

Campus São Miguel do Guaporé
Coordenação do Curso Superior em Agrocomputação

ANGELO GABRIEL GOMES

DESENVOLVIMENTO DA BRS KURUMI EM DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS

SÃO MIGUEL DO GUAPORE - RO
2025

ANGELO GABRIEL GOMES

**DESENVOLVIMENTO DA BRS KURUMI EM DIFERENTES CONDIÇÕES
HÍDRICAS**

Pesquisa entregue como Trabalho de Conclusão de Curso ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus* São Miguel do Guaporé como requisito parcial para obtenção do grau de tecnólogo, junto ao Curso superior em Agrocomputação sob a orientação do professor João Angelo Silva Nunes.

SÃO MIGUEL DO GUAPORE – RO

2025

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO.

Gomes, Angelo Gabriel.

Desenvolvimento da BRS Kurumi em diferentes condições hídricas / Angelo Gabriel Gomes. - São Miguel do Guaporé, 2025. 45 f. : il.

Orientador(a): Prof. João Angelo Silva Nunes.

Trabalho de Conclusão de Curso (Superior de Tecnologia em Agrocomputação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO, São Miguel do Guaporé, 2025.


1. BRS Kurumi. 2. Irrigação automatizada. 3. Agricultura de precisão. 4. Arduino. 5. Eficiência hídrica. I. Nunes, João Angelo Silva (orient.). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO. III. Título.

Bibliotecário(a) Responsável: Roseni Santos Rodrigues, CRB-11/916


DESENVOLVIMENTO DA BRS KURUMI EM DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS

Pesquisa entregue como Trabalho de Conclusão de Curso ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus* São Miguel do Guaporé como requisito parcial para obtenção do grau de tecnólogo, junto ao Curso superior em Agrocomputação sob a orientação do professor João Angelo Angelo Silva Nunes.


Aprovado em: 10/12/2025 pela banca examinadora.

Documento assinado digitalmente
 **MIGUEL FABRICIO ZAMBERLAN**
Data: 18/12/2025 19:03:41-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Membro da Banca

Documento assinado digitalmente
 **CELIO SANTOS CARDOSO**
Data: 17/12/2025 18:10:45-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Membro da Banca

Documento assinado digitalmente
 **JOAO ANGELO SILVA NUNES**
Data: 17/12/2025 17:26:14-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Orientador

DESENVOLVIMENTO DA BRS KURUMI EM DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS

Angelo Gabriel Gomes
João Angelo Silva Nunes

RESUMO:

O desempenho de pastagens tropicais está diretamente relacionado à disponibilidade hídrica e à eficiência do uso da água, especialmente em regiões de clima equatorial úmido. A cultivar BRS Kurumi destaca-se por seu alto valor nutritivo, intenso perfilhamento e rápida rebrota, sendo amplamente utilizada em sistemas intensivos de manejo. Sendo assim, objetivou-se avaliar o efeito de lâminas de água sobre o desenvolvimento do BRS Kurumi em condições de campo, identificando o manejo hídrico mais eficiente para a espécie. O experimento foi conduzido na propriedade Sítio Mina D'água, em São Miguel do Guaporé – RO, entre os meses de outubro e dezembro de 2025, utilizando delineamento em faixas aleatorizadas com lâminas de irrigação de 0, 2, 4, 6 e 8 mm·dia⁻¹. A irrigação foi automatizada por meio de um sistema de baixo custo controlado por Arduino, composto por bomba diafragma, módulo relé, RTC e microaspersores. Foram realizados três cortes com intervalos de 20 dias, avaliando-se biomassa fresca, altura de plantas, perfilhamento e eficiência do uso da água (EUA). Os resultados demonstraram que lâminas moderadas, próximas de 60 a 80 mm totais por ciclo, promoveram maior biomassa e melhor eficiência hídrica, enquanto lâminas elevadas reduziram o crescimento devido ao excesso de umidade no solo.

PALAVRAS CHAVE: BRS Kurumi; irrigação automatizada; agricultura de precisão; Arduino; eficiência hídrica.

ABSTRACT:

The performance of tropical pastures is directly related to water availability and water use efficiency, especially in regions with a humid equatorial climate. The BRS Kurumi cultivar stands out for its high nutritional value, intense tillering and rapid regrowth, and is widely used in intensive management systems. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of water depths on the development of BRS Kurumi under field conditions, identifying the most efficient water management for the species. The experiment was conducted at the Sitio Mina D'água property, in São Miguel do Guaporé – RO, between the months of October and December 2025, using a randomized strip design with irrigation depths of 0, 2, 4, 6 and 8 mm·day⁻¹. Irrigation was automated by means of a low-cost system controlled by Arduino, consisting of a diaphragm pump, relay module, RTC and microsprinklers. Three cuts were made at 20-day intervals, evaluating fresh biomass, plant height, tillering and water use efficiency (WUE). The results showed that moderate depths, close to 60 to 80 mm total per cycle, promoted higher biomass and better water efficiency, while elevated depths reduced growth due to excess soil moisture.

KEYWORDS: BRS Kurumi; automated irrigation; precision agriculture; Arduino; water efficiency.

1 INTRODUÇÃO

A pecuária brasileira depende principalmente das pastagens como fonte de alimentação para bovinos, tanto de corte quanto de leite. Dentre essas categorias, a pecuária leiteira é a que mais depende de sistemas de pastejo rotacionado, pois exige fornecimento contínuo e de qualidade para garantir boa produção e saúde animal. Segundo Silva (2011), o sistema de produção de leite a pasto continua sendo predominante no Brasil, destacando-se como uma estratégia eficiente, de baixo custo e adaptada às condições tropicais do país.

O manejo adequado das pastagens permite maior produtividade e sustentabilidade dos sistemas de produção animal. No entanto, a disponibilidade e a qualidade das pastagens estão diretamente condicionadas à disponibilidade de água no solo, sendo a irrigação uma ferramenta fundamental para garantir a continuidade da produção, principalmente durante períodos de estiagem.

Porém, o uso descontrolado da irrigação tem provocado impactos ambientais, como a redução de nascentes, rios e lençóis freáticos, além do desperdício de água. Além disso, existe uma lacuna sobre o uso eficiente da água na produção dessa variedade de capim elefante. Por se tratar de uma variedade desenvolvida recentemente, a escassez de conteúdo sobre o assunto torna ainda mais desafiador a implementação dessa variedade na alimentação do gado, tanto no pastejo, quanto tratado no cocho.

A realização desta pesquisa visa gerar informações inéditas que auxiliem técnicos e produtores na tomada de decisões sobre o manejo hídrico da forrageira, os resultados esperados poderão contribuir para o avanço do conhecimento científico na área de produção animal e para o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis na pecuária. Sendo assim, é de suma importância investigar como diferentes lâminas de irrigação influenciam o crescimento do capim-elefante cv. BRS Kurumi (*Cenchrus purpureus*).

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de diferentes lâminas de irrigação no crescimento e produtividade da cultivar BRS Kurumi, utilizando um sistema de irrigação automatizado com Arduino como ferramenta de controle. Espera-se, com isso, identificar qual lâmina proporciona o melhor equilíbrio entre produção de biomassa e uso eficiente da água.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BRS Kurumi

A produção pecuária brasileira depende fortemente do uso de pastagens como fonte de alimento para os animais. Para garantir boa produtividade, é essencial escolher forrageiras que se adaptem bem ao clima, ao solo e às técnicas de manejo disponíveis. Nesse contexto, o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) tem se destacado como uma das principais opções, por apresentar alta capacidade de produção de matéria seca, boa qualidade nutricional e grande aceitação pelos animais (Embrapa, 2021).

Entre as cultivares disponíveis, a BRS Kurumi tem ganhado destaque por suas características únicas. Ela foi desenvolvida pela Embrapa a partir de cruzamentos entre as cv's Merkeron de Pinda (BAGCE 19) e Roxo (BAGCE 57), com o objetivo de atender sistemas de produção baseados no pastejo rotacionado, combinando baixo porte, rápido crescimento e alta densidade de perfilhos, o que facilita o manejo e melhora o aproveitamento da forragem (Pereira et al., 2017).

Segundo a Embrapa (2021), a BRS Kurumi apresenta alta relação folha/colmo, característica que contribui para o melhor valor nutritivo da forragem. Essa cultivar também se destaca por seu crescimento vigoroso, perfilhamento intenso e boa rebrota, podendo alcançar uma produção anual superior a 25 toneladas de matéria seca por hectare, quando bem manejada. Além disso, ela possui digestibilidade elevada, com valores médios próximos de 70%, e teores de proteína bruta que podem ultrapassar 16%, variando conforme a adubação e o manejo utilizados.

Apesar dessas qualidades, a disponibilidade de água é um fator determinante para o desempenho do BRS Kurumi, especialmente em regiões com irregularidade hídrica. Por isso, entender como diferentes lâminas de irrigação afetam seu desenvolvimento é importante para otimizar a produtividade e o uso dos recursos hídricos.

2.2 Pastagens

Diante do crescimento populacional global e do aumento da demanda por proteína de origem animal, torna-se urgente repensar os modelos produtivos da pecuária, especialmente em países tropicais como o Brasil. Usar forrageiras de alta

produtividade, como o BRS Kurumi, pode ser uma alternativa viável para produzir mais em menos espaço e com menor impacto ao meio ambiente (Rosa et al., 2019).

O futuro da produção de alimentos está diretamente relacionado à adoção de tecnologias que promovam o uso racional dos recursos naturais, especialmente da água, cuja disponibilidade já apresenta sinais de escassez em diversas regiões. Nesse cenário, o manejo eficiente da irrigação em pastagens não apenas assegura a oferta contínua de alimento ao rebanho, mas também contribui para o aumento da produtividade por hectare, reduzindo a necessidade de abertura de novas áreas. O uso de ferramentas como o Arduino para automação da irrigação reforça esse movimento, ao possibilitar controle preciso da lâmina de água aplicada, alinhando tecnologia, conservação ambiental e segurança alimentar.

Segundo a Embrapa (2025), o Brasil possui aproximadamente 160 milhões de hectares de pastagens, que ocupam quase metade dos estabelecimentos rurais e alimentam mais de 200 milhões de animais, incluindo bovinos, caprinos, ovinos, equinos e bubalinos.

Segundo Santos e Corrêa (2009), apesar do elevado potencial produtivo das forrageiras tropicais, o mau uso do solo e a ausência de técnicas adequadas de manejo resultam em baixos índices de produtividade. Os autores destacam que, enquanto sistemas extensivos alcançam em média $300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ de leite, em sistemas intensivos essa produção pode ultrapassar $15.000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, evidenciando a importância da intensificação sustentável para o futuro da pecuária nacional.

2.3 Pastagens irrigadas

Apesar de o Brasil possuir clima tropical com boa pluviosidade anual, a distribuição irregular das chuvas prejudica a produção de forragem em algumas regiões, especialmente na estação seca. A irrigação de pastagens surge como uma estratégia de intensificação sustentável, permitindo estabilidade na oferta de alimento, maior taxa de lotação animal, menor tempo de engorda e maior produção de leite por área (Reis et al., 2017).

Estudos mostram que forrageiras tropicais irrigadas apresentam maior perfilhamento, crescimento foliar e produtividade, mesmo em condições climáticas adversas. Além disso, a irrigação permite maior controle do manejo, facilitando cortes programados e uso estratégico da pastagem (Lopes et al., 2014).

Segundo Pimentel (2024), a agricultura irrigada já ocupa cerca de 20% das terras cultiváveis no mundo, enquanto no Brasil esse percentual é de apenas 3%, evidenciando a necessidade de expansão dessa tecnologia no país. Em países como China, Estados Unidos e Paquistão, praticamente toda a área potencial de cultivo já está irrigada, o que reforça os benefícios em termos de segurança alimentar e resiliência climática. Esses contrastes indicam que o Brasil ainda está em fase inicial nessa transição, o que representa um enorme potencial de crescimento e modernização, especialmente se forem implementadas tecnologias de irrigação mais precisas e acessíveis, como sistemas automatizados via Arduino — capazes de democratizar o acesso à irrigação eficiente em regiões menos favorecidas.

De acordo com dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2021), o Brasil possui cerca de 8,2 milhões de hectares equipados para irrigação. Desse total, aproximadamente 64,5% utilizam água proveniente de mananciais e 35,5% fazem uso de água de reuso, como na fertirrigação. É importante notar que a área destinada à irrigação de pastagens está incluída na categoria de 'Outras Culturas e Pastagens', que totaliza cerca de 2,0 milhões de hectares, compartilhada com cultivos como flores, café e hortaliças. Essa área total irrigada representa a base atual da agricultura irrigada no país e demonstra a importância desse manejo para garantir a produção de alimentos e forragens mesmo em períodos de estiagem, reforçando que expandir e modernizar a irrigação é essencial para o futuro produtivo e sustentável da agropecuária brasileira.

Em Rondônia, o cruzamento dos dados do Informativo Agropecuário do Censo 2017 (Embrapa) permite aproximar ainda mais a estimativa da área de pastagens irrigadas, dada a predominância absoluta da pecuária no uso da terra estadual. Segundo a Embrapa (2020) o estado apresentava 38.748 hectares irrigados em 2017, dos quais apenas 2.636 hectares eram irrigados por pivô central e 10.258 hectares por outros sistemas de aspersão, totalizando aproximadamente 12.894 hectares irrigados exclusivamente por métodos compatíveis com pastagens. Esse valor é

coerente com o fato de que a região Norte, em 2015, representava apenas 2,8% da área irrigada nacional, indicando adoção historicamente baixa.

Em sistemas públicos de irrigação no Brasil, o uso predominante de métodos de superfície apresenta baixa eficiência hídrica, demandando grandes volumes de água sem garantir aplicação uniforme. Essa ineficiência resulta em perdas significativas por evaporação e percolação, contribuindo para o desperdício de um recurso cada vez mais escasso (Massruhá et al., 2015). Essas evidências mostram que, sem planejamento e monitoramento, a expansão da irrigação pode agravar problemas ambientais e reduzir a sustentabilidade do sistema produtivo, tornando essencial a adoção de tecnologias mais eficientes e práticas de manejo adequadas.

2.4 Arduino.

A necessidade crescente de aumentar a produtividade agrícola com o uso racional de recursos naturais impulsionou o desenvolvimento de tecnologias acessíveis para automação no campo. Entre elas, destaca-se a plataforma Arduino, criada em 2005 na Itália por Massimo Banzi e David Cuartielles, com o intuito de oferecer uma solução de baixo custo e fácil utilização para estudantes e desenvolvedores em projetos interativos (Evans et al., 2013). Trata-se de uma plataforma de prototipagem eletrônica composta por hardware e software de código aberto, que permite o controle de dispositivos físicos a partir de sensores e atuadores programados com uma linguagem baseada em C/C++.

Diversos estudos têm explorado o uso do Arduino em sistemas de irrigação automatizada. Barbosa (2013) desenvolveu um protótipo de irrigação utilizando sensores de umidade do solo integrados ao Arduino para acionar bombas hidráulicas, demonstrando que a tecnologia é precisa, de fácil implementação e economicamente viável para pequenos produtores. A automação permitiu a coleta e o processamento de dados em tempo real, possibilitando o controle eficiente da quantidade de água aplicada, com redução do desperdício e dos custos operacionais.

Complementando essa visão, Pereira et al. (2020) avaliaram um sistema de irrigação por válvulas controlado por Arduino e inversor de frequência. O sistema foi capaz de manter a pressão de saída constante nas válvulas (20 kPa), ajustando automaticamente a rotação da motobomba em função das perdas de carga, o que

resultou em uma economia de energia de até 42,9%. Esses resultados demonstram que a automação com microcontroladores pode aumentar a eficiência energética e hídrica dos sistemas de irrigação, contribuindo para a sustentabilidade da agricultura irrigada.

3 METODOLOGIA

Adotou-se delineamento em faixas aleatorizadas, composto por cinco tratamentos correspondentes às lâminas de irrigação de 0, 2, 4, 6 e 8 mm·dia⁻¹ e cinco repetições, totalizando 25 unidades experimentais. O experimento foi conduzido na propriedade Sitio Mina D'água em São Miguel do Guaporé – RO (11,6810°S; 62,7066°W), sob clima Equatorial Quente e Úmido, com temperaturas médias entre 24 °C e 27 °C e precipitação anual entre 1600 e 2300 mm (INMET, 2025).

O solo da área experimental foi classificado como de textura franco-arenosa, sendo previamente nivelado e adubado de acordo com as recomendações para pastagens perenes.

O preparo do solo foi realizado de forma mecanizada utilizando-se um microtrator, equipamento responsável tanto pela mobilização superficial do solo quanto pela abertura dos sulcos de plantio. O microtrator foi conduzido em toda a área experimental, promovendo o revolvimento do solo até a profundidade de aproximadamente 25 cm, assegurando a uniformização da camada arável e aeração adequada para o enraizamento inicial das mudas.

Após o preparo do solo, foram abertos sulcos longitudinais com o próprio microtrator, respeitando o espaçamento definido entre as linhas de plantio. No interior de cada sulco foi realizada a adubação de base, aplicando-se as doses correspondentes de MAP (11–52–0) na proporção de 31 g por cova e KCl (60% K₂O) na proporção de 27 g por cova, equivalente a 310 e 270 kg/ha, respectivamente. Após a adubação de base, procedeu-se à calagem da área experimental. Foi aplicado calcário calcítico (PRNT 80%) na dose de 240 g por cova, equivalente a 2,4 t/ha, distribuído a lanço sobre o solo e posteriormente incorporado na camada de 0–20 cm, visando elevar a saturação por bases (V%) para aproximadamente 60%, faixa considerada adequada para sistemas intensivos de produção de gramíneas de alto

desempenho, conforme recomendações técnicas para pastagens da Embrapa (EMBRAPA, 2004).

O plantio foi realizado no dia 19 de agosto de 2025, as mudas foram distribuídas nos sulcos e cobertas manualmente, assegurando o contato adequado com o solo e a uniformidade de plantio entre os tratamentos. Aos 40 dias após o plantio, no dia 29 de setembro de 2025, foi realizado o primeiro corte e dado início aos tratamentos do experimento, quando também foi realizada a troca do script no Arduino para irrigação casualizadas com as lâminas independentes conforme Apêndice L.

Cada tratamento foi aplicado a uma faixa de irrigação, definida por sorteio para garantir aleatorização. Em cada faixa, foram demarcadas cinco subparcelas de amostragem, utilizadas apenas como subamostras para coleta de dados, sem replicação independente.

O primeiro corte, após início dos tratamentos, foi realizado no dia 20 de outubro de 2025, totalizando 20 dias após o corte inicial, onde aconteceu a troca do script, o segundo corte foi realizado no dia 10 de novembro de 2025, totalizando 40 dias de tratamento individualizado, assim cada corte teve 20 dias de duração.

A adubação nitrogenada foi realizada em duas etapas: aos 24 dias após o plantio e logo após o primeiro corte. Após o primeiro corte, foi utilizado ureia (45% de N), aplicando uma dose 540 kg/ha. A aplicação foi feita manualmente, distribuindo uniformemente sobre a superfície do solo, ao redor das plantas, seguida por uma irrigação leve para favorecer a incorporação do insumo e minimizar perdas por volatilização. Tanto a adubação de implantação quanto a adubação de cobertura foram previamente calculadas com base na análise química do solo (Tabela 1).

Na área experimental foi instalado um pluviômetro convencional do tipo retangular, confeccionado em polietileno, com o objetivo de registrar a precipitação incidente durante o período de condução do experimento. O equipamento foi fixado em uma estaca de madeira, a 1,25 m de altura em relação ao solo, atendendo às recomendações técnicas para garantir a leitura precisa e evitar interferências de respingos ou obstáculos laterais. O pluviômetro possui abertura superior de 5x3 cm e comprimento total de 24,5 cm, dimensões que definem sua área de captação e capacidade de coleta.

Tabela 1. Análise física e química do solo coletado em área cultivada com o BRS Kurumi em São Miguel do Guaporé – RO, no ano de 2025.

Parâmetro	Unidade	Resultado
pH (H ₂ O)	—	4,79
pH (CaCl ₂)	—	3,84
Fósforo (Mehlich)	mg·dm ⁻³	6,16
Enxofre (S)	mg·dm ⁻³	5,22
Potássio (K)	mg·dm ⁻³	16,43
Cálcio (Ca)	cmolc·dm ⁻³	0,93
Magnésio (Mg)	cmolc·dm ⁻³	0,24
Alumínio (Al)	cmolc·dm ⁻³	1,03
H + Al	cmolc·dm ⁻³	3,94
Matéria orgânica (MO)	g·dm ⁻³	25,03
Soma de bases (SB)	cmolc·dm ⁻³	1,22
CTC (pH 7,0)	cmolc·dm ⁻³	5,16
Saturação por bases (V%)	%	23,58
Saturação por Al (m%)	%	56,45
Boro (B)	mg·dm ⁻³	0,23
Cobre (Cu)	mg·dm ⁻³	0,70
Ferro (Fe)	mg·dm ⁻³	375,45
Manganês (Mn)	mg·dm ⁻³	76,85
Zinco (Zn)	mg·dm ⁻³	2,30
Areia	g·kg ⁻¹	705
Argila	g·kg ⁻¹	225
Silte	g·kg ⁻¹	70
Textura	—	Franco-arenosa

Fonte: Laboratório Precisão Serviços de Análises Agrícolas e Ambientais Ltda. (2025). Relatório de Ensaio S_2456/2025. Dados coletados na área experimental do BRS Kurumi (profundidade de 0–20 cm).

Os valores de precipitação obtidos com o pluviômetro foram posteriormente integrados às lâminas de irrigação aplicadas em cada tratamento, possibilitando o cálculo da lâmina total de água recebida pelas plantas. Esses dados estão apresentados na Tabela 2

Tabela 2. Lâmina total de água aplicada para cada tratamento de irrigação.

Faixas	Tratamento (Lâmina mm·dia ⁻¹)	Lâmina + Precipitação (mm)	
		1º Corte	2º Corte
1	2	60	69
2	0	20	29
3	6	140	149
4	4	100	109
5	8	180	189

Nota: A atribuição dos tratamentos às ruas foi feita por sorteio antes do início da aplicação das lâminas diferenciadas.

O sistema de irrigação utilizado no experimento foi desenvolvido com base em tecnologia embarcada, empregando componentes de automação de baixo custo, configurados para operar em tensão de 12 volts. A montagem do sistema teve por objetivo permitir o controle individualizado da irrigação para cada lâmina aplicada, garantindo precisão na dosagem e repetibilidade do processo experimental.

O conjunto principal foi composto por uma bomba diafragma 12 V – 5 A – 150 psi, com saída de 1/2 Pol, responsável pelo bombeamento da água até a linha de microaspersores. A distribuição da água foi feita por meio de mangueiras de polietileno de 1/2 polegada, conectadas a um sistema de microaspersores tipo Microspray Jet, com vazão máxima de 47 L/h, proporcionando uniformidade adequada de aplicação sobre as parcelas experimentais.

O acionamento do sistema foi realizado por um microcontrolador Arduino UNO R3, programado para operar de forma automatizada com base em intervalos de tempo predefinidos. O controle do horário de funcionamento foi feito por meio de um módulo de relógio em tempo real (RTC DS3231), garantindo alta precisão temporal para os ciclos de irrigação.

O acionamento elétrico da bomba e das válvulas solenoides foi gerenciado por um módulo relé de 8 canais (5 V / 10 A), possibilitando o controle independente de cada linha de irrigação correspondente às lâminas de 0, 2, 4, 6 e 8 mm·dia⁻¹. A alimentação elétrica do sistema foi provida por fontes de 12 V, dimensionadas para atender à demanda da bomba e das válvulas solenoides.

A interligação dos componentes eletrônicos foi realizada utilizando cabos flat 22 AWG, garantindo adequada condução de corrente e organização interna do

sistema. O conjunto foi montado em estrutura protegida, com isolamento contra umidade e interferências externas.

Para avaliar o desempenho do BRS Kurumi sob diferentes condições hídricas, foram analisadas as seguintes variáveis:

- A altura das plantas. Foi determinada utilizando uma trena métrica graduada em centímetros, adotando-se como critério a altura do dossel forrageiro, medida do nível do solo até o ápice da folha mais elevada, onde as folhas foram estendidas na posição vertical.
- Biomassa fresca (kg/ha). Utilizando uma balança digital de precisão.
- Número de perfilhos. Foram contados manualmente observando a planta.
- Eficiência do uso da água (EUA) – obtida pela relação entre a biomassa produzida e o volume de água aplicado em cada tratamento.

Os dados foram submetidos a análise de variância até 5% de probabilidade, e quando significativo a análise de regressão com até 5% de probabilidade, utilizando-se do programa estatístico SISVAR.

As análises estatísticas consideraram as faixas como unidades experimentais, com as médias dos tratamentos avaliadas por regressão, tendo a lâmina de irrigação como variável contínua. As parcelas apresentaram área útil de 2 m², espaçadas em 3 m entre as parcelas, com finalidade de evitar interferências laterais.

4 RESULTADOS OBTIDOS

4.1 Altura de plantas

A altura média das plantas no primeiro corte variou em função da lâmina total de água aplicada entre 29/09 e 20/10/2025. Nesse período, ocorreu apenas um evento de precipitação (20 mm, em 30/09), o qual foi somado à irrigação de cada tratamento para composição da lâmina total. Assim, os níveis avaliados corresponderam a 20, 60, 100, 140 e 180 mm. Após a chuva inicial, não houve novos eventos, e a irrigação controlada tornou-se a principal fonte de suprimento hídrico.

As plantas submetidas à lâmina de 60 mm apresentaram maior altura média, indicando melhor equilíbrio entre disponibilidade hídrica e oxigenação do sistema

radicular. Por outro lado, as lâminas mais elevadas (140 e 180 mm) reduziram o desenvolvimento das plantas, possivelmente devido ao excesso de umidade no solo, que pode limitar o alongamento dos colmos e a aeração das raízes. Estudos conduzidos pela Embrapa mostram que gramíneas tropicais, como o capim-elefante, apresentam redução da taxa de crescimento quando submetidas a condições de umidade excessiva, em razão da menor atividade radicular e da limitação fisiológica do alongamento foliar (EMBRAPA, 2010).

O comportamento geral observado encontra-se representado na Figura 1. O ajuste polinomial de segunda ordem para a lâmina total foi expresso por: $y = -0,0016x^2 + 0,22x + 101,83$ ($R^2 = 0,7879$), onde x corresponde à lâmina total (mm) e y à altura média das plantas (cm). O ponto de máximo estimado ocorreu em aproximadamente 70 mm de lâmina total, resultando em altura teórica de 109,6 cm, valor próximo ao observado experimentalmente no tratamento de 60 mm.

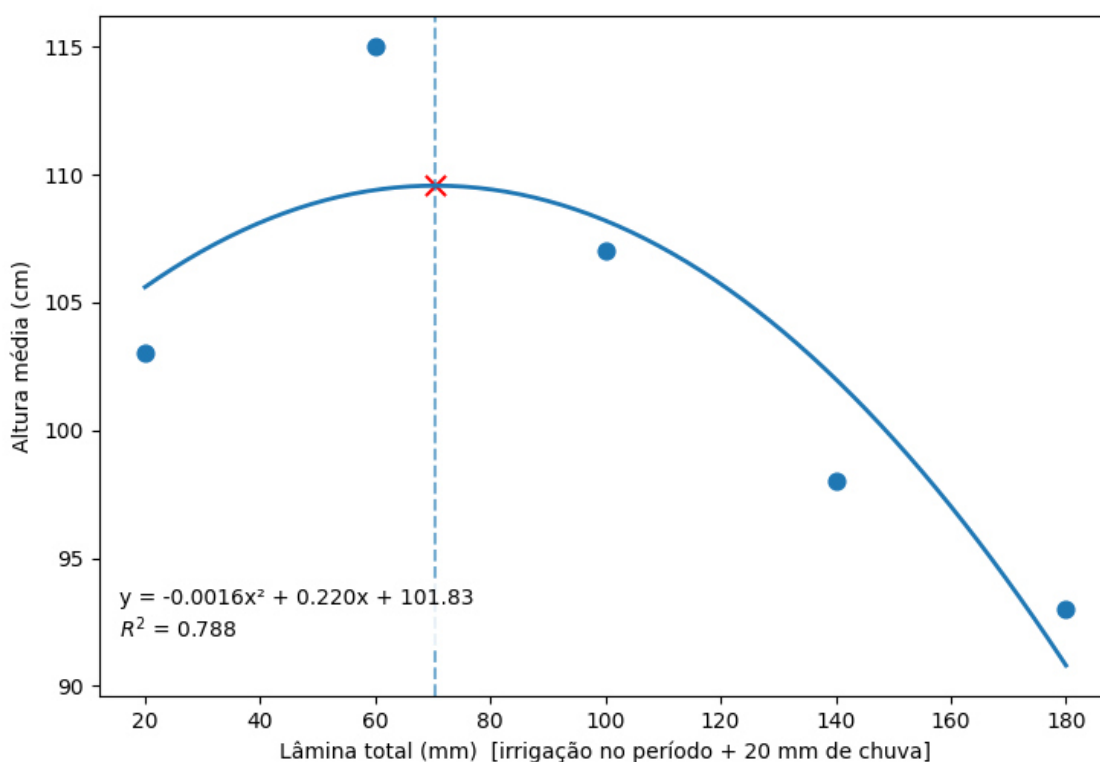


Figura 1. Altura média do BRS Kurumi em função da lâmina total de água aplicada no 1º corte.

Já no segundo corte, a análise de variância demonstrou que não houve diferença estatística significativa ($p > 0,05$) entre as lâminas totais de irrigação quanto

à altura média das plantas no segundo corte. O coeficiente de variação (4,59 %) indica boa precisão experimental e uniformidade entre as parcelas. As médias variaram entre 113,75 cm (29 mm) e 118,75 cm (149 mm), mas todas pertencem ao mesmo grupo estatístico segundo o teste de Tukey ($p \leq 0,05$), conforme Tabela 3.

Tabela 3. Médias da altura média das plantas (cm) do BRS Kurumi sob diferentes lâminas totais de irrigação no segundo corte e agrupamento de médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Lâmina total (mm)	Média (cm)	Agrupamento de médias (Tukey, 5%)
9	113,75	a*
69	118,00	a
109	117,75	a
149	118,75	a
189	114,00	a

*Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade.

Embora não tenham sido observadas diferenças significativas, a análise de regressão (Figura 2) apresentou bom ajuste quadrático ($R^2 = 0,89$), descrito pela equação $y = 109,62 + 0,166x - 0,000748x^2$, indicando leve incremento da altura até a lâmina total aproximada de 111 mm.

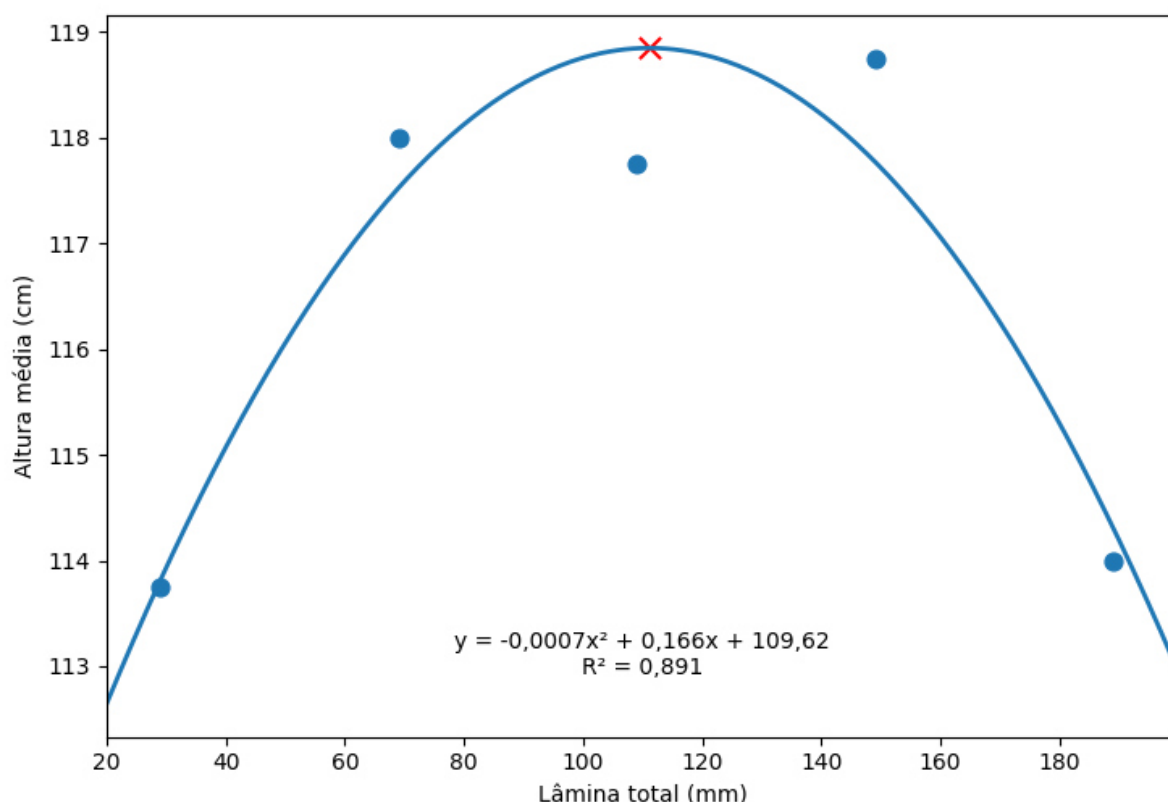


Figura 2. Altura média do BRS Kurumi em função da lâmina total de água aplicada no 2º corte.

Esse comportamento sugere que o incremento hídrico moderado tende a favorecer o alongamento foliar, sem, contudo, causar diferenças estatísticas expressivas entre os tratamentos. Resultados semelhantes foram relatados pela Embrapa (2010), que identificou respostas estáveis de altura em gramíneas tropicais sob variações moderadas de irrigação, com queda de desempenho em condições de excesso hídrico.

Sendo assim, lâminas totais intermediárias, próximas de 70 mm, favoreceram o desenvolvimento vegetativo do BRS Kurumi, garantindo disponibilidade hídrica adequada sem comprometer a oxigenação radicular.

4.2 Biomassa fresca

A biomassa fresca do BRS Kurumi apresentou variação linear decrescente em função da lâmina total de água aplicada durante o período experimental (29/09 a 20/10/2025). As lâminas totais, considerando a soma da irrigação e da precipitação

de 20 mm, corresponderam a lâminas de água fornecidas para as plantas de 20, 60, 100, 140 e 180 mm. O comportamento geral indica que o aumento da lâmina reduziu progressivamente a produção de biomassa fresca.

O tratamento de 20 mm apresentou a maior produção de biomassa fresca, enquanto a lâmina mais elevada (180 mm) resultou na menor produtividade, evidenciando que o excesso de água não favorece o acúmulo de massa verde. Esse comportamento indica que a planta apresenta maior eficiência no aproveitamento hídrico em condições de disponibilidade moderada, evitando possíveis efeitos negativos do encharcamento do solo.

O comportamento da biomassa fresca em função da lâmina total está representado na Figura 3, cujo ajuste linear foi expresso pela equação: $y = -73,07x + 18.447,5$ ($R^2 = 0,667$) onde x representa a lâmina total (mm) e y a biomassa fresca ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). O coeficiente angular negativo (-73,07) indica uma tendência decrescente, mostrando que o acréscimo de água reduziu a produção de matéria fresca ao longo do período analisado.

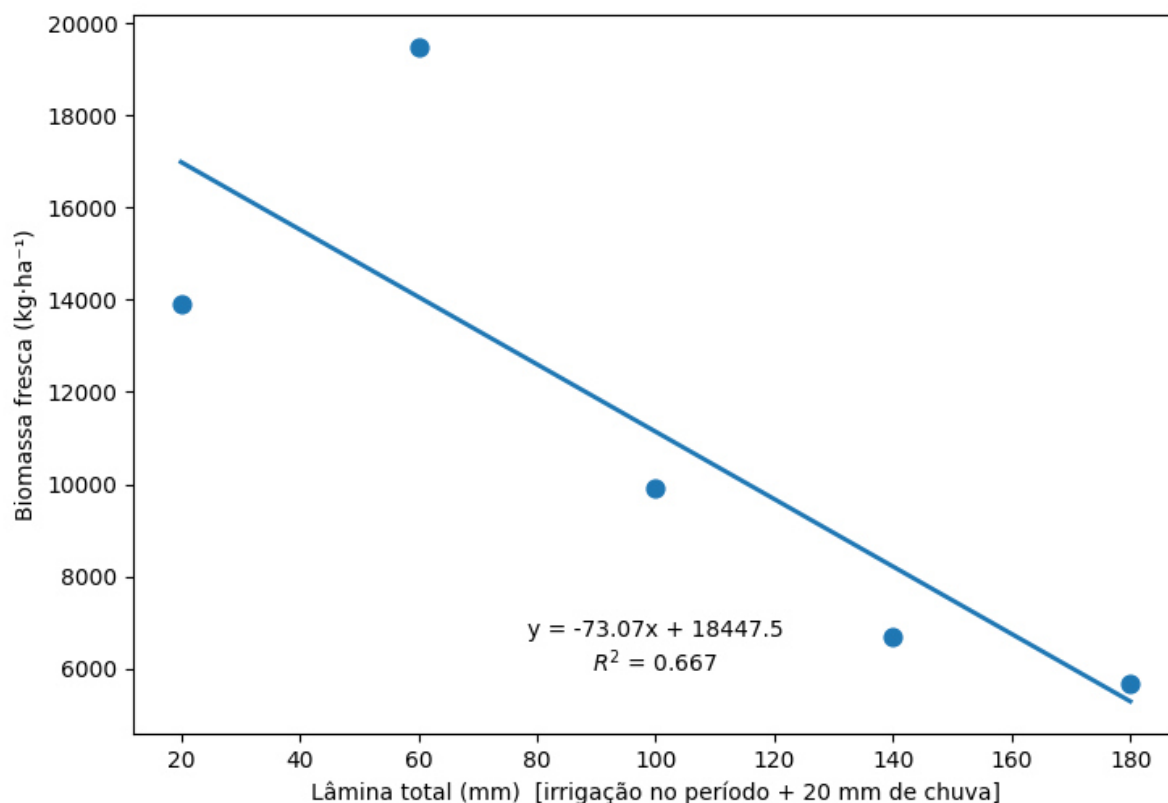


Figura 3. Biomassa fresca do BRS Kurumi em função da lâmina total de água aplicada no 1º corte.

O segundo corte do capim BRS Kurumi, foi realizado 20 dias após o primeiro corte, no dia 10 de novembro de 2025. Nesse período, o sistema de irrigação manteve as mesmas lâminas aplicadas anteriormente (0, 2, 4, 6 e 8 mm·dia⁻¹), resultando em lâminas acumuladas de 29, 69, 109, 149 e 189 mm, respectivamente.

Diferente da primeira avaliação, em que os resultados foram obtidos a partir de médias simples e análises descritivas, a segunda análise contou com delineamento inteiramente casualizado, composto por quatro repetições por tratamento, o que permitiu a aplicação de procedimentos estatísticos mais robustos.

A análise de regressão revelou comportamento quadrático da biomassa fresca em função das lâminas totais de irrigação (Figura 4). O modelo ajustado foi $y = 1708,8 + 10,09x - 0,0668x^2$, com coeficiente de determinação $R^2 = 0,8849$, indicando que 88,5% da variação na biomassa foi explicada pelas lâminas aplicadas. O ponto de máxima produção foi estimado em 75,6 mm de lâmina total, correspondendo a uma biomassa teórica de aproximadamente 2.100 g, valor muito próximo ao observado experimentalmente no tratamento de 69 mm, que apresentou a maior média (2.269,5 g), conforme tabela 4.

Tabela 4. Médias da biomassa fresca das plantas (cm) do BRS Kurumi sob diferentes lâminas totais de irrigação no segundo corte e agrupamento de médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Lâmina total (mm)	Média (g)	Agrupamento Tukey
69	2269,50	a
29	1879,75	ab
109	1860,50	ab
149	1753,50	ab
189	1244,50	b

*Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A partir da lâmina de água de 75,6 mm, o aumento do volume de água reduziu a produção, evidenciando que o excesso hídrico limita a eficiência fisiológica da forrageira. Resultados semelhantes foram relatados por Lopes et al. (2014) e Tian et al. (2017), que observaram redução da eficiência do uso da água e do acúmulo de biomassa em gramíneas tropicais sob condições de saturação hídrica.

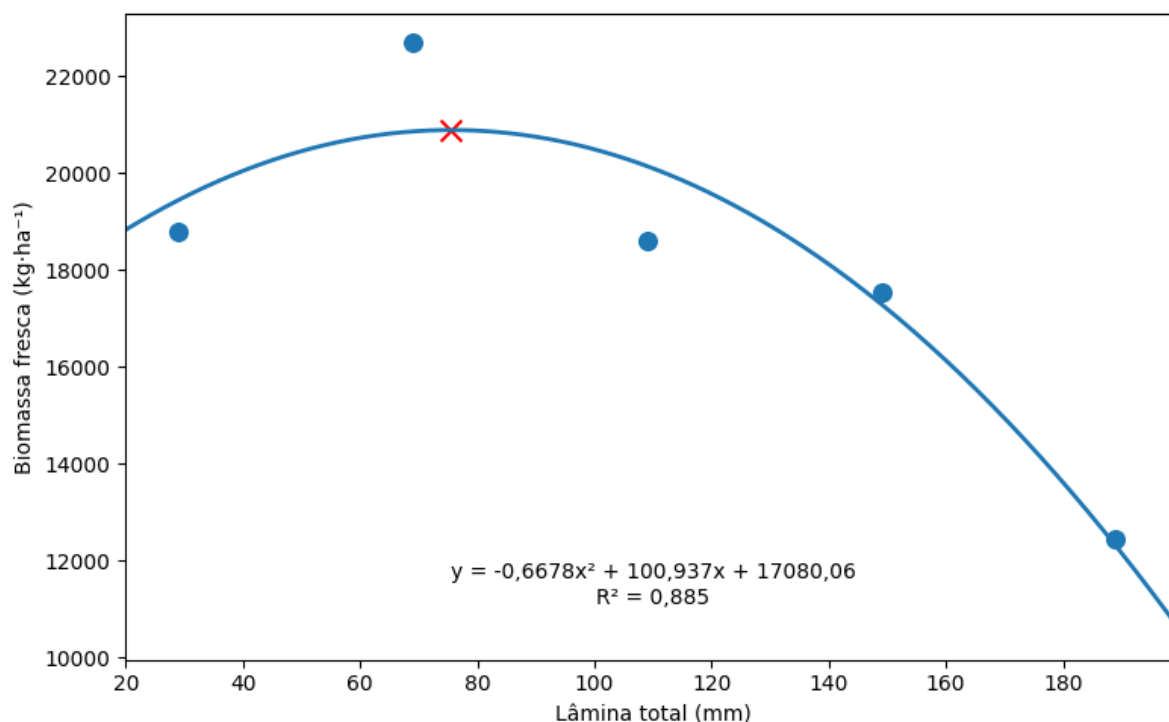


Figura 4. Biomassa fresca do BRS Kurumi em função da lâmina total de água aplicada no 2º corte.

Lopes et al. (2014), também relataram que o decréscimo da produtividade de forrageiras tropicais sob excesso hídrico, ocorrem em virtude da redução da oxigenação no sistema radicular e da eficiência fotossintética. Dessa forma, os resultados obtidos confirmam que o BRS Kurumi apresenta melhor desempenho sob lâminas moderadas (60–80 mm totais), otimizando o equilíbrio entre disponibilidade de água e crescimento vegetativo.

4.3 Número de perfilhos

O número de perfilhos do BRS Kurumi variou de forma significativa em função da lâmina total de água aplicada entre 29/09 e 20/10/2025. Considerando a precipitação de 20 mm registrada no início do período, as lâminas totais corresponderam a 20, 60, 100, 140 e 180 mm. Observou-se tendência de redução no perfilhamento à medida que o volume total de água aumentou.

Na análise das médias observadas, dentro do intervalo experimental, o tratamento sem irrigação complementar, ou seja, com 20 mm de precipitação apresentou o maior perfilhamento, porém a análise de regressão apresenta, em seu ajuste de regressão quadrática, que a estimativa de maior número de perfilhos devem ser observados com uma lâmina de 19 mm, demonstrando que lâminas moderadas proporcionaram melhor equilíbrio entre disponibilidade hídrica e oxigenação do sistema radicular. O excesso de água nas lâminas mais altas reduziu a formação de perfilhos, possivelmente devido à menor aeração do solo e à restrição do crescimento lateral dos colmos.

O comportamento da variável está representado na Figura 5, cujo ajuste polinomial de segunda ordem foi descrito pela equação: $y = -0,001563x^2 + 0,060x + 64,22$ ($R^2 = 0,797$) em que x representa a lâmina total (mm) e y o número de perfilhos por planta. O modelo apresentou ponto de máximo estimado em aproximadamente 19 mm, com 64,8 perfilhos, indicando que pequenas lâminas de água, próximas ao limite inferior testado, favoreceram o perfilhamento.

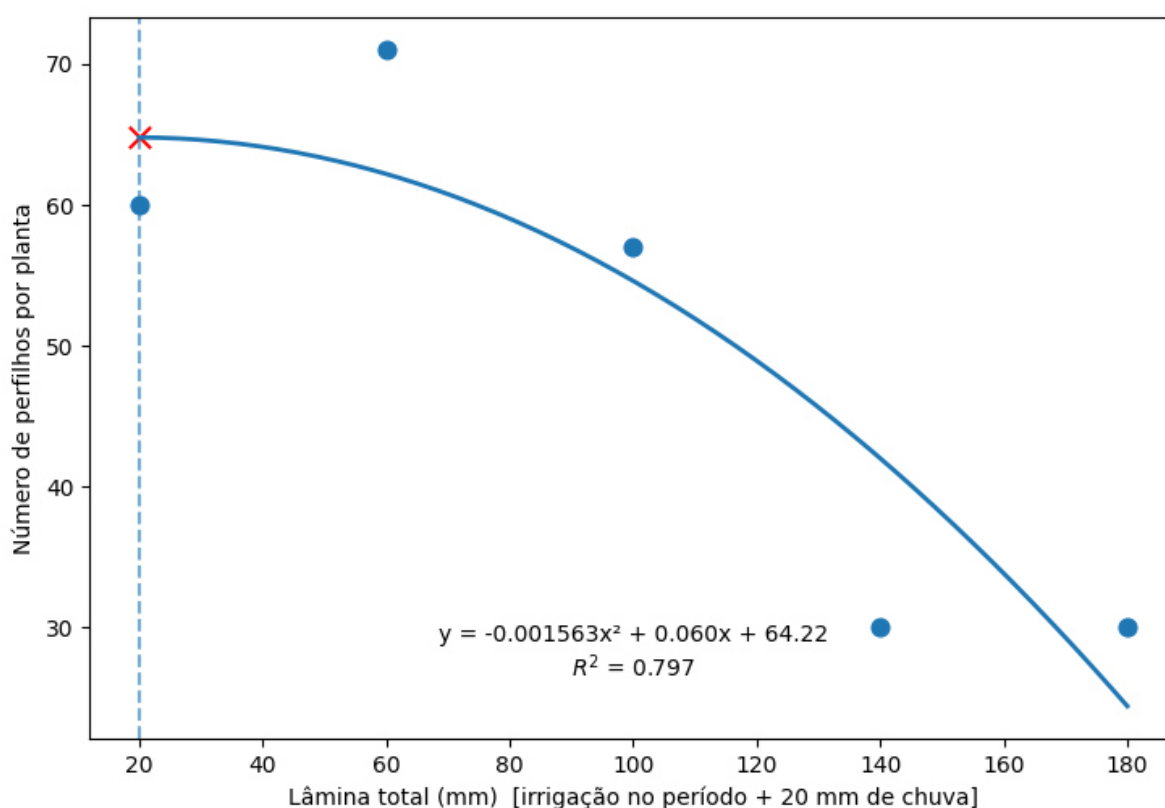


Figura 5. Número de perfilhos do BRS Kurumi em função da lâmina total de água aplicada no 1º corte.

A quantidade de perfilhos do BRS Kurumi, no segundo corte, apresentou variação significativa entre os tratamentos ($p \leq 0,05$). O número médio de perfilhos variou de 41,75 (189 mm) a 89,00 (69 mm), evidenciando redução progressiva à medida que as lâminas totais aumentaram.

A análise de regressão apresentou resposta de ajuste quadrático ($y = 86,85 + 0,060x - 0,0015x^2$; $R^2 = 0,85$), assim como no primeiro corte, apresentou que um fornecimento de água um pouco inferior ao precipitado favorece o perfilhamento da cultura, os resultados indicam que o ponto ótimo para o perfilhamento é próximo de 20 mm de lâmina total, sugerindo que lâminas de água reduzidas favorecem o perfilhamento do capim BRS Kurumi (Figura 6).

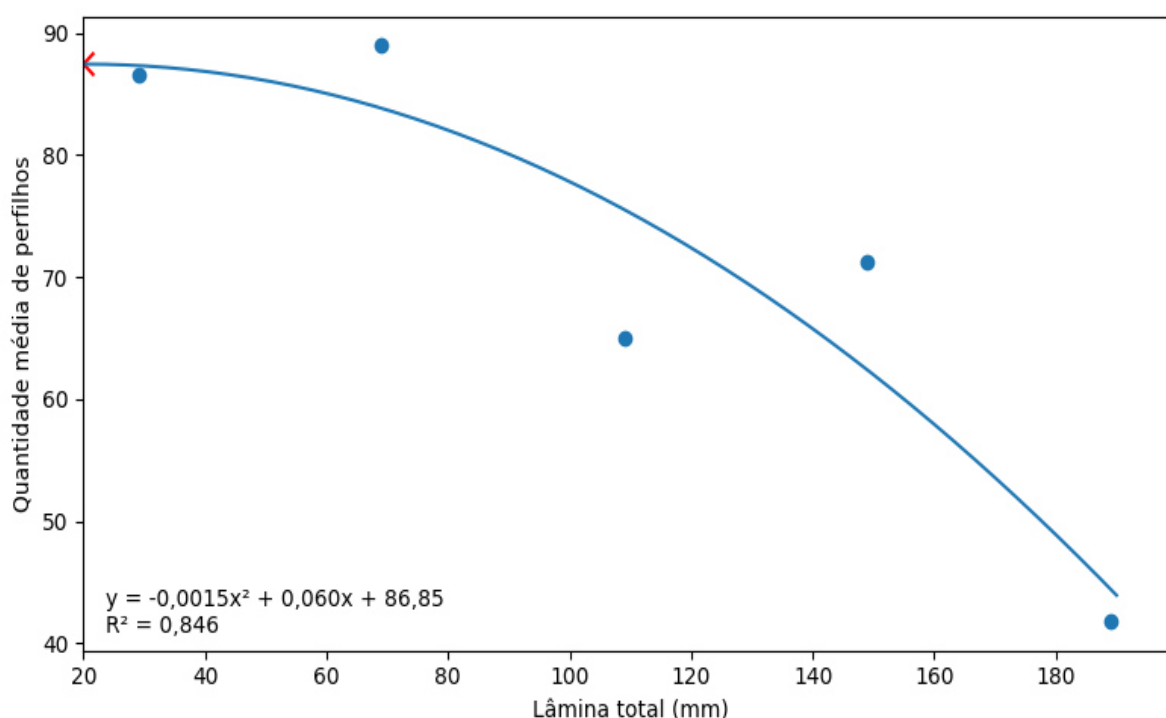


Figura 6. Número de perfilhos do BRS Kurumi em função da lâmina total de água aplicada no 2º corte.

4.4 Eficiência do uso da água

A eficiência do uso da água (EUA) apresentou comportamento decrescente em função do aumento das lâminas totais de irrigação (Figura 7), cujo ajuste linear foi

expresso pela equação ($y = - 4,0118 x + 640,92$ $R^2 = 0,8179$) demonstrou que o acréscimo no volume de água aplicada não resultou em ganhos proporcionais na produção de biomassa, refletindo em menor eficiência hídrica nos tratamentos com maiores lâminas (Figura 7).

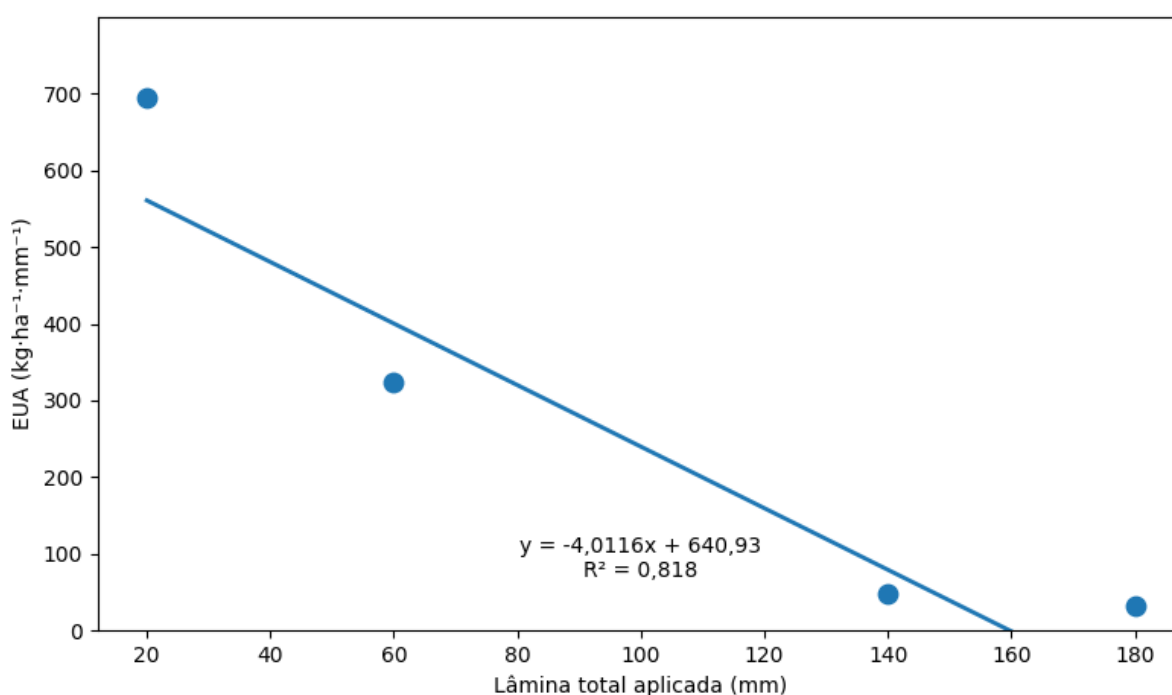


Figura 7. Eficiência do Uso da Água do BRS Kurumi em função da lâmina total de água aplicada no 1º corte.

O ponto teórico de máxima eficiência foi estimado próximo a 20 mm, correspondendo a uma produtividade de aproximadamente $560 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$, o que indica que a precipitação natural ocorrida durante o período experimental (20 mm) foi suficiente para suprir as necessidades hídricas da forrageira. A partir desse ponto, o aumento da lâmina total causou redução linear da eficiência, atingindo valores mínimos nas lâminas de 140 e 180 mm.

Esse comportamento decorre da saturação hídrica no solo, que reduz a aeração e, conseqüentemente, a eficiência fisiológica das plantas na conversão da água em matéria seca. Resultados semelhantes foram relatados por Lopes et al. (2014), que observaram diminuição da eficiência do uso hídrico em gramíneas tropicais sob lâminas elevadas de irrigação, destacando a importância de um manejo equilibrado da água no sistema produtivo. De forma congruente, Tian et al. (2017)

também verificaram que o excesso de irrigação em pastagens irrigadas promove queda significativa da eficiência no uso da água, atribuindo o fenômeno ao aumento das perdas por percolação e à redução da capacidade de absorção radicular. Tais observações reforçam que o manejo racional da irrigação, com lâminas moderadas, é essencial para maximizar o aproveitamento hídrico e a sustentabilidade dos sistemas forrageiros.

No segundo corte, a eficiência do uso da água (EUA) apresentou comportamento semelhante ao observado no primeiro ciclo de avaliação, mantendo a tendência decrescente à medida que as lâminas de irrigação foram elevadas. O comportamento da eficiência do uso da água em função das lâminas de irrigação está representado na Figura 8, cujo ajuste linear foi expresso pela equação: ($y = -3,4393x + 641,1$ $R^2 = 0,856$) em que x representa a lâmina de irrigação (mm) e y a eficiência do uso da água ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$).

De acordo com os valores estimados, o ponto de maior eficiência ocorreu na menor lâmina testada (29 mm), confirmando que lâminas reduzidas apresentam melhor relação produção/água aplicada, enquanto o excesso de irrigação penaliza diretamente o desempenho produtivo por unidade hídrica.

Esse padrão também foi estatisticamente coerente com os resultados da ANOVA e do teste de Tukey aplicados à biomassa fresca, que evidenciaram queda significativa nos rendimentos das maiores lâminas, especialmente na de 189 mm, a qual sistematicamente integrou o grupo de menor produtividade. Dessa forma, a redução da biomassa fresca observada nos tratamentos superiores refletiu proporcionalmente na queda da EUA, consolidando uma relação diretamente inversa entre lâmina aplicada e eficiência hídrica no segundo corte.

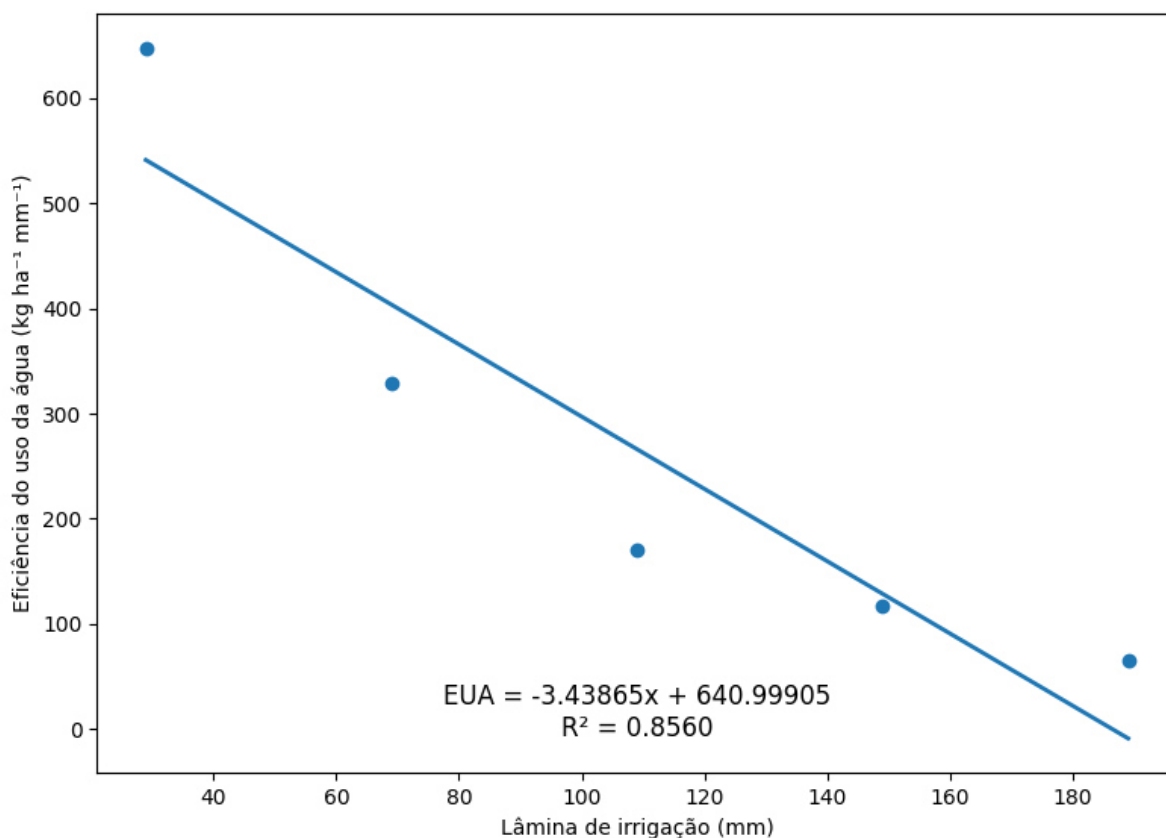


Figura 8. Eficiência do Uso da Água do BRS Kurumi em função da lâmina total de água aplicada no 2º corte.

Do ponto de vista fisiológico, esse resultado encontra respaldo na literatura científica consultada. Trabalhos com capim-elefante irrigado relatam que lâminas elevadas promovem saturação do solo, redução da aeração e diminuição da atividade radicular, limitando a absorção de nutrientes e reduzindo a taxa líquida de crescimento da planta. Lopes et al. (2014) verificaram diminuição significativa da eficiência hídrica em gramíneas tropicais cultivadas sob lâminas excessivas, destacando que o uso de água acima do ponto ótimo favorece perdas por percolação e compromete o metabolismo da planta mesmo sem déficit hídrico. Resultados semelhantes são apresentados por Tian et al. (2017), os quais observaram que a eficiência do uso da água declina rapidamente quando o aporte hídrico excede a capacidade fisiológica de aproveitamento da cultura, reforçando que o excesso de irrigação não se traduz em ganho proporcional de biomassa.

CONCLUSÃO

Lâminas moderadas de água favorecem o desenvolvimento vegetativo da cultura. A altura das plantas apresenta melhor desempenho em lâminas totais intermediárias, próximas de 70 mm por ciclo.

A produção de biomassa fresca é maximizada em lâminas intermediárias, especialmente no segundo corte, em que o ponto de máxima produção foi estimado em aproximadamente 75,6 mm de lâmina total.

O perfilhamento é favorecido por lâminas mais baixas, com ponto ótimo estimado próximo de 20 mm de lâmina total.

A eficiência do uso da água (EUA) apresenta tendência decrescente com o aumento das lâminas de água, com valores máximos nas menores lâminas avaliadas (20 e 29 mm).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo mostram que o BRS Kurumi responde melhor a lâminas moderadas de irrigação, que proporcionam bom crescimento, maior produção de biomassa e maior eficiência no uso da água, enquanto lâminas elevadas reduzem o perfilhamento e a produtividade devido ao excesso de umidade no solo. O sistema automatizado com Arduino demonstrou ser uma alternativa prática e de baixo custo para o controle das lâminas de irrigação, indicando potencial de uso em sistemas de produção mais eficientes.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, DF: ANA, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br>. Acesso em: 14 ago. 2025.

BARBOSA, J. W. **Sistema de irrigação automatizado utilizando a plataforma Arduino**. Assis: Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, 2013.

BRASIL. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: abr. 2025.

EMBRAPA. **BRS Capiapu e BRS Kurumi: cultivo e uso**. Brasília, DF: Embrapa Gado de Leite, 2021.

EMBRAPA. **Calagem e adubação de pastagens**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2004. 40 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1130333/1/18518.pdf>. Acesso em: 15 maio 2025.

EMBRAPA. **Pastagens**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/portfolio/pastagens#:~:text=S%C3%A3o%20cerca%20de%20160%20milh%C3%B5es>. Acesso em: 15 maio 2025.

EMBRAPA. **Perfilhamento e altura do dossel em capim-elefante sob diferentes condições de manejo**. Embrapa Gado de Leite, 2010. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/596511/1/Perfilhamento-altura-do-dossel.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Informativo agropecuário de Rondônia: Censo Agropecuário 2017**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1120809/1/INFORMATIVOAGROPECUARIORO202002.pdf>.

EVANS, M.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J. **Arduino em ação**. São Paulo: Novatec, 2013. p. 25–26.

LOPES, M. N. et al. Fluxo de biomassa e estrutura do dossel em capim-braquiária manejado sob lâminas de irrigação. **Bioscience Journal**, v. 30, supl. 2, p. 490–500, 2014.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; AZEVEDO, J. A.; MARQUES, V. S. Efficiency and its determinants in the public irrigation projects of Brazil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 53, n. 4, p. 585–604, out./dez. 2015. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/resr/a/qtqqGXKKhz89WsSrbBZR5PK/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

MOTA, V. J. G. et al. Lâminas de irrigação e doses de nitrogênio em pastagem de capim-elefante no período seco do ano no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 6, p. 1191–1199, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/HXrG9D9FtC8JpPRRmn6XxjB>. Acesso em: 15 maio 2025.

PEREIRA, A. V. et al. **Crop Breeding and Applied Biotechnology – BRS Kurumi**. Embrapa Gado de Leite, 2017.

PEREIRA, F. A. L. et al. Automação de precisão utilizando Arduino e inversor de frequência aplicado a sistemas de irrigação por válvulas. **Irriga**, Botucatu, v. 25, n. 1, p. 27–37, 2020. DOI: 10.15809/irriga.2020v25n1p27-37.

PIMENTEL, T. **O papel da agricultura irrigada na produtividade do Brasil**. *Forbes Brasil*, 24 out. 2024. Disponível em: <https://forbes.com.br/coluna/2024/10/o-papel-da-agricultura-irrigada-na-produtividade-do-brasil/>. Acesso em: 14 ago. 2025.

REIS, M. M. et al. Irrigação de pastagens tropicais: desafios e perspectivas. **Revista Unimontes Científica**, v. 19, n. 1, p. 179–183, 2017.

ROSA, P. P. et al. Características do capim-elefante *Pennisetum purpureum* (Schumach.) e suas novas cultivares BRS Kurumi e BRS Capiaçú. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 25, n. 1/2, p. 70–84, 2019.

SANTOS, P. M.; CORRÊA, L. A. **Manejo de pastagens tropicais**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2009. 28 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 46). Disponível em: <https://core.ac.uk/display/15434417>. Acesso em: 15 maio 2025.

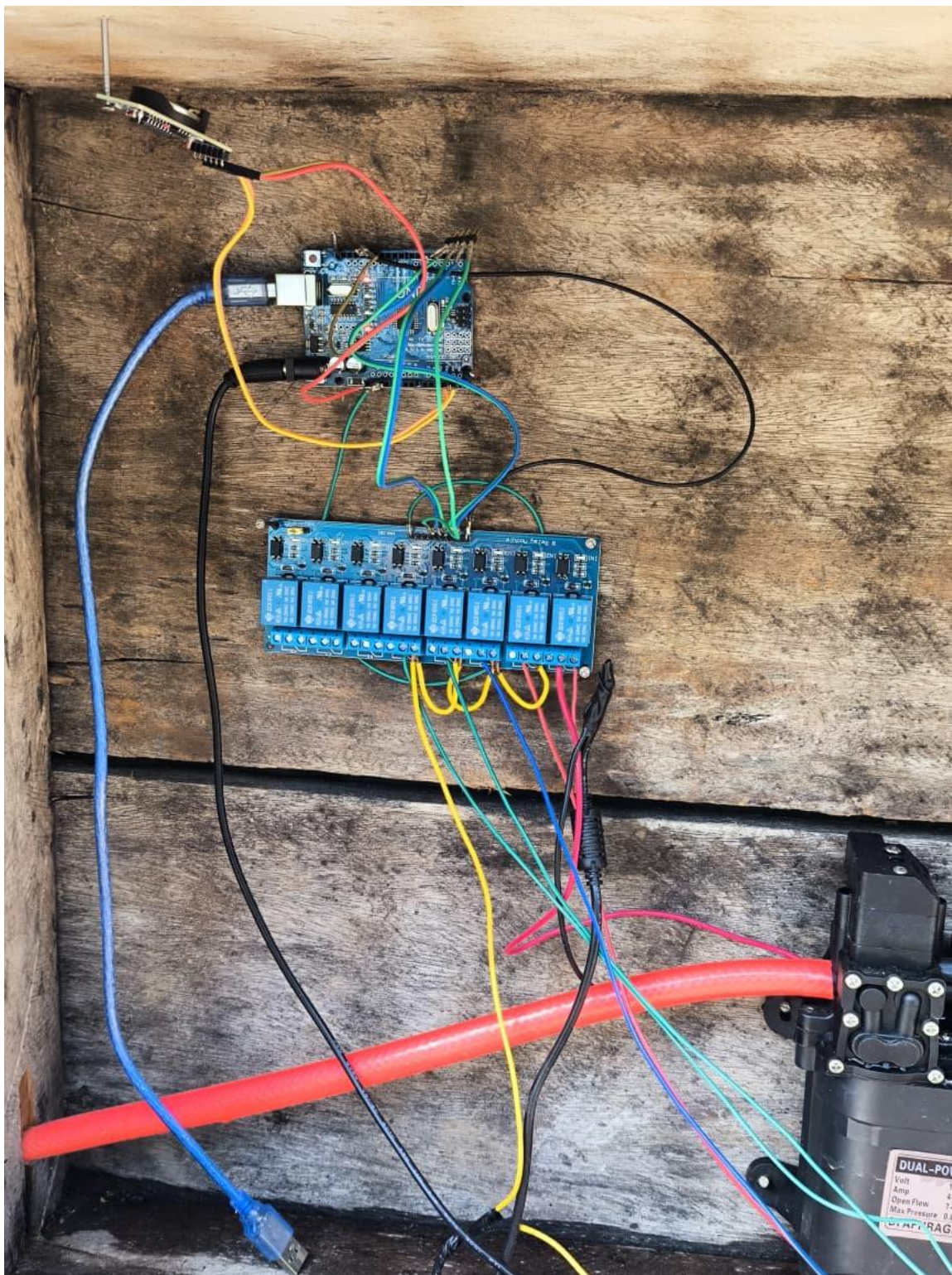
SILVA, H. W. da. Fatores a considerar sobre a produção de leite a pasto. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável – RBAS**, v. 1, n. 2, p. 73–77, dez. 2011. Disponível em: <https://rbas.emnuvens.com.br/rbas/article/view/41>. Acesso em: 15 maio 2025.

TIAN, Y.; LIU, Y.; JIN, J. Efeito dos esquemas de irrigação na produção de forragem, eficiência do uso da água e nutrientes em pastagens artificiais em condições áridas. **Sustainability**, v. 9, p. 2035, 2017. DOI: 10.3390/su9112035. Acesso em: 10 nov. 2025.

WAZLAWICK, R. S. **Metodologia de pesquisa para ciência da computação**. 3. ed. Rio de Janeiro: GEN LTC, 2020. E-book. ISBN 9788595157712. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595157712/>. Acesso em: 15 maio 2025.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Pluviômetro instalado na área do experimento.



APÊNDICE C – Sistema controlador de irrigação.



APÊNDICE D – Coleta de solo para análise.



APÊNDICE E – Sistema de irrigação montado.



APÊNDICE F – Válvulas solenoides.



APÊNDICE G – Mudas utilizadas no plantio da pastagem.



APÊNDICE H – Irrigação do capim em seu estágio inicial de desenvolvimento.



APÊNDICE I – Mudas já em estado avançado de crescimento.



APÊNDICE J – Medição da estatura das plantas.



APÊNDICE K – Planta cortada 25 cm de altura.

```

#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"
RTC_DS3231 relógioRTC;
// ===== PINOS =====

const int PINOS_VALVULAS[4] = {6, 5, 4, 3}; // R1 = 2 mm/dia | R2 = 0 mm |
R3 = 6 mm | R4 = 4 mm | R5 = 8 mm

const int PINO_BOMBA          = 2;           // bomba

// ===== RELÉS =====

// No seu caso relé é ATIVO-ALTO
const bool RELE_ATIVO_NIVEL_BAIXO = false;

inline void escreverRele(int pino, bool ligado) {
    if (RELE_ATIVO_NIVEL_BAIXO) digitalWrite(pino, ligado ? LOW : HIGH);
    else                          digitalWrite(pino, ligado ? HIGH : LOW);
}

// ===== AGENDAMENTOS =====

const int NUM_HORARIOS          = 2;           // quantos horários por dia
const int HORAS_IRRIGACAO[2]    = {7, 17};    // horas (07h e 17h)
const int MINUTOS_IRRIGACAO[2]  = {0, 0};      // minutos (07:00 e 17:00)
const int JANELA_MINUTOS        = 2;           // janela de tolerância em
minutos

//-----
//-----!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

// Tempos por válvula (s) para 2 irrigações/dia – tratamentos 2, 6, 4, 8 mm
unsigned long tempo_valvula[4] = {177, 530, 353, 706};

//-----
//-----!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

// Controle: evita rodar mais de uma vez no mesmo dia/hora
long indiceUltimoDiaExecucao = -1;
bool horario_executado[NUM_HORARIOS];
long indiceDia(const DateTime& tempo) {
    return (long)(tempo.unixtime() / 86400L);
}

// ===== FUNÇÕES AUXILIARES =====

void desligarTodasValvulas() {
    for (int i = 0; i < 4; i++) escreverRele(PINOS_VALVULAS[i], false);
}

```

```
}  
void desligarBomba() {  
    escreverRele(PINO_BOMBA, false);  
}  
void desligarTudoSeguro() {  
    desligarBomba();  
    desligarTodasValvulas();  
}  
void abrirValvula(int zona) {  
    desligarTodasValvulas();  
    escreverRele(PINOS_VALVULAS[zona], true);  
}  
void ligarBomba() {  
    escreverRele(PINO_BOMBA, true);  
}  
void irrigarTodasZonas() {  
    Serial.println(">> Iniciando ciclo de irrigacao...");  
    for (int zona = 0; zona < 4; zona++) {  
        Serial.print("Zona ");  
        Serial.print(zona + 1);  
        Serial.println(": abrindo valvula");  
        abrirValvula(zona);  
        delay(2000); // pressurizar  
        ligarBomba();  
        Serial.print("Zona ");  
        Serial.print(zona + 1);  
        Serial.print(": regando por ");  
        Serial.print(tempo_valvula[zona]);  
        Serial.println(" s");  
        delay(tempo_valvula[zona] * 1000UL);  
        desligarBomba();  
        delay(1000); // despressurizar  
        desligarTodasValvulas();  
        delay(300000); // intervalo entre zonas 5 minutos  
    }  
}
```

```

Serial.println(">> Irrigacao finalizada");
}
// ===== SETUP =====
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Wire.begin();
  pinMode(PINO_BOMBA, OUTPUT);
  for (int i = 0; i < 4; i++) pinMode(PINOS_VALVULAS[i], OUTPUT);
  desligarTudoSeguro();
  if (!relogioRTC.begin()) {
    Serial.println("ERRO: RTC nao encontrado!");
    while (1);
  }
  if (relogioRTC.lostPower()) {
    Serial.println("ATENCAO: RTC sem hora, ajustando para hora da
compilacao.");
    relogioRTC.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__))); // hora do PC
  }
  for (int i = 0; i < NUM_HORARIOS; i++) horario_executado[i] = false;
  Serial.println("Sistema pronto.");
  for (int i = 0; i < NUM_HORARIOS; i++) {
    Serial.print("Agendado para ");
    Serial.print(HORAS_IRRIGACAO[i]);
    Serial.print(":");
    if (MINUTOS_IRRIGACAO[i] < 10) Serial.print("0");
    Serial.println(MINUTOS_IRRIGACAO[i]);
  }
  Serial.println("Digite 'S' no Serial para irrigar agora.");
}
// ===== LOOP =====
void loop() {
  DateTime agora = relogioRTC.now();
  long diaHoje = indiceDia(agora);
  static unsigned long ultimoInstanteImpressao = 0;
  if (millis() - ultimoInstanteImpressao > 5000) {

```

```

ultimoInstanteImpressao = millis();

Serial.print("Agora: ");

Serial.println( agora.timestamp( DateTime::TIMESTAMP_TIME ) );

}

if (Serial.available()) {

    char comando = toupper( Serial.read() );

    if (comando == 'S') {

        irrigarTodasZonas();

    }

}

if (diaHoje != indiceUltimoDiaExecucao) {

    for (int i = 0; i < NUM_HORARIOS; i++) horario_executado[i] = false;

    indiceUltimoDiaExecucao = diaHoje;

    Serial.println("Novo dia detectado, resetando execucoes.");

}

for (int i = 0; i < NUM_HORARIOS; i++) {

    bool horaCorreta = (agora.hour() == HORAS_IRRIGACAO[i]);

    bool minutoCorreto = (agora.minute() >= MINUTOS_IRRIGACAO[i] &&

        (agora.minute() <= MINUTOS_IRRIGACAO[i] +

JANELA_MINUTOS);

    if (horaCorreta && minutoCorreto && !horario_executado[i]) {

        Serial.print(">> Disparando irrigacao no horario ");

        Serial.print(HORAS_IRRIGACAO[i]);

        Serial.print(":");

        if (MINUTOS_IRRIGACAO[i] < 10) Serial.print("0");

        Serial.println(MINUTOS_IRRIGACAO[i]);

        irrigarTodasZonas();

        horario_executado[i] = true;

    }

}

delay(500);

```

}} APÊNDICE L – Script em C++ utilizado no experimento para irrigação das laminais variáveis.