.org/10.3390/w13050600>

SILVA NETO, I. M.; SOUZA, A. L.; ZANINE, A. M.; ABREU, J. G.; FERREIRA, D. J.; TORAL, F. L. B.; ALVES, G. R.; CASTRO, W. J. R.; PINHO, R. M. A. Morphogenetic and structure characteristics of marandu grass subjected to grazing management strategies. **Biological Rhythm Research**, v. 51, n. 6, p. 898-906, 2019.
<http://doi.org/10.1080/09291016.2018.1558738>

SILVA, J. R. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTEIRO, A. L. N.; SILVA JUNIOR, V. P. Modelagem da dinâmica de umidade do solo em diferentes condições de cobertura no semiárido pernambucano. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.10, p.293-303, 2015.
<http://doi.org/10.5039/agraria.v10i2a4219>

SILVA, J. T.; COSTA, K. A. P.; SILVA, V. C. S.; SOUZA, W. F.; TEIXEIRA, D. A. A.; SEVERIANO, E. C. Morphogenesis, structure, and dynamics of paiaguas palisadegrass tillering after intercropping with sorghum for the recovery of pasture in different forage systems. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 5, p. 1663-1675, 2020. <http://doi.org/10.14393/bj-v36n5a2020-47747>

SILVA, L. J.; MEDEIROS, A. D.; OLIVEIRA, A. M. S. SeedCalc, a new automated R software tool for germination and seedling length data processing. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 2, p. 250-257, 2019. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v42n2217267>

SILVA, T. C. SIMÕES, C. R.; ROSSIELLO, R. O. P.; GRACIOSA, M. G.; MACHADO, M. L.; SILVA, C. F. Imagens multiespectrais para avaliação de índice de área foliar e massa seca do capim 'Tifton 85', sob adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v. 45, n. 4, p. 697-703, 2015.
<http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131424>

SIMPSON, M.; BOSCHMA, S. P.; ALEMSEGED, Y.; NEWELL, M. T.; NORTON, M. R.; SMITH, W. J.; BRENNAN, M. A.; DAY, N.; HARDEN, S.; PRICE, A. Seedling emergence of tropical perennial pasture species in response to temperature used to determine sowing time recommendations. **Tropical Grasslands-Forrajões Tropicales**, v. 11, n. 3, p. 198-209, 2023.
[http://doi.org/10.17138/TGFT\(11\)199-209](http://doi.org/10.17138/TGFT(11)199-209)

SINGH, M.; THAPA, R.; KUKAL, M. S.; IRMAK, S.; MIRSKY, S.; JHALA, A. J. Effect of water stress on weed germination, growth characteristics, and seed production: a global meta-analysis. **Weed Science**, v. 70, n. 6, p. 621-640, 2022. <http://doi.org/10.1017/wsc.2022.59>

SLOT, M.; WINTER, K. Photosynthetic acclimation to warming in tropical forest tree seedlings. **Journal of Experimental Botany**, v. 68, n. 9, p. 2275-2284, 2017.
<http://doi.org/10.1093/jxb/erx071>

SOLAT, S.; ALINAZARI, F.; MAROUFPOOR, E.; SHIRI, J.; KARIMI, B. Modeling moisture bulb distribution on sloping lands: numerical and regression-based approaches. **Journal of Hydrology**, v.601, p.126835, 2021. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126835>

SOUSA, C. M.; BITTAR, D. Y.; BUSO, W. H. D. Responses of *Panicum* and *Brachiaria* to irrigation during winter in the Goiás' Cerrado-Brazil. **Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias Uncuyo**, v. 54, n. 2, p. 117-125, 2022. <http://doi.org/10.48162/rev.39.088>

- SOUZA, D. P. S.; SANCHES, A. C.; MENDONÇA, F. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; AMORIM, D. M.; JESUS, F. L. F. Crop coefficient estimated by degree-days for 'Marandu' palisadegrass and mixed forage. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo**, v. 53, n. 2, p. 71-81, 2021. <https://doi.org/10.48162/rev.39.041>
- SUBBAIAH, R.; MASHRU, H. H. Modeling for predicting soil wetting radius under point source surface trickle irrigation. **Agricultural Engineering International**, v.15, p.1-10, 2013.
- TURCO, M.; KODELOVA, R.; BRUNETTI, G.; NIKODEM, A.; FÉR, M.; PIRO, P. Unsaturated hydraulic behaviour of a permeable pavement: Laboratory investigation and numerical analysis by using the HYDRUS-2D model. **Journal of Hydrology**, v.554, p.780-791, 2017. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.10.005>
- URSULINO, B. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; COUTINHO, A. P.; COELHO, V. H. R.; ARAÚJO, D. C. S.; GUSMÃO, A. C. V.; SANTOS NETO, S. M.; LASSABATERE, L.; JARAMILLO, R. A. Modelling soil water dynamics from soil hydraulic parameters estimated by an alternative method in a tropical experimental basin. **Water**, v.11, p.1007, 2019. <http://doi.org/10.3390/w11051007>
- VADAR, H. R.; PANDYA, P. A.; PATEL, R. J. Effect of subsurface drip irrigation depth scheduling in summer Okra. **Emergent Life Sciences Research**, v. 5, n. 2, p. 52-61, 2019. <http://doi.org/10.31783/elser.2019.525261>
- VIGO, A.; ZUBELZU, S.; JUANA, L. Numerical routine for soil water dynamics from trickle irrigation. **Applied Mathematical Modelling**, v.83, p.371-385, 2020. <http://doi.org/10.1016/j.apm.2020.01.058>
- VIRK, S.; PORTER, W.; SNIDER, J.; RAINS, G.; LI, C.; LIU, Y. Cotton emergence and yield response to planter depth and downforce settings in different soil moisture conditions. **Agriengineering**, v. 3, n. 2, p. 323-338, 2021. <http://doi.org/10.3390/agriengineering3020022>
- XUE, J.; SU, B. Significant remote sensing vegetation indices: a review of developments and applications. **Journal of Sensors**, v. 2017, p. 1-17, 2017. <http://doi.org/10.1155/2017/1353691>
- WANG, J. D.; ZHANG, Y. Q.; GONG, S. H.; XU, D.; ZHAO, Y. F. Study on application effects of shallow subsurface drip irrigation mode under mulch. **Journal of Irrigation and Drainage**, v. 34, n. 11, p. 1-5, 2015. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195965>
- WANG, Y.; LIU, C.; CUI, P.; SU, D. Effects of partial root-zone drying on alfalfa growth, yield and quality under subsurface drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 245, n. 3, p. 106608, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106608>
- YANG, D.; GUAN, K.; LIU, Y.; CUI, Y.; DING, M.; WANG, L.; HAN, L.; WANG, P.; KANG, P.; WANG, C. Effects of drip irrigation pattern and water regulation on the accumulation and allocation of dry matter and nitrogen, and water use efficiency in summer maize. **Acta Agronomica Sinica**, v. 45, n. 3, p. 443-459, 2019. <http://doi.org/10.3724/sp.j.1006.2019.83026>

- YANG, D.; LEGHARI, J.; GUAN, K.; MA, C.; DING, M.; MEI, J.; WEI, L.; WANG, C. Deficit subsurface drip irrigation improves water use efficiency and stabilizes yield by enhancing subsoil water extraction in winter wheat. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 508, 2020. <http://doi.org/10.3389/fpls.2020.00508>
- YE, X.; WEN, R.; YANG, H.; LU, P.; LU, L. Effects of post-silking water deficit on the leaf photosynthesis and senescence of waxy maize. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 19, n. 9, p. 2216-2228, 2020. [http://doi.org/10.1016/s2095-3119\(20\)63158-6](http://doi.org/10.1016/s2095-3119(20)63158-6)
- ZACCARIA, D.; COBO, M. T. C.; MONTAZAR, A.; PUTNAM, D. H.; BALI, K. Assessing the viability of sub-surface drip irrigation for resource-efficient alfalfa production in Central and Southern California. **Water**, v. 9, n. 11, p. 837, 2017. <https://doi.org/10.3390/w9110837>
- ZANDALINAS, S. I.; MITTLER, R.; BALFAGÓN, D.; ARBONA, V.; GÓMEZ-CADENAS, A. Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. **Physiologia Plantarum**, v. 162, n. 1, p. 2-12, 2017. <http://doi.org/10.1111/ppl.12540>
- ZHANG, Y.; WU, P.; ZHAO, X.; WANG, Z. Simulation of soil water dynamics for uncropped ridges and furrows under irrigation conditions. **Canadian Journal of Soil Science**, v.93, p.85-98, 2013. <http://doi.org/10.4141/cjss2011-081>