UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CÂMPUS DE BOTUCATU

PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA DO SORGO AGRI 001E EM TRÊS IDADES E ALTURAS DE CORTE PARA SILAGEM

LUCAS BRAVIM FURLAN

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

BOTUCATU - SP
JUNHO – 2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CÂMPUS DE BOTUCATU

PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA DO SORGO AGRI 001E EM TRÊS IDADES E ALTURAS DE CORTE PARA SILAGEM

LUCAS BRAVIM FURLAN

Orientador: Prof. Dr. CINIRO COSTA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

BOTUCATU - SP
JUNHO – 2025

Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte

F985p

Furlan, Lucas Bravim
Produção e composição bromatológica do sorgo AGRI 001E em três idades e alturas de corte para silagem / Lucas Bravim Furlan. -- Botucatu, 2025
64 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu
Orientador: Ciniro Costa

1. Altura do corte. 2. Forragicultura. 3. Sorgo forrageiro. 4. Altitude de cultivo. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu

ATESTADO DE APROVAÇÃO - DEFESA

Atestamos que **LUCAS BRAVIM FURLAN**, RA nº: ZNP230111, RG nº 1451968, expedido pela SESDEC-RO/RO, defendeu, no dia 16/06/2025, a dissertação intitulada **PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA DO SORGO AGRI 001E EM TRÊS IDADES E ALTURAS DE CORTE PARA SILAGEM** , junto ao Programa de Pós Graduação em Zootecnia, Curso de Mestrado Acadêmico, tendo sido 'APROVADO'.

Atestamos ainda que a obtenção do título dependerá de homologação pelo Órgão Colegiado competente.

Botucatu, 16 de junho de 2025

_____

Documento assinado digitalmente
gov.br
CLAUDIA CRISTINA MORECI
Data: 25/06/2025 14:23:50-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

BIOGRAFIA DO AUTOR

Lucas Bravim Furlan, nascido em 5 de setembro de 2000, na cidade de Eunápolis/BA, é filho de Ana Cláudia Bravim Furlan e Cleomar José Furlan. Cursou o ensino fundamental na EEFMT de Vale do Paraíso/RO. Em janeiro de 2015 ingressou no ensino médio integrado ao Técnico em Agropecuária no Instituto Federal de Rondônia (IFRO), Câmpus de Ariquemes/RO. Em fevereiro de 2018 ingressou no curso de Agronomia sediado no IFRO Câmpus de Ariquemes/RO e graduou-se em março de 2023. Durante a graduação, ingressou no Grupo de Pesquisa em Produção Vegetal, na qual teve a oportunidade de se envolver em projetos de pesquisa abordando temas como qualidade do solo, coberturas vegetais e produção de mudas para frutíferas. Sua atuação se estendeu com culturas agrícolas como soja, milho e feijão, onde contribuiu para o desenvolvimento de técnicas de manejo e otimização da produção. Realizou o Estágio Curricular Obrigatório na EMATER na Unidade Municipal Vale do Paraíso/RO, atuando diretamente com Assistência Técnica e Extensão Rural aos agricultores familiares da região. Em agosto de 2023 iniciou o curso de Mestrado em Zootecnia na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia – Câmpus de Botucatu/SP, com bolsa pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico/CNPq, atuando na área de Forragicultura e Pastagens.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Ciniro Costa, pela orientação precisa, pela confiança depositada em meu trabalho e pela liberdade de ação que me permitiu crescer academicamente e profissionalmente. Sua dedicação e incentivo foram fundamentais nesta jornada.

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

Aos meus pais e à minha irmã, pelo amor incondicional, pelo incentivo diário e pelo suporte em todos os momentos. Sem vocês, nada disso teria sido possível.

Aos colegas e amigos que compartilharam comigo essa caminhada, seja nos desafios, nas conquistas ou nas longas discussões acadêmicas que tanto agregaram ao meu aprendizado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da FMVZ/ UNESP pela valiosa experiência e auxílio nos momentos de dúvida.

E, por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Meu sincero e profundo agradecimento.

RESUMO GERAL

Este trabalho tem por objetivo avaliar a produção e composição bromatológica de plantas do sorgo AGRI 001E em três idades e alturas de corte para silagem. O experimento foi conduzido em condições de sequeiro entre janeiro e maio de 2024, em duas areas pertencentes a FMVZ/UNESP, em Botucatu (SP), com clima Cwa e solo Latossolo Vermelho. O delineamento foi inteiramente casualizado, em fatorial 2x3x3 com cinco repetições, avaliando o cultivo em duas altitudes, aos 805 e 572 m, três alturas (20, 45 e 70 cm) e em três idades de colheita (103, 110 e 117 Dias após a emergência). Utilizou-se a cultivar AGRI 001E de sorgo forrageiro de ciclo precoce. As mesmas plantas foram cortadas sequencialmente, separadas em colmo, folha e panícula, e submetidas à secagem para obtenção da massa seca, matéria seca e componentes bromatológicos. A análise estatística realizado por ANOVA e teste de Tukey ($P \leq 0,05$). A maior produção de massa seca da planta inteira ocorreu com corte a 20 cm, enquanto cortes acima de 70 cm reduziram o rendimento. O teor de matéria seca da panícula foi mais alto aos 117 DAE, com 75,06% no cultivo a 572 m de altitude. Cortes mais baixos diminuíram os teores de matéria mineral em 4,64% e proteína bruta em 2,24% da planta inteira, enquanto aumentaram as fibras (FDN, FDA e celulose), indicando maior concentração de componentes estruturais na base da planta. A colheita do sorgo forrageiro AGRI 001E deve ser realizada no estádio de grão pastoso, observado no terço inferior da panícula, na altura de 20cm em relação ao nível do solo para maximizar a produtividade de massa seca e a 70cm para otimizar a qualidade nutricional, independente da altitude de cultivo.

Palavras-chave: altura do corte; forragicultura; sorgo forrageiro; altitude de cultivo.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the yield and bromatological composition of AGRI 001E sorghum plants at three different growth stages and cutting heights for silage. The experiment was conducted under rainfed conditions between January and May 2024, in two areas belonging to FMVZ/UNESP, in Botucatu (SP), with a Cwa climate and Red Latosol soil. A completely randomized design was used in a 2x3x3 factorial scheme with five replications, assessing cultivation at two altitudes (805 and 572 m), three cutting heights (20, 45, and 70 cm), and three harvest ages (103, 110, and 117 days after emergence). The cultivar used was AGRI 001E, a fast-growing forage sorghum. The same plants were cut sequentially, separated into stem, leaf, and panicle, and dried to determine dry mass, dry matter content, and bromatological components. Statistical analysis was performed using ANOVA and Tukey's test ($P \leq 0.05$). The highest total plant dry mass yield was obtained with a 20 cm cutting height, while cuts above 70 cm reduced yield. The dry matter content of the panicle was highest at 117 DAE, reaching 75.06% at the 572 m altitude site. Lower cutting heights decreased the mineral matter content by 4.64% and crude protein by 2.24% in the whole plant, while fiber contents (NDF, ADF, and cellulose) increased, indicating a greater concentration of structural components at the plant base. The harvest of the forage sorghum AGRI 001E should be carried out at the dough grain stage, observed in the lower third of the panicle, at a height of 20 cm from ground level to maximize dry matter yield and at 70 cm to optimize nutritional quality, regardless of cultivation altitude.

Keywords: cutting height; forage science; forage sorghum; cultivation altitude.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 - Variação mensal da Temperatura Média, Umidade Relativa e Precipitação do período de janeiro/15 a maio/18; Fonte: Elaborado pelos autores. 38

Figura 1 - Temperatura, umidade relativa do ar e precipitação de 1991 a 2020 para Botucatu - Temperatura, umidade relativa do ar e precipitação de 1991 a 2020 para Botucatu - SP; Fonte: FRANCO et al. (2023).....38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Altura média do sorgo forrageiro AGRI-001E em função de duas altitudes de cultivo; Fonte: Elaborado pelos autores. 42

Tabela 2 - Produtividade de massa seca (t. ha^{-1}) dos diferentes componentes do sorgo forrageiro AGRI-001E em função de duas altitudes de cultivo, três alturas de corte e três idades de colheita, de forma isolada; Fonte: Elaborado pelos autores. 42

Tabela 3 - Desdobramento da interação das duas altitudes e três idades de colheita da variável produtividade de massa seca de planta inteira e colmo do sorgo forrageiro AGRI-001E; Fonte: Elaborado pelos autores. 44

Tabela 4 - Teor de matéria seca (%) dos diferentes componentes do sorgo forrageiro AGRI-001E em função de duas altitudes de cultivo, três alturas de corte e três idades de colheita, apresentadas de forma isolada; Fonte: Elaborado pelos autores. 45

Tabela 5 - Desdobramento da interação das duas altitudes e três idades de colheita da variável teor de matéria seca da panícula do sorgo forrageiro AGRI-001E; Fonte: Elaborado pelos autores. 47

Tabela 6 - Composição bromatológica dos diferentes componentes do sorgo em função das alturas de corte aos 110 dias após a emergência na altitude de cultivo aos 572 m de altitude; Fonte: Elaborado pelos autores. 48

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

% – Porcentagem

ABIEC – Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes

ANOVA – Análise de Variância

C – Colmo

CEL – Celulose

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

CRISPR – Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats

DAE – Dias Após Emergência

DM – Dry Matter (Matéria Seca)

EE – Extrato Etéreo

F – Folha

FAO – Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação

FAOSTAT – Banco de Dados Estatísticos da FAO

FB – Fibra Bruta

FDA – Fibra em Detergente Ácido

FDN – Fibra em Detergente Neutro

FMVZ – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia

g – gramas

ha – hectare(s)

IFRO – Instituto Federal de Rondônia

kg – quilograma(s)

L – Litro(s)

LIG – Lignina

MM – Matéria Mineral

NDT – Nutrientes Digestíveis Totais

PB – Proteína Bruta

PI – Planta inteira

P – Panícula

T – Tonelada

t – tonelada (forma minúscula encontrada)

ºC – Graus Celsius

UNESP – Universidade Estadual Paulista

EtO – Evapotranspiração de Referência

SUMÁRIO

CAPITULO 1 13

1. Considerações iniciais 14
2. Introdução 14
3. Origem e dispersão da cultura do sorgo 15
4. Características morfoagronômicas do sorgo 16
5. Potencial do sorgo na produção de silagem 17
6. Silagem como estratégia agrícola 20
7. Altura de corte em relação ao nível do solo 21
8. Influência da idade da planta no desempenho do sorgo forrageiro 22
9. Desafios e oportunidades na produção de forragem 23
10. Referências 26

CAPÍTULO 2 34

1. RESUMO 35

2. ABSTRACT 35

3. INTRODUÇÃO 36

4. MATERIAL E MÉTODOS 38

5. RESULTADOS 41

6. DISCUSSÃO 50

7. CONCLUSÃO 53

8. REFERÊNCIAS 53

IMPLICAÇÕES 62

CAPITULO 1

1. Considerações iniciais
2. Introdução

As alterações climáticas representam uma ameaça global de magnitude significativa para a segurança alimentar em escala mundial, estando intrinsecamente ligadas ao aumento das concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa. Essas mudanças na composição atmosférica desencadeiam uma série de impactos diretos nas variáveis climáticas, engendrando o aumento das temperaturas, modificações na frequência e intensidade das precipitações, e a ocorrência de eventos climáticos extremos. Tais eventos, sem dúvida, exercerão influências negativas substanciais sobre a produção agrícola nas próximas décadas (Malhi *et al*., 2021; Asibey e Cobbinah, 2023).

Dentre os desastres naturais que afetam a produção agrícola, a seca emerge como a principal causa de perdas, frequentemente desencadeada por essas alterações climáticas. A seca, ao se manifestar, intensifica os desafios enfrentados na agricultura, pois impulsiona a imobilização de nutrientes no solo e a acumulação de sais, progressivamente transformando áreas outrora férteis em terras áridas e impróprias para cultivo. A consecutiva desertificação dessas áreas, ao longo do tempo, força os agricultores a abandonarem as terras, resultando em perdas econômicas substanciais e complicações sociais (Arora, 2019; Farooq *et al*., 2022). É previsto que aproximadamente um terço dos solos em escala global sofrerá com o stress hídrico, dificultando o desenvolvimento saudável das plantas (Nadeem *et al*., 2019).

O estresse hídrico, do plantio à maturidade das culturas, impõe limitações severas ao crescimento e à produtividade (Wasaya et al., 2021; Nematpour & Eshghizadeh, 2023; Kaur *et al*., 2023), contrariando assim a aspiração da FAO de alcançar a "fome zero". Em face do crescimento contínuo da população mundial, a produção e a segurança alimentar tornam-se desafios formidáveis, pois é previsto que a produção de alimentos precise duplicar até 2050 (Albahri *et al*., 2023). A capacidade das plantas de resistirem ou serem sensíveis ao estresse hídrico é influenciada por diversos fatores, incluindo a severidade, duração e frequência das secas, bem como o potencial genético das plantas e o estágio de desenvolvimento em que se encontram (Varshney *et al*., 2021).

No sentido de abordar essa problemática, é imperativo desvendar soluções inovadoras por meio de intensivos esforços de pesquisa, com o intuito de aprimorar a produtividade, o valor nutricional e a resiliência das culturas. Diante da necessidade premente de desenvolver culturas agrícolas mais resilientes às alterações climáticas e ao estresse hídrico, a pesquisa agronômica tem se voltado para abordagens inovadoras (Munaweera *et al*., 2022).

3. Origem e dispersão da cultura do sorgo

O sorgo, pertencente à família *Poaceae*, subfamília *Panicoideae*, tribo *Paniceae*, gênero *Sorghum* e espécie *Sorghum bicolor*, com ampla diversidade de espécies dentro do gênero *Sorghum*, que são largamente distribuídas na África e na Ásia. A origem da espécie ainda é tema de incerteza, embora haja relatos indicando que sua origem remonta à África (Bakari *et al*., 2023). Esta planta, típica das estepes e savanas africanas, divergiu de um ancestral comum há aproximadamente 50-70 milhões de anos, juntamente com culturas fundamentais como o milho, o arroz e o trigo (Kellogg, 2000).

As primeiras evidências de sorgo selvagem são derivadas de descobertas em locais de caça e coleta no Saara, datando de cerca de 7.500 a.C. Contudo, até um passado recente, o mais antigo sorgo domesticado conhecido foi identificado na Índia, datado de 2.000 a 1.700 a.C., apesar de não ser uma cultura nativa desse país (Venkateswaran *et al*., 2019).

Acredita-se que sementes de sorgo tenham sido introduzidas nos Estados Unidos por meio dos escravos africanos, desempenhando um papel crucial na disseminação da cultura do sorgo nos EUA (Hariprasanna e Patil, 2015).

O sorgo atualmente ocupa a quinta posição entre as culturas mais significativas do planeta em termos de carboidratos, ficando atrás apenas do milho, arroz, trigo e cevada. Sua produção está distribuída principalmente na África (42,83%), nas Américas (38,46%) e na Ásia (14,17%), com a Oceania (2,68%) e a Europa (1,86%) contribuindo em menor medida. A produção global de sorgo está amplamente disseminada pelo planeta, sendo os Estados Unidos o maior produtor, respondendo por 18,54% da produção, com foco nas regiões central e sul das Grandes Planícies, caracterizadas por baixa e variável precipitação. No entanto, mais de 80% da produção de sorgo está concentrada em outros países, destacando-se a Nigeria (10,96%), Índia (7,84%), Etiópia (7,25%), México (7,12%) e Sudão (5,75%) (FAOSTAT, 2023).

Embora a produção global de sorgo tenha declinado desde o pico em 1985, tal diminuição está relacionada, em grande parte, à redução da área cultivada. Isso se deve, em parte, à desregulamentação do mercado, que levou à redução ou eliminação das políticas de apoio aos preços do sorgo, em favor de subsídios para o milho, o arroz e o trigo (Bhagavatula *et al*., 2013; Nagaraj *et al*., 2012). No entanto, a situação varia de país para país. Por exemplo, a Argentina e o México observaram uma significativa queda na produção de sorgo devido a intervenções políticas que reduziram a área cultivada. Em contrapartida, alguns países africanos

experimentaram aumento na produção devido à expansão da área de cultivo em terras mais secas, em resposta ao crescimento populacional (Hariprasanna e Rakshit, 2016).

O aumento da produtividade no cultivo de sorgo tem sido alcançado em muitos países por meio do uso de variedades melhoradas, maior aplicação de insumos agrícolas e gestão mais eficaz dos recursos agrícolas (Belachew *et al*., 2022). A produtividade varia entre países e regiões, dependendo da comercialização e da adoção de tecnologias. Por exemplo, na América do Norte e Europa, onde sementes híbridas, fertilizantes e irrigação são amplamente utilizados, as produtividades são mais elevadas (Suri e Udry, 2022). No entanto, em muitos países em desenvolvimento, onde os agricultores trabalham em pequenas propriedades com solos pobres e recursos limitados, as produtividades são mais baixas (Zerssa *et al*., 2021).

4. Características morfoagronômicas do sorgo

O sorgo é uma planta com metabolismo C_4, de regiões tropicais quentes e semiáridas, mas também pode ser cultivado em regiões de clima temperado e em altitudes de até 2.300 m nos trópicos (Pontieri e Giudice, 2016). As características morfológicas e fisiológicas que lhe permitem boa adaptação às condições de seca incluem um extenso sistema radicular, floração cerosa nas folhas que reduz a perda de água e a capacidade de cessar o crescimento em períodos muito secos e retomá-lo quando o estresse é aliviado (Venkateswaran *et al*., 2019). Para o sorgo, as temperaturas base e ótima para a fase vegetativa são de 8 e 34°C, respectivamente, no entanto, temperaturas abaixo de 26 ºC durante o período de reprodutivo pode causar prejuízos nesta etapa (Prasad *et al*., 2019).

O sorgo se caracteriza por um colmo cilíndrico, ereto, robusto e cheio que termina em uma inflorescência grande, ramificada ou compacta chamada panícula. A planta possui um colmo principal, deste pode ter vários secundários a partir de sua base, chamados perfilhos basais (Reddy e Patil, 2015). É geralmente cultivado anualmente, mas uma cultura de soca pode desenvolver-se a partir da base de plantas antigas através da produção de caules subterrâneos, os rizomas, e pode ser mantida durante várias estações sob condições adequadas (Cox *et al*., 2018).

Cada colmo é composto por uma sobreposição de unidades morfológicas idênticas chamadas fitômero. O fitômero consiste em uma folha, um nó com gema axilar e um entrenó desenvolvido abaixo do nó (Bakari *et al*., 2023). O sorgo normalmente consiste em cerca de 54% de colmo, 19% de folhas e 24% de panícula em peso. Esta composição varia de acordo com variedades, cultivares e condições de cultivo (Allamine *et al*., 2023). A altura da planta nas variedades

cultivadas de sorgo varia de 89 cm na maturidade para as mais baixas até 3 a 6 m para as mais altas (Guimarães *et al*., 2022; Wang *et al*., 2023). As variedades de sorgo são classificadas em três grupos principais quanto a sua finalidade, em granífero, forrageiro, sacarino e biomassa.

O sorgo granífero é cultivado primariamente para a produção de grãos, é uma importante cultura de subsistência e comercial em várias partes do planeta, sendo usada tanto para alimentação humana quanto para ração animal (Bakari *et al*., 2023). Além disso, o sorgo granífero desempenha um papel crucial na diversificação dos cultivos, atuando na rotação de culturas, uma prática agrícola, e na segurança alimentar em regiões vulneráveis a condições climáticas adversas.

Os sorgos forrageiros são tipicamente utilizados em sua fase vegetativa para atender à demanda por produção de forragem no verão incluindo variedades e híbridos de sorgo e c capim-Sudão, seja por meio de pastoreio direto, sistemas de corte para produção de silagem (Ritz *et al*., 2020; Salemi *et al*., 2023), e para cobertura de solo devido à alta produção de biomassa (Koudahe *et al*., 2022).

O sorgo sacarino é uma variedade de alto potencial energético, que produz grãos ricos em amido, caules com grande quantidade de suco e açúcares solúveis e alta biomassa vegetal (Appiah-Nkansah *et al*., 2019). É uma cultura única para a produção de biocombustíveis, pois todas as suas partes podem ser usadas como matéria-prima sustentável através de várias rotas de produção, como amido ou açúcar para etanol, celulose/lignocelulósico para bio-óleo, biocarvão, biogás ou biohidrogênio, e óleo-biodiesel (Stamenkovic *et al*., 2020).

Como o nome indica, o sorgo com alto teor de biomassa é cultivado com a finalidade de gerar biomassa. No caso, a biomassa refere-se às partes vegetativas da planta: caules, folhas e perfilhos. Essas partes vegetativas também são chamadas de biomassa lignocelulósica, porque a maior parte da biomassa consiste em celulose, polissacarídeos hemicelulósicos e lignina. O sorgo com alto teor de biomassa destina-se ao uso industrial. Em princípio, a biomassa pode ser utilizada para combustão para gerar calor e eletricidade (Silva e Vermerri, 2020).

5. Potencial do sorgo na produção de silagem

O Sorgo Forrageiro é uma cultura anual de estação quente e é uma excelente escolha para um sistema de corte único (semelhante ao milho para silagem). Contudo, ao contrário do milho, o sorgo forrageiro está mais bem adaptado a sistemas de produção sob condições agronómicas marginais. Para a produção de forragem, o sorgo é a melhor opção para plantio

em áreas áridas, apresentando maior rendimento e aceitável em termos de qualidade em comparação ao milho (Nematpour *et al*., 2021).

Existem três variedades principais de sorgo cultivados no planeta destinados a produção de forragem, que incluem (1) sorgo forrageiro que cresce de 180 a 360 cm de altura, produz mais tonelagem de matéria seca do que o sorgo em grão e tem caule grosso e é usado para silagem; (2) capim-Sudão, um sorgo de caule fino, de estação curta, cultivado para fornecer pastagens ou forragem verde durante meados do verão; e (3) híbridos Sorgo com capim-Sudão que são um cruzamento entre os dois tipos de forragem que têm potencial de rendimento intermediário e podem ser usados para pastagem, feno ou silagem (Bhat *et al*., 2020)

O capim-Sudão (*Sorghum sudanense*) tem caules mais finos, perfilhos mais abundantes e é mais frondoso do que os sorgos forrageiros híbridos. Produz poucas sementes e sua taxa de rebrota após corte é geralmente superior à dos sorgos forrageiros híbridos. Por estas razões, as gramíneas Sudanesas são frequentemente utilizadas para pastoreio rotativo temporário. Além disso, o capim-Sudão acumula menos do composto venenoso ácido prússico (HCN; ácido cianídrico) do que o sorgo forrageiro (Getachew *et al*., 2016).

Os híbridos de sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor*) e capim-Sudão (*Sorghum sudanense*) apresentam características intermediárias das duas espécies, incluindo perfilhamento moderado, capacidade de rebrota e valor nutricional (Bhat, 2019). Consequentemente, este híbrido oferece potencial para produção de silagem em áreas de seca ou condições agronômicas com disponibilidade reduzida de água.

A forragem e a silagem de sorgo estão entre as principais fontes de energia e fibra digestível nas dietas de ruminantes em muitas regiões quentes, áridas ou semiáridas do planeta. A silagem de sorgo normalmente contém menos amido, proteínas semelhantes e mais fibras do que a silagem de milho, o que resulta em produção relativamente menor de leite pelo gado leiteiro em comparação à silagem de milho. No entanto, as menores necessidades de irrigação do sorgo tornaram-no uma alternativa valiosa ao milho (Desai *et al*., 2020).

Cattani *et al*. (2017), ao comparar a produção, composição e qualidade do leite, em vacas alimentadas com duas dietas experimentais contendo silagens obtidas de milho ou sorgo forrageiro, notaram que a silagem de sorgo tinha 32,83% menos matéria seca (MS) em comparação com a silagem de milho, mas teores semelhantes de proteína e lipídios. No entanto, a silagem de sorgo tinha maiores teores de fibras e menor conteúdo de carboidratos não fibrosos e amido representando respectivamente uma redução de 77,69% e 92,61% em comparação a silagem de milho. Em termos de produção leiteira, as dietas à base de silagem de milho e silagem de sorgo forrageiro não diferiram na ingestão de matéria seca. A produção de leite foi

ligeiramente menor na dieta de silagem de sorgo apresentando redução de 5,7%. A dieta de silagem de sorgo resultou em um teor de gordura ligeiramente maior no leite, da ordem de 7,04%.

Em achados Corriher *et al*. (2010) notaram que a taxa de ganho médio diário foi maior para novilhos alimentados com silagem de milho do que para aqueles alimentados com silagem de sorgo. O consumo de matéria seca foi maior para as dietas à base de silagem de sorgo. Além disso, a silagem de sorgo apresentou aumento de 27,82% e 47,55% no teor de fibras em detergente neutro e ácido em comparação a silagem de milho.

Em outro experimento, Bhattarai *et al*. (2020) investigaram os efeitos do estresse hídrico no crescimento, qualidade e rendimento do milho e do sorgo, em um estudo de campo de dois anos utilizando três níveis de irrigação (50, 200 e 350 mm). O maior nível de irrigação resultou no maior crescimento das plantas, incluindo o índice de área foliar. O sorgo apresentou menor status hídrico, o que indica que suas plantas estavam em um estado fisiológico de menor hidratação, evidenciado por um potencial hídrico mais negativo e temperaturas mais elevadas na copa — sinais típicos de restrição hídrica. Além disso, o sorgo mostrou maior concentração de lignina em comparação ao milho. Apesar disso, os autores observaram que o sorgo manteve maior crescimento e produtividade, com melhor valor nutricional mesmo sob condições de estresse hídrico, o que demonstra sua maior tolerância à seca em relação ao milho.

Salemi *et al*. (2023) ao compararem, as características produtivas e nutricionais em cultivares de sorgo e milho durante duas safras, plantado com três níveis de irrigação de 100%, 80% e 60% da evapotranspiração das culturas. Este estudo revelou que o impacto negativo do estresse hídrico na qualidade e quantidade da produção de forragem nas cultivares de sorgo foi menor em comparação às cultivares de milho. Notaram que a cultura do milho em 100% de irrigação, ao se adotar a taxa de 60%, nota-se uma redução de 40,91% na biomassa. Para a cultura do sorgo essa redução não é tão expressiva, reduzindo apenas em 23,52% sua biomassa.

Para contribuir com a afirmação de que a cultura do sorgo apresenta uma alta resistência a solos pobres e áridos Nematpour *et al*. (2021) ao testarem qual cultura (milho ou sorgo) poderia ser superior em termos de rendimentos de silagem sob condições de irrigação e em diferentes níveis de nitrogênio (N), notaram que o sorgo em condições de estresse hídrico e ausência de N apresentou redução de 32,06% no rendimento de matéria seca em comparação ao fornecimento normal de água. Entretanto, a cultura do milho, apresentou uma redução mais significativa nesse mesmo cenário, de 51,02%. No teor de proteína, nota-se que o conteúdo do

sorgo não diminui estatisticamente perante o déficit hídrico, contudo, a cultura do milho reduziu em 30,39% a proteína.

6. Silagem como estratégia agrícola

A ensilagem é um método de preservação de forragem úmida por meio do qual as bactérias lácticas fermentam carboidratos não fibrosos em água em ácidos orgânicos, principalmente ácido láctico, sob condições anaeróbias. Como resultado, o pH diminui, inibindo os microorganismos anaeróbios prejudiciais, dessa forma, a forragem úmida é preservada, permitindo aos agricultores criar uma reserva estratégica de alimento animal com alto valor nutricional (Weinberg *et al*., 2008).

Na América do Sul, a maior parte da agricultura e da produção animal está localizada nos chamados climas Aw (savana tropical) e Cfa (subtropical úmido) (classificação de Köppen), com uma "estação chuvosa" e uma "estação seca". Como a maioria das explorações de produção de carne bovina e leiteira se baseiam em sistemas de pastejo, há escassez de pastagens durante 4 a 6 meses do ano. Portanto, a conservação da forragem é uma estratégia fundamental para aumentar a taxa de lotação e o desempenho animal durante a estação seca (Daniel *et al*., 2019).

A silagem de milho de planta inteira tem sido a principal fonte de forragem nas dietas de ruminantes em operações intensivas ou durante parte do ano em sistemas com base em pastejo. Uma pesquisa envolvendo 260 produtores de leite no Brasil mostrou que 82,7% utilizavam silagem de milho isoladamente ou em combinação com outras fontes forrageiras na ração (Bernardes e Do Rêgo, 2014). Outras culturas citadas foram o sorgo (27,7%), gramíneas tropicais (23,5%), especialmente capim-elefante e cultivares do gênero *Panicum*, e cana-de-açúcar (21,5%). As demais culturas incluíram aveia, centeio, cevada e trigo, que juntas representaram 6,5% das plantas destinadas a silagem.

Além de fornecer segurança alimentar para o gado, a silagem também desempenha um papel fundamental na estabilidade econômica dos agricultores (Koch *et al*., 2023), reduzindo sua dependência das condições climáticas imprevisíveis. A capacidade de planejar e manter oferta constante de alimento animal aumenta a eficiência da produção pecuária e mitiga os riscos associados às flutuações sazonais na disponibilidade e qualidade da forragem (Ponnampalam & Holman, 2023; Tamboli *et al*., 2023).

7. Altura de corte em relação ao nível do solo

A altura da planta do sorgo forrageiro no momento do corte para silagem constitui um fator crítico que incide diretamente sobre a produtividade e a qualidade bromatológica da biomassa colhida. A definição do ponto ótimo de corte requer uma análise minuciosa da morfogênese da cultura, considerando-se a plasticidade fenotípica da planta, a distribuição de assimilados entre os tecidos vegetais e a dinâmica da lignificação do colmo (Granados-Niño *et al*., 2021; Alatürk, 2024; Wei *et al*., 2024). A manipulação da altura de corte modula a partição de biomassa entre as frações estruturais e não estruturais, influenciando parâmetros como a concentração de carboidratos não fibrosos, o teor de fibra detergente neutra (FDN) e a cinética de degradação ruminal da forragem ensilada (Cardoso *et al*., 2023; Kolar *et al*., 2022).

Os sorgos forrageiros apresentam grande concentração de componentes da parede celular e, por isso, o teor de fibra nessas cultivares é elevado. Esse fato caracteriza volumosos de baixa qualidade, típicos de plantas de porte elevado, baixa produção de grãos e digestibilidade reduzida (Pinho *et al*., 2006). Granados-Niño *et al*. (2021) avaliaram o efeito de seis alturas de corte (10 a 60 cm) sobre o rendimento e a qualidade do ensilado de sorgo. Os autores verificaram que, a partir de cortes acima de 40 cm, houve redução significativa no rendimento de matéria seca (até 12%). Contudo, a digestibilidade da FDN aumentou, a lignina reduziu-se 1,4% com cortes acima de 20 cm, e o pH do ensilado foi mais favorável quando o corte foi feito a 30 cm (pH 3,9). A melhor combinação entre digestibilidade e rendimento foi observada entre 20 e 40 cm.

No estudo comparativo de Elizondo-Salazar (2017), três espécies (sorgo negro forrageiro, milho Criolo e capim Taiwan) foram colhidas em duas alturas (15 cm e 45 cm). Os cortes mais altos (45 cm) resultaram em reduções de rendimento de matéria seca entre 17% e 42%, dependendo da espécie. Por outro lado, observou-se aumento da digestibilidade da FDN e da relação folha:colmo, especialmente no sorgo negro. A qualidade bromatológica melhorou com o aumento da altura de corte, embora as perdas produtivas tenham sido expressivas.

A análise integrada dos artigos revela uma tendência recorrente: o aumento da altura de corte geralmente melhora a qualidade nutricional, especialmente pela exclusão das frações basais das plantas mais lignificadas, mas também reduz o rendimento de biomassa. As perdas de rendimento variam de 10% a 20% em sorgo e milho quando a altura de corte ultrapassa 20–40 cm (Elizondo-Salazar, 2017; Granados-Niño *et al*. 2021). Em contrapartida, menores alturas de corte tendem a aumentar a massa colhida, mas com maior proporção de fibras estruturais (FDN

e FDA) e lignina, o que compromete a digestibilidade e o valor energético do material para os animais. Dessa forma, a definição da altura de corte deve ser feita de maneira estratégica, considerando as necessidades nutricionais dos animais, a frequência de corte e as condições agronômicas locais para maximizar a eficiência produtiva do sorgo forrageiro.

8. Influência da idade da planta no desempenho do sorgo forrageiro

A idade da planta sorgo forrageiro no momento do corte é um fator determinante para o desempenho da cultura, influenciando diretamente a produtividade e a qualidade nutricional da forragem produzida. A definição do momento ideal de corte é crucial para otimizar o crescimento da planta e os resultados de produção, visto que afeta parâmetros fundamentais, como a altura da planta, o diâmetro do caule, a área foliar e a produção de biomassa. Essas características são interligadas e, ao mesmo tempo, são moduladas por fatores genéticos, ambientais e as práticas de manejo adotadas.

A altura da planta e o diâmetro do caule são indicadores amplamente utilizados para avaliar o crescimento do sorgo forrageiro, e a idade do corte desempenha um papel importante no desenvolvimento. Atrasos no corte podem levar em aumento significativo na altura da planta e no diâmetro do caule, o que pode resultar em maior produção de biomassa. Estudos indicam que, ao permitir que o sorgo atinja estágios mais avançados de crescimento, como o estágio de grão pastoso, é possível observar plantas mais altas e caules mais robustos. Por exemplo, Zoloth (2023) relatou que o corte em estágios mais avançados gerou plantas mais altas, enquanto Puteri *et al*. (2015) observaram que o aumento na idade do corte resultou em um crescimento substancial na altura da planta em mutantes de sorgo. O diâmetro do caule também segue uma tendência similar, com estudos de Tae & Moo (2004) indicando que caules mais grossos são formados quando o corte ocorre em estágios posteriores, como a fase de emissão da panícula.

Além da altura e do diâmetro do caule, a área foliar e a produção de biomassa são amplamente impactadas pela idade do corte. À medida que a planta amadurece, sua área foliar tende a aumentar, o que contribui para maior capacidade de fotossíntese e, consequentemente, maior produção de biomassa. Puteri *et al*. (2015) mostraram que o corte aos 95 dias proporcionou área foliar consideravelmente maior em comparação com cortes anteriores. No entanto, embora um corte tardio possa aumentar a biomassa, é importante destacar que essa prática deve ser balanceada com o impacto negativo sobre o conteúdo nutricional da forragem. A produção de biomassa tende a ser maximizada quando o corte ocorre em momentos mais avançados do ciclo de crescimento, como relatado por Tae & Moo (2004) entretanto, o

prolongamento excessivo no tempo de corte possa levar na redução do teor de proteína bruta (PB) e aumento na concentração de fibras, como observado por Puteri *et al*. (2015).

O rendimento e a qualidade da forragem também são diretamente influenciados pela idade do corte. Atrasos no corte frequentemente resultam em maiores rendimentos de forragem verde, mas isso não significa que a qualidade nutricional seja mantida. O estudo de Zoloth (2023) demonstrou que, embora o corte no estágio de grão pastoso aumentasse o rendimento de forragem, a qualidade nutricional da forragem, especialmente o teor de proteína bruta, era negativamente afetada. De fato, a pesquisa de Puteri *et al*. (2015) revelou que, ao exceder 95 dias de idade do corte, o teor de proteína bruta caiu substancialmente, o que destaca a necessidade de um manejo cuidadoso na escolha do momento de corte.

Além dos fatores diretamente relacionados à idade do corte, outras práticas de manejo, como a aplicação de nitrogênio, a irrigação e a frequência de corte, também desempenham um papel crucial no desempenho do sorgo forrageiro. A aplicação de fertilizantes nitrogenados pode potencializar os efeitos positivos do corte tardio, promovendo maiores rendimentos de forragem. Iptas & Brohi (2003) observaram que altas doses de nitrogênio resultaram em maiores produções de forragem quando o corte foi feito em estágios posteriores. A irrigação suplementar também tem um impacto significativo, visto que estudos como o de Mezzomo *et al*. (2020) indicaram que a irrigação a 100% da evapotranspiração de referência (EtO) aumentou a biomassa produzida, especialmente quando o corte foi feito mais tarde no ciclo da planta.

A frequência de corte, por sua vez, deve ser ajustada de acordo com a idade do corte. Cortes frequentes em intervalos muito curtos podem comprometer a produção de biomassa e reduzir o valor nutricional da forragem, como destacado por Schneider *et al*. (2018) e Schneider *et al*. (2019). Portanto, a interação da idade do corte e as práticas de manejo exige um planejamento cuidadoso para garantir equilíbrio entre a produção de biomassa e a qualidade nutricional da forragem.

9. Desafios e oportunidades na produção de forragem

O incremento na demanda por produtos de origem animal nos países de baixa e média renda engendra um cenário de desafios e oportunidades, fortemente influenciado pelo crescimento contínuo do rebanho mundial e pelas limitações inerentes aos recursos naturais. Entre os desafios notórios, merece destaque, o aumento da população de animais de rebanho experimentado incremento substancial nos anos recentes, registrando crescimento da ordem de

3,37% em 2022 em comparação ao ano precedente, culminando no contingente estimado de 202 milhões de cabeças. No âmbito do abate de animais, 81,8% do total (42,31 milhões de cabeças) foram submetidos ao processo de terminação em áreas de pastagem, conforme dados fornecidos pela Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes (ABIEC) em 2023. Este panorama introduz uma pressão adicional sobre os recursos limitados de terras disponíveis para a provisão de pastagens verdes, impondo, assim, um considerável desafio na manutenção de um rebanho tão numeroso, almejando um desempenho ótimo.

As restrições de recursos como a insuficiência hídrica exacerba as vulnerabilidades associadas à produção de sorgo forrageiro, à medida que a disponibilidade hídrica, os sistemas de retenção e transporte de água atingem os respectivos limiares conceituais. Concomitantemente ao incremento da intensificação agrícola, existe um acúmulo de evidências convergentes que denotam a extensão e a severidade da degradação do solo, manifestando-se através de fenômenos erosivos, exaustão de nutrientes e aumento na salinização. Notavelmente, a degradação do solo, cuja origem é predominantemente antropogênica, abrange aproximadamente 35% (equivalente a 1,660 bilhão de hectares) das terras destinadas à atividade agrícola (FAO, 2021).

A expansão do cultivo em direção a áreas marginais acentua ainda mais a degradação, deteriorando a qualidade dos recursos envolvidos, devido a práticas de gestão inadequadas e exploração excessiva. Essa degradação resulta, por conseguinte, em uma redução substancial da produtividade na produção de sorgo forrageiro. Adicionalmente, é necessário considerar a influência prejudicial de animais selvagens e pragas sobre a mencionada produção, conforme destacado pela FAO em relatório de 2021.

Adicionalmente, é pertinente observar que a predominância dos agricultores se direciona para cultivares de estatura superior, atingindo alturas de até 4 metros, caracterizadas por elevadas taxas de matéria seca e proporções reduzidas de grãos conforme indicado por Bernardes *et al*. (2018) e Ganeme *et al*. (2022). Cabe salientar que essas variedades mais elevadas estão mais suscetíveis à fenômeno de acamamento, gerando considerável complexidade na operação de colheita e provocando incrementos nas perdas in loco (Nanda *et al*., 2023). Além disso, enfrenta-se ainda o desafio das aves que ocasionam danos durante o processo de maturação dos grãos nas culturas de sorgo, conforme documentado por Mwamahonje *et al*. (2021).

O obstáculo adicional que merece reflexão é a problemática do processamento dos grãos na produção de silagem de sorgo, sobretudo quando colhidos através de implementos de tração, desprovidos de mecanismos de processamento do tipo kernel conforme elucidado por Daniel *et*

al. (2019). Em contraste com o milho, cujos grãos se destacam por peso na faixa de 250-300 mg, os grãos de sorgo se caracterizam por maior resistência à ruptura durante a fase de colheita, devido, em grande medida, às suas dimensões reduzidas, situadas na faixa de 20-30 mg, conforme referido por García-Lara *et al*. (2019) e Ananda *et al*. (2023). Assim, o processamento dos grãos emerge como estratégia viável para otimizar a digestibilidade da silagem de sorgo, como atestado por González-García *et al*. (2018).

O cultivo de sorgo forrageiro para silagem desempenha um papel crítico na economia do pecuarista. A indústria pecuária depende de fontes de alimentação acessíveis para os animais, e o sorgo forrageiro oferece solução viável com custo de produção de US$ 31,52 t-1, a efeito de comparação a produção de silagem de milho apresenta aumento de 59,58% no valor de cultivo, devido principalmente aos altos custos de insumos durante o período de campo (Berti *et al*., 2021; Havrysh *et al*., 2022).

O sorgo forrageiro é notório pelo uso eficiente de recursos naturais. Em uma era em que a escassez de água é uma preocupação crescente, essa cultura desempenha papel fundamental, requerendo menos água do que muitos outros cultivos forrageiros, tornando-o a escolha sensata em regiões com restrições hídricas (Hossain *et al*., 2022). Além disso, essa cultura prospera em solos menos férteis, o que contribui para o uso eficiente de nutrientes (Koláčková *et al*., 2020). Isso não apenas aumenta a produtividade agrícola, mas também reduz a necessidade de fertilizantes químicos, diminuindo o impacto ambiental e os custos associados.

A cultura pode prosperar em condições de solo subótimas, e oferece a potencial oportunidade para restaurar e usar terras degradadas no Brasil. Dadas as extensas áreas de solo degradado na Caatinga, Cerrado e outras regiões, a adaptabilidade do sorgo forrageiro pode ser valiosa. Ele tem o potencial de contribuir para a conservação do solo, aumentar a cobertura vegetal e apoiar a produção de gado nessas áreas desafiadoras. Além disso, pode desempenhar um papel na melhoria da segurança alimentar e na preservação do meio ambiente, reduzindo a pressão sobre terras intocadas (Visarada e Aruna, 2019; Patel *et al*., 2021; Demattê *et al*., 2022).

O desenvolvimento de variedades de sorgo mais resistentes ao calor e à seca é uma oportunidade importante para mitigar os efeitos das mudanças climáticas. Através de programas de pesquisa, é possível criar variedades que possam resistir a secas prolongadas, temperaturas extremas e outras condições climáticas adversas (Tari *et al*., 2013; Abreha *et al*., 2022). O uso de métodos avançados de melhoramento e técnicas moleculares e biotecnológicas aumentará a tolerância ao estresse do sorgo com um método de avaliação apropriado para genótipos tolerantes à seca (Wagaw, 2019).

Nesse contexto o presente trabalho tem por objetivo avaliar a produção e composição bromatológica de plantas do sorgo AGRI 001E em três idades e alturas de corte para silagem.

10. Referências

Abreha, K. B., Enyew, M., Carlsson, A. S., Vetukuri, R. R., Feyissa, T., Motlhaodi, T., ... & Geleta, M. (2022). Sorghum in dryland: morphological, physiological, and molecular responses of sorghum under drought stress. Planta, 255, 1-23.

Ahmad, S., Sheng, Z., Jalal, R. S., Tabassum, J., Ahmed, F. K., Hu, S., ... & Tang, S. (2021). CRISPR–Cas technology towards improvement of abiotic stress tolerance in plants. In CRISPR and RNAi Systems (pp. 755-772). Elsevier.

Albahri, G., Alyamani, A. A., Badran, A., Hijazi, A., Nasser, M., Maresca, M., & Baydoun, E. (2023). Enhancing Essential Grains Yield for Sustainable Food Security and Bio-Safe Agriculture through Latest Innovative Approaches. Agronomy, 13(7), 1709.

Allamine, H. M., Buyuktas, D., Karaca, C., Aydinsakir, K., & Erdurmus, C. (2023). Effect of regulated deficit irrigation on productivity, evapotranspiration and quality of grain sorghum. Irrigation Science, 41(2), 277-293.

Ananda, G. K., Norton, S. L., Barnes, E., Furtado, A., Møller, B. L., Gleadow, R., & Henry, R. J. (2023). Variant analysis of grain size related genes in the genus Sorghum. Genetic Resources and Crop Evolution, 70(5), 1377-1394.

Appiah-Nkansah, N. B., Li, J., Rooney, W., & Wang, D. (2019). A review of sweet sorghum as a viable renewable bioenergy crop and its techno-economic analysis. Renewable Energy, 143, 1121-1132.

Arora, N. K. (2019). Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. Environmental Sustainability, 2(2), 95-96.

Ashoori, N., Abdi, M., Golzardi, F., Ajalli, J., & Ilkaee, M. N. (2021). Forage potential of sorghum-clover intercropping systems in semi-arid conditions. Bragantia. https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200423

Asibey, M. O., & Cobbinah, P. B. (2023). The evidence for climate change on our planet. In The Palgrave handbook of global sustainability (pp. 223-238). Cham: Springer International Publishing.

Associação brasileira das indústrias exportadoras de carne - ABIEC. Beef Report 2023. Capítulo 4: a pecuária do Brasil. Disponível em: https://www.abiec.com.br/publicacoes/#. Acesso em: 10 de out de 2023.

Bakari, H., Djomdi, Ruben, Z. F., Roger, D. D., Cedric, D., Guillaume, P., ... & Gwendoline, C. (2023). Sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) and Its Main Parts (By-Products) as Promising Sustainable Sources of Value-Added Ingredients. Waste and Biomass Valorization, 14(4), 1023-1044.

Belachew, K. Y., Maina, N. H., Dersseh, W. M., Zeleke, B., & Stoddard, F. L. (2022). Yield gaps of major cereal and grain legume crops in Ethiopia: A review. Agronomy, 12(10), 2528.

Bernardes, T. F., & Do Rêgo, A. C. (2014). Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. Journal of Dairy Science, 97(3), 1852-1861.

Bernardes, T. F., Daniel, J. L. P., Adesogan, A. T., McAllister, T. A., Drouin, P., Nussio, L. G., ... & Cai, Y. (2018). Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. Journal of dairy science, 101(5), 4001-4019.

Berti, M. T., Lukaschewsky, J., & Samarappuli, D. P. (2021). Intercropping alfalfa into silage maize can be more profitable than maize silage followed by spring-seeded alfalfa. Agronomy, 11(6), 1196.

Bhagavatula, S., Rao, P. P., Basavaraj, G., & Nagaraj, N. (2013). Sorghum and millet economies in Asia–Facts, Trends and outlook. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.

Bhat, B. V. (2019). “Breeding forage Sorghum,” in Breeding Sorghum for Diverse End Uses. eds. C. Aruna, K. B. R. S. Visarada, B. V. Bhat and V. A. Tonapi (Cambridge: Woodhead Publishing), 175–191.

Bhattarai, B., Singh, S., West, C. P., Ritchie, G. L., & Trostle, C. L. (2020). Effect of deficit irrigation on physiology and forage yield of forage sorghum, pearl millet, and corn. Crop Science, 60(4), 2167-2179.

Cattani, M., Guzzo, N., Mantovani, R., & Bailoni, L. (2017). Effects of total replacement of corn silage with sorghum silage on milk yield, composition, and quality. Journal of Animal Science and Biotechnology, 8, 1-8.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2022/23 – décimo segundo levantamento. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2023. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos. Acesso em: 02 out. 2023.

Corriher, V. A., Hill, G. M., Bernard, J. K., & Mullinix Jr, B. G. (2010). Performance of Finishing Steers on Corn Silage or Forage Sorghum Silage with Corn Oil Supplementation1. The Professional Animal Scientist, 26(4), 387-392.

Costa, K. A. de P., Silva, L. M. D., Costa, A. C., Severiano, E. da C., Costa, J. V. C. P., & Habermann, E. (2023). Silages of sorghum, Tamani guinea grass, and Stylosanthes in an integrated system: production and quality. Frontiers in Sustainable Food Systems. https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1208319

Cox, S., Nabukalu, P., Paterson, A. H., Kong, W., & Nakasagga, S. (2018). Development of perennial grain sorghum. Sustainability, 10(1), 172.

Daniel, J. L. P., Bernardes, T. F., Jobim, C. C., Schmidt, P., & Nussio, L. G. (2019). Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. Grass and forage Science, 74(2), 188-200.

Demattê, J. A., Giasson, E., Couto, E. G., Samuel-Rosa, A., de Castro, S. S., Dalmolin, R. S. D., ... & Pereira, M. G. (2022). The Brazilian soil priorities. Geoderma Regional, 29, e00503.

Erecek, N., Gökkuş, A., & Alatürk, F. (2023). The Effects of Harvesting Heights at Different Stubble Heights on Forage Yield and Quality in Sorghum Sudangrass Hybrid Cultivars. Acta Natura et Scientia. https://doi.org/10.29329/actanatsci.2023.354.6

FAO. 2021. The state of the world's land and water resources for food and agriculture - Systems at breaking point. Synthesis report 2021. Rome. https://doi.org/10.4060/cb7654en FAOSTAT. Production - Crops and livestock products. Disponível em: http://faostat.fao.org/. Acesso em: 27 set. 2023.

Farooq, M. S., Uzair, M., Raza, A., Habib, M., Xu, Y., Yousuf, M., ... & Ramzan Khan, M. (2022). Uncovering the research gaps to alleviate the negative impacts of climate change on food security: a review. Frontiers in plant science, 13, 927535.

Ganeme, A., Kondombo, C. P., Raboin, L. M., Dusserre, J., Kabore, R., Adam, M., & Traoré, S. (2022). Characterizing sorghum (Sorghum bicolor [L.] Moench) varieties diversity to identify those with contrasting traits of interest for intercropping systems in the Sudano-Sahelian zone of West Africa. Plant Genetic Resources, 20(2), 87-97.

García-Lara, S., Chuck-Hernandez, C., & Serna-Saldivar, S. O. (2019). Development and structure of the corn kernel. Corn, 147-163.

Getachew, G., Putnam, D. H., De Ben, C. M., & De Peters, E. J. (2016). Potential of sorghum as an alternative to corn forage. American Journal of Plant Sciences, 7(7), 1106-1121.

González García, U. A., Corona, L., Castrejon-Pineda, F., Balcells, J., Castelan Ortega, O., & Gonzalez-Ronquillo, M. (2018). A comparison of processed sorghum grain using different digestion techniques. Journal of Applied Animal Research, 46(1), 1-9.

Granados-Niño, J. A., Reta-Sánchez, D. G., Santana, O. I., Reyes-González, A., Ochoa-Martinez, E., Díaz, F., & Sánchez-Duarte, J. I. (2021). Efecto de la altura de corte de sorgo a la cosecha sobre el rendimiento de forraje y el valor nutritivo del ensilaje. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 12(3), 958–968. https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i3.5724

Hariprasanna, K., & Patil, J. V. (2015). Sorghum: origin, classification, biology and improvement. Sorghum molecular breeding, 3-20.

Hariprasanna, K., & Rakshit, S. (2016). Economic importance of sorghum. The sorghum genome, 1-25.

Harwanto, H., Hendarto, E., Bahrun, B., Hidayat, N., Istiqomah, D., & Candrasari, D. P. (2022). Productivity and Nutrient Digestibility of Sorghum Fodder at Different Urine Fertilizers Levels and Harvest Times. Journal of Animal Production. https://doi.org/10.20884/1.jap.2022.24.1.94

Havrysh, V., Nitsenko, V., & Hruban, V. (2022). Sorghum-based power generation in Southern Ukraine: energy and environmental assessment. Agriculture, 12(12), 2148.

Hossain, M. S., Islam, M. N., Rahman, M. M., Mostofa, M. G., & Khan, M. A. R. (2022). Sorghum: A prospective crop for climatic vulnerability, food and nutritional security. Journal of Agriculture and Food Research, 8, 100300.

Iptas, S., & Brohi, A. R. (2003). Effect of Nitrogen Rate and Stubble Height on Dry Matter Yield, Crude Protein Content and Crude Protein Yield of a Sorghum–Sudangrass Hybrid[Sorghum bicolor (L.) Moench × Sorghum sudanense (Piper) Stapf.] in the Three-Cutting System. Journal of Agronomy and Crop Science. https://doi.org/10.1046/J.1439-037X.2003.00001.X

Janhi, K., Matshaya, Z., Chiduza, C., & Muzangwa, L. (2019). Clipping Forage Sorghum Twice and Nitrogen Topdressing Offer an Option for Dual-Purpose Use for Cover Cropping and Fodder in Mixed Crop/Livestock Farming Systems. Agronomy. https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10010017

Kaur, S., Seem, K., Duhan, N., Kumar, S., Kaundal, R., & Mohapatra, T. (2023). Transcriptome and physio-biochemical profiling reveals differential responses of rice cultivars at reproductive-stage drought stress. International Journal of Molecular Sciences, 24(2), 1002.

Kellogg, E. A. (2000). The grasses: a case study in macroevolution. Annual review of ecology and systematics, 31(1), 217-238.

Kirchner, J. H., Robaina, A. D., Peiter, M. X., Torres, R. R., Mezzomo, W., Ben, L. H. B., Girardi, L. B., & Pimenta, B. D. (2018). Productivity and efficiency in the use of water in different irrigation depths in forage sorghum in dynamic of cuts. https://doi.org/10.15809/IRRIGA.2018V23N2P359-379

Koch, C., Schönleben, M., Mentschel, J., Göres, N., Fissore, P., Cohrs, I., ... & Ghaffari, M. H. (2023). Growth performance and economic impact of Simmental fattening bulls fed dry or corn silage-based total mixed rations. animal, 17(4), 100762.

Koláčková, I., Baholet, D., Gruberová, H. A., Smutný, V., Elzner, P., Horký, P., ... & Rábek, M. (2020). Effect of variety, sowing date and location on yield and nutritional characteristics of sorghum. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 68(3), 529-537.

Koudahe, K., Allen, S. C., & Djaman, K. (2022). Critical review of the impact of cover crops on soil properties. International Soil and Water Conservation Research, 10(3), 343-354.
Malhi, G. S., Kaur, M., & Kaushik, P. (2021). Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. Sustainability, 13(3), 1318.

Mezzomo, W., Peiter, M. X., Robaina, A. D., Kirchner, J. H., Torres, R. R., Pimenta, B. D., Pereira, A. C., Ben, L. H. B., Loregian, M. V., & Rodrigues, P. E. C. (2020). Supplementary irrigation in Sudan grass: leaf area index, dry matter production and water use efficiency. https://doi.org/10.15361/1984-5529.2020V48N2P85-98

Munaweera, T. I. K., Jayawardana, N. U., Rajaratnam, R., & Dissanayake, N. (2022). Modern plant biotechnology as a strategy in addressing climate change and attaining food security. Agriculture & Food Security, 11(1), 1-28.

Mwamahonje, A., Eleblu, J. S. Y., Ofori, K., Deshpande, S., Feyissa, T., & Bakuza, W. E. (2021). Sorghum Production Constraints, Trait Preferences, and Strategies to Combat Drought in Tanzania. Sustainability, 13(23), 12942.

Nadeem, M., Li, J., Yahya, M., Sher, A., Ma, C., Wang, X., & Qiu, L. (2019). Research progress and perspective on drought stress in legumes: A review. International journal of molecular sciences, 20(10), 2541.

Nagaraj, N., Basavaraj, G., & Rao, P. P. (2012). Future outlook and options for target crops: the sorghum and pearl millet economy of India.

Nanda, G., Panda, A. K., & Mansingh, B. (2023). Crop Lodging and its Management for Reducing Yield Losses in Field Crops. International Year of Millets 2023, 2(5), 29-32.

Nematpour, A., & Eshghizadeh, H. R. (2023). Biochemical responses of sorghum and maize to the impacts of different levels of water deficit and nitrogen supply. Cereal Research Communications, 1-11.

Nematpour, A., Eshghizadeh, H. R., & Zahedi, M. (2021). Comparing the corn, millet and sorghum as silage crops under different irrigation regime and nitrogen fertilizer levels. International Journal of Plant Production, 15(3), 351-361.

Onyeonagu, C. C., & Asiegbu, J. (2007). Effects of cutting management and N-fertilizer application on plant height, tiller production and percentage dry matter in a run-down Panicum maximum pasture. https://doi.org/10.4314/AS.V4I2.1534

Orosz, S., & Oross, J. (2007). The effect of cutting height on fiber composition in maize and crop residues on stubble. Cereal Research Communications. https://doi.org/10.1556/CRC.35.2007.2.175

Patel, B., Patel, A., Syed, B. A., Gami, B., & Patel, P. (2021). Assessing economic feasibility of bio-energy feedstock cultivation on marginal lands. Biomass and Bioenergy, 154, 106273.
Pereira, H. W. da S., Santos, A. T. dos, Perego, P. E., & Godinho, A. M. M. (2021).

Composição química da silagem de sorgo forrageiro em função da frequência de corte. Research, Society and Development, 10(13), e542101321728. https://doi.org/10.33448/rsd-v10i13.21728

PINHO, R. G. V., DE VASCONCELOS, R. C., BORGES, I. D., & REZENDE, A. V. (2006). Influência da altura de corte das plantas nas características agronômicas e valor nutritivo das silagens de milho e de diferentes tipos de sorgo. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, *5*(02).

Ponnampalam, E. N., & Holman, B. W. (2023). Sustainability II: Sustainable animal production and meat processing. In Lawrie's Meat Science (p. 727-798). Woodhead Publishing.

Pontieri, P., & Giudice, L. D. (2016). Sorghum: a novel and healthy food, Encyclopedia Food Health, 33–43.

Prasad, P. V. V., Djanaguiraman, M., Jagadish, S. V. K., & Ciampitti, I. A. (2019). Drought and high temperature stress and traits associated with tolerance. Sorghum: a state of the art and future perspetives, 58, 241-265.

Puteri, R. E., Karti, P. D. M. H., Abdullah, L., & Supriyanto, S. (2015). Productivity and Nutrient Quality of Some Sorghum Mutant Lines at Different Cutting Ages. Media Peternakan. https://doi.org/10.5398/MEDPET.2015.38.2.132

Reddy, S., & Patil, J. V. (2015). Morphology and Breeding Behavior. in: Genetic enhancement of rabi sorghum: adapting the Indian Durras. Academic Press. (p. 15-23).

Ritz, K. E., Heins, B. J., Moon, R., Sheaffer, C., & Weyers, S. L. (2020). Forage yield and nutritive value of cool-season and warm-season forages for grazing organic dairy cattle. Agronomy, 10(12), 1963.

Salazar, J. A. E. (2017). Producción de biomasa y calidad nutricional de tres forrajes cosechados a dos alturas. Agronomía Mesoamericana. https://doi.org/10.15517/MA.V28I2.23418

Salemi, H., Torabi, M., Heidarisoltanabadi, M., & Nasseri, A. (2023). Evaluation of water-energy productivity and nutritional traits in silage sorghum in arid regions. Agricultural Research, 1-8.

Santos, J. P. A. de S., Silva, J. O. N. da, Salvador, K. R. da S., Guerra, T. M., Ferraz Jardim, A. M. da R., Silva, N. S. G. da, Amaral, E. M., Leite, R. M. C., Aviz, R. O. de, & Leite, M. L. M. V. (2022). Eficiência bioeconômica da adubação mineral na cultura do sorgo. Research, Society and Development, 11(13), e563111335912. https://doi.org/10.33448/rsd-v11i13.35912

Schneider, J. R., Caron, B. O., Elli, E. F., Schwerz, F., & Engroff, T. D. (2019b). Solar radiation use efficiency and gross protein of sorghum forage are modified by the cutting management. https://doi.org/10.6084/m9.figshare.8092805

Schneider, J. R., Caron, B. O., Elli, E. F., Schwerz, F., & Engroff, T. D. (2019a). Cutting management modifies the phyllochron, the growth and the production of forage sorghum under the cool environment. Archivos De Zootecnia. https://doi.org/10.21071/AZ.V68I264.4995

Schneider, J. R., Caron, B. O., Elli, E. F., Schwerz, F., & Engroff, T. D. (2019a). Solar radiation use efficiency and gross protein of sorghum forage are modified by the cutting management. https://doi.org/10.6084/m9.figshare.8092805

Schneider, J. R., Caron, B. O., Elli, E. F., Schwerz, F., & Engroff, T. D. (2019b). Solar radiation use efficiency and gross protein of sorghum forage are modified by the cutting management. Ciência Animal Brasileira. https://doi.org/10.1590/1809-6891V20E-46662

Shroff, J. C., & Patel, P. (2020). Effect of cutting management and fertility levels on growth and seed yields of multicut forage sorghum [Sorghum bicolor (L.) Moench] var. CoFS-29. International Journal of Chemical Studies. https://doi.org/10.22271/CHEMI.2020.V8.I6Y.11020

Suri, T. e Udry, C. (2022). Tecnologia agrícola em África. Jornal de Perspectivas Econômicas , 36 (1), 33-56.

Tae, J. B., & Moo, L. S. (2005). Effect of Cutting Times according to Growth Stage in Sorghum X Sudangrass Hybrid on Frequence of Use, Growth Characteristics, Forage Production and Crude Protein Yield. https://doi.org/10.5333/KGFS.2005.25.1.033

Tamboli, P., Chaurasiya, A. K., Upadhyay, D., & Kumar, A. (2023). Climate Change Impact on Forage Characteristics: An Appraisal for Livestock Production. In Molecular Interventions for Developing Climate-Smart Crops: A Forage Perspective (pp. 183-196). Singapore: Springer Nature Singapore.

Tari, I., Laskay, G., Takács, Z., & Poór, P. (2013). Response of sorghum to abiotic stresses: A review. Journal of agronomy and crop science, 199(4), 264-274.

Varshney, R. K., Barmukh, R., Roorkiwal, M., Qi, Y., Kholova, J., Tuberosa, R., ... & Siddique, K. H. (2021). Breeding custom-designed crops for improved drought adaptation. Advanced Genetics, 2(3), e202100017.

Venkateswaran, K., Elangovan, M., & Sivaraj, N. (2019). Origin, domestication and diffusion of Sorghum bicolor. In Breeding Sorghum for diverse end uses (p. 15-31). Woodhead Publishing.

Venkateswaran, K., Sivaraj, N., Pandravada, S. R., Reddy, M. T., & Babu, B. S. (2019). Classification, distribution and biology. In Breeding sorghum for diverse end uses (p. 33-60). Woodhead Publishing.

Vicente, E. R. J. de S., Feba, L. T., Silva, P. C. G. da, Franzluebbers, A. J., & Moro, E. (2023). Production and quality of sorghum silage intercropped with marandu grass and pigeonpea. Colloquium Agrariae. https://doi.org/10.5747/ca.2023.v19.h512

Visarada, K. B. R. S., & Aruna, C. (2019). Sorghum: A bundle of opportunities in the 21st century. In Breeding Sorghum for diverse end uses (pp. 1-14). Woodhead Publishing.

Wagaw, K. (2019). Review on mechanisms of drought tolerance in sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench) basis and breeding methods. Academic Research Journal of Agricultural Science and Research, 7(2), 87-99.

Wasaya, A., Manzoor, S., Yasir, T. A., Sarwar, N., Mubeen, K., Ismail, I. A., ... & EL Sabagh, A. (2021). Evaluation of fourteen bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes by observing gas exchange parameters, relative water and chlorophyll content, and yield attributes under drought stress. Sustainability, 13(9), 4799.

Weinberg, Z. G. (2008). Preservation of forage crops by solid-state lactic acid fermentation-ensiling. In Current developments in solid-state fermentation (pp. 443-467). New York, NY: Springer New York.

Zerssa, G., Feyssa, D., Kim, D. G., & Eichler-Löbermann, B. (2021). Challenges of smallholder farming in Ethiopia and opportunities by adopting climate-smart agriculture. Agriculture, 11(3), 192.

Zoloth, L. (2023). Effect of Cutting Stages and Sowing Dates on Forage Yield and Quality of Sorghum (Sorghum bicolor L.). Tikrit Journal for Agricultural Sciences. https://doi.org/10.25130/tjas.19.2.11

CAPÍTULO 2

Produção e composição bromatológica do sorgo AGRI 001E em três idades e alturas de corte para silagem

Trabalho redigido de acordo com as normas da revista Ciência Rural.

Produção e composição bromatológica do sorgo AGRI 001E em três idades e alturas de corte para silagem

Production and bromatological composition of AGRI 001E sorghum at three ages and cutting heights for silage

1. RESUMO

Este trabalho tem por objetivo avaliar a produção e composição bromatológica de plantas do sorgo AGRI 001E em três idades e alturas de corte para silagem. O experimento foi conduzido em condições de sequeiro entre janeiro e maio de 2024, em duas areas pertencentes a FMVZ/UNESP, em Botucatu (SP), com clima Cwa e solo Latossolo Vermelho. O delineamento foi inteiramente casualizado, em fatorial 2x3x3 com cinco repetições, avaliando o cultivo em duas altitudes, aos 805 e 572 m, três alturas (20, 45 e 70 cm) e em três idades de colheita (103, 110 e 117 Dias após a emergência). Utilizou-se a cultivar AGRI 001E de sorgo forrageiro de ciclo precoce. As mesmas plantas foram cortadas sequencialmente, separadas em colmo, folha e panícula, e submetidas à secagem para obtenção da massa seca, matéria seca e componentes bromatológicos. A análise estatística realizado por ANOVA e teste de Tukey ($P \leq 0,05$). A maior produção de massa seca da planta inteira ocorreu com corte a 20 cm, enquanto cortes acima de 70 cm reduziram o rendimento. O teor de matéria seca da panícula foi mais alto aos 117 DAE, com 75,06% no cultivo a 572 m de altitude. Cortes mais baixos diminuíram os teores de matéria mineral em 4,64% e proteína bruta em 2,24% da planta inteira, enquanto aumentaram as fibras (FDN, FDA e celulose), indicando maior concentração de componentes estruturais na base da planta. A colheita do sorgo forrageiro AGRI 001E deve ser realizada no estádio de grão pastoso, observado no terço inferior da panícula, na altura de 20cm em relação ao nível do solo para maximizar a produtividade de massa seca e a 70cm para otimizar a qualidade nutricional, independente da altitude de cultivo.

Palavras-chave: altura do corte; forragicultura; sorgo forrageiro; altitude de cultivo.

2. ABSTRACT

This study aims to evaluate the yield and bromatological composition of AGRI 001E sorghum plants at three different growth stages and cutting heights for silage. The experiment was conducted under rainfed conditions between January and May 2024, in two areas belonging to FMVZ/UNESP, in Botucatu (SP), with a Cwa climate and Red Latosol soil. A completely randomized design was used in a 2x3x3 factorial scheme with five replications, assessing cultivation at two altitudes (805 and 572 m), three cutting heights (20, 45, and 70 cm), and three harvest ages (103, 110, and 117 days after emergence). The cultivar used was AGRI 001E, a fast-growing forage sorghum. The same plants were cut sequentially, separated into stem, leaf, and panicle, and dried to determine dry mass, dry matter content, and bromatological components. Statistical analysis was performed using ANOVA and Tukey's test ($P \leq 0.05$). The highest total plant dry mass yield was obtained with a 20 cm cutting height, while cuts above 70 cm reduced yield. The dry matter content of the panicle was highest at 117 DAE, reaching 75.06% at the 572 m altitude site. Lower cutting heights decreased the mineral matter content by 4.64% and crude protein by 2.24% in the whole plant, while fiber contents (NDF, ADF, and cellulose) increased, indicating a greater concentration of structural components at the plant base. The harvest of the forage sorghum AGRI 001E should be carried out at the dough grain stage, observed in the lower third of the panicle, at a height of 20 cm from ground level to maximize dry matter yield and at 70 cm to optimize nutritional quality, regardless of cultivation altitude.

Keywords: cutting height; forage science; forage sorghum; cultivation altitude.

3. INTRODUÇÃO

O sorgo, pertencente à família *Poaceae*, subfamília *Panicoideae*, tribo *Paniceae*, gênero *Sorghum* e espécie *Sorghum bicolor*, é notável pela ampla diversidade de espécies dentro do gênero *Sorghum*, que são largamente distribuídas na África e na Ásia. A origem da espécie ainda é tema de incerteza, embora haja relatos indicando que sua origem remonta à África (BAKARI et al. 2023). Esta planta, típica das estepes e savanas africanas, divergiu de um ancestral comum há aproximadamente 50-70 milhões de anos, juntamente com culturas fundamentais como o milho, o arroz e o trigo (KELLOGG, 2000).

Os dados da safra 2022/23 do sorgo granífero no Brasil, conforme levantamentos realizados pela CONAB (2023), mostram aumento notável na área de plantio de sorgo, que atingiu 1.417,8 mil hectares, representando incremento de 25,42% em relação à safra anterior. A produção

alcançou 4.786,8 mil toneladas, com produtividade de 3.376 $kg.ha^{-1}$, o que representa um aumento de 53,4% e 22,31%, respectivamente, em comparação com a safra 21/22. O estado de Goiás contribuiu significativamente, respondendo por 30,96% da produção nacional.

A altura de corte impacta o balanço entre tecidos lignificados e não lignificados (PERRIER et al. 2017; DAWOODI e AL-BEIRUTY, 2023;). Embora cortes mais baixos aumentem o rendimento de biomassa, eles elevam a proporção de fibras estruturais, diminuindo a digestibilidade da parede celular e reduzindo a taxa de degradação ruminal da forragem. Em contrapartida, cortes elevados favorecem a seletividade estrutural da colheita, privilegiando frações de maior valor nutritivo, mas com prejuízo ao rendimento por hectare (BORRELL et al. 2022; ATIM et al. 2024).

O ciclo fenológico do sorgo forrageiro transcorre em estágios bem definidos, desde a fase vegetativa inicial até a maturação de grãos. Durante a fase vegetativa, a planta apresenta elevado conteúdo de proteína bruta e alta digestibilidade da fibra, mas baixa concentração de matéria seca, o que pode comprometer a estabilidade fermentativa da silagem (SRIAGTULA et al. 2017). À medida que a planta avança para os estágios reprodutivos, ocorre acúmulo progressivo de lignina e aumento na fração de fibra indigestível, dificultando a degradação ruminal e comprometendo o desempenho animal, ocorre também incremento na concentração de amido nos grãos, modulando a relação entre energia digestível e fibra indigestível (MCKINLEY et al. 2018; RIVAI et al. 2024).

A interação da altura e a idade do corte do sorgo forrageiro representa um fator determinante na modulação da qualidade bromatológica e da produtividade da forragem (PINHO et al., 2005; COMASSETO et al. 2019). A definição conjunta desses parâmetros impacta diretamente a proporção entre frações digestíveis e indigestíveis, afetando a eficiência de utilização da fibra pelos microrganismos ruminais (ATIŞ et al. 2011). Ademais, o ajuste da altura de corte conforme o estágio fenológico da cultura permite a otimização da partição de biomassa entre folhas, colmo e panícula, maximizando o valor nutricional da silagem (PUTERI et al. 2015; FERREIRA et al. 2014).

Em estágios vegetativos iniciais, cortes mais elevados favorecem a manutenção dos tecidos meristemáticos, preservando o potencial de rebrota e garantindo a sustentabilidade da cultura. À medida que a planta atinge os estágios reprodutivos, a adoção de alturas intermediárias de corte pode otimizar o balanço entre produtividade e digestibilidade, reduzindo o impacto da lignificação sobre a degradabilidade ruminal da fibra (MARTINIELLO e TEIXEIRA, 2011). Este trabalho teve por objetivo avaliar a produção, componentes estruturais e composição

bromatológica de plantas de sorgo colhidas em duas altitudes, três idades e em três alturas de corte.

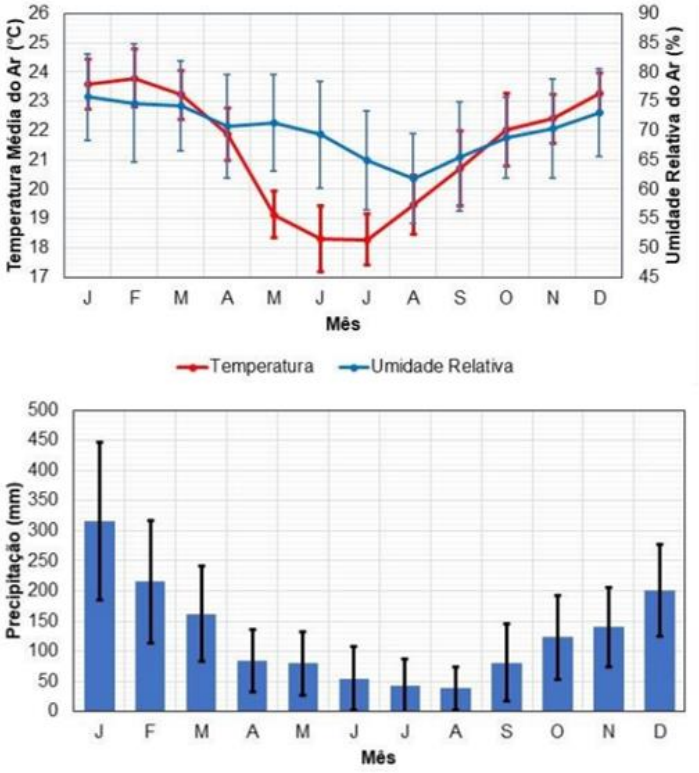
4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de sequeiro em duas localidades situado na fazenda Edgardia (províncias geomorfológicas de depressão periférica) (22°49'14"S e 48°24'47"W, a altitude de 572 metros acima do nível do mar) e fazenda Lageado (províncias geomorfológicas de cuestas basálticas) (22°51'46"S e 48°25'28"W, a altitude de 805 metros acima do nível do mar), ambas as áreas pertencem à Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ/UNESP) e estão situadas no município de Botucatu, São Paulo, Brasil. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa, clima subtropical úmido, caracterizado por uma estação quente e úmida entre primavera e verão, e seca entre outono e inverno (CUNHA e MARTINS, 2009). A análise dos dados climáticos diários revela um panorama detalhado das variações de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação ao longo do período observado constado no quadro 1.

Quadro 1 - Variação mensal da Temperatura Média, Umidade Relativa e Precipitação do período de janeiro/15 a maio/18; Fonte: Elaborado pelos autores.

Período	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio
Temperatura média (ºC)	21,74	24,20	23,49	23,39	24,72
Umidade media (%)	82,87	81,67	84,67	77,19	57,20
Precipitação (mm)	103,10	112,40	63,30	41,20	0,00

Figura 1 - Temperatura, umidade relativa do ar e precipitação de 1991 a 2020 para Botucatu - Temperatura, umidade relativa do ar e precipitação de 1991 a 2020 para Botucatu -SP; Fonte: FRANCO et al. (2023)



O solo da area experimental da fazenda Lageado e Edgardia, foi caracterizado como latossolo vermelho de acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos (SANTOS et al. 2018). Antes da implementação do experimento, procedeu-se à análise da fertilidade do solo e a composição granulométrica composta de areia, silte e argila nas profundidades de 0 a 0,20 m nas duas localidades. O experimento foi conduzido em área contínua, sem a utilização de parcelas delimitadas, em delineamento inteiramente casualizados, com esquema fatorial de 2x3x3, em duas altitudes (572 e 805 m) com três tratamentos correspondentes às alturas do corte (20, 45 e 70 cm acima do solo) e em três idades da planta aos 103, 110 e 117 dias após a emergência, foram amostradas 5 repetições que consistiram em amostragens independentes, realizadas aleatoriamente dentro da área experimental. O plantio ocorreu em 15 de janeiro de 2024, seguido pela emergência das plantas em 22 de janeiro de 2024.

Foram empregadas sementes hibridas de sorgo forrageiro da cultivar AGRI 001E de ciclo precoce, com período de corte entre 85 e 115 dias. Apresenta alta produtividade de massa verde e boa relação entre grãos e massa, tornando-o ideal para produção de silagem de excelente qualidade bromatológica. Além disso, destaca-se por sua resistência ao estresse hídrico e tolerância a diversas doenças, como antracnose, helmintosporiose e ferrugem do sorgo (AGRICOMSEEDS, 2018), as quais possuíam valor cultural de 73,5% e foram previamente

tratadas com fungicida e inseticida. A semeadura foi conduzida por meio de uma operação mecanizada. Antes da realização da semeadura, foi realizado uma gradagem intermediaria seguida por uma gradagem leve, com o propósito de promover a homogeneização e nivelamento da área.

A área destinada ao cultivo da cultura apresentou cerca de 1,15 ha na area de 805 m de altitude e 2 ha na area de 572 m de altitude. O espaçamento de semeadura entre linhas foi estabelecido em 0,85 metros, com uma densidade de 16 sementes m^{-1} linear. A administração do fertilizante formulado 08-28-16 foi concomitante à semeadura. Após o estabelecimento da cultura foi realizado a adubação de cobertura com ureia. A determinação do início da colheita foi baseada na avaliação visual do estádio de maturação dos grãos, com observações realizadas periodicamente a partir dos 78 dias após a emergência (DAE), momento em que aproximadamente 50% da área apresentava panículas já expandidas. Aos 103 DAE, observou-se que os grãos da cultivar AGI 001E haviam superado o estádio leitoso, encontrando-se predominantemente no estádio pastoso.

Considerando que a maturação dos grãos de sorgo ocorre de forma basípetal, iniciando-se na extremidade superior da panícula e progredindo em direção à base (LEE et al. 1974), adotou-se como critério para o início da colheita a presença visual de aproximadamente dois terços da panícula com grãos em estádios mais avançados de desenvolvimento. Com base nesse critério, definiu-se o início da colheita nas seguintes idades: 103 DAE (estádio pastoso), 110 DAE (estádio farináceo) e 117 DAE (estádio farináceo duro).

Em cada idade do corte, foram coletadas manualmente cinco amostras contendo, em média, 16 plantas obtidas em um metro linear, selecionadas aleatoriamente na área experimental. A altura média das plantas foi de 195 cm. Foram realizados cortes a 20 cm do solo, sendo recolhido todo o material vegetal acima desse ponto. O material coletado foi transportado para o laboratório 'digestibilidade' da FMVZ/UNESP para o processamento e simulação dos diferentes tratamentos de altura de corte. No laboratório, foram selecionadas 3 plantas representativas por amostra, com base na uniformidade de altura, as quais foram dispostas sobre uma superfície plana e, em seguida, o material foi seccionado conforme a altura em relação ao solo. O primeiro segmento, correspondente à faixa de 20 a 45 cm, foi considerado como representativo do tratamento de corte a 20 cm. O segundo segmento, de 45 a 70 cm, correspondeu ao tratamento de corte a 45 cm. Por fim, a porção superior, composta pelo material situado acima de 70 cm, foi destinada ao tratamento de corte a 70 cm. Essa última porção apresentou comprimento variável, com média aproximada de 105 cm. Em cada segmento,

foram separados os três principais componentes morfológicos: colmo (C), folha (F) e panícula (P)."

Os componentes das 3 plantas que compunham a amostra, foram pesadas imediatamente após a separação para obtenção do peso verde, acondicionadas em sacos de papel kraft, e posteriormente submetidos à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até peso constante para obtenção da produtividade de massa seca (t. ha^{-1}) e teor de matéria seca (%) de colmo, folha e panícula. Após pesagem, o material foi levado ao laboratório de bromatologia da FMVZ/UNESP e moídas em moinho estacionário, utilizando peneira com malha de 1mm e armazenadas para as determinações de: MM, PB, EE, FB, FDN, FDA, CEL, LIG, seguindo metodologia emitidas pela AOAC (1995) e estimativa de NDT, utilizando-se a formula de WEISS (1993) para forragens frescas. A produtividade de massa seca (t. ha^{-1}) e teor de matéria seca (%) de planta inteira (PI) de cada altura foram posteriormente estimado de acordo com as formulas:

Produtividade de massa seca de planta inteira (PI) para plantas cortadas a 70 cm:

$$PI_{70} = C_{>70} + F_{>70} + P_{>70}$$

Produtividade de massa seca de planta inteira (PI) para plantas cortadas a 45 cm:

$$PI_{45} = C_{45-70} + PI_{70}$$

Produtividade de massa seca de planta inteira (PI) para plantas cortadas a 20 cm:

$$PI_{20} = C_{20-45} + PI_{45}$$

A análise estatística dos dados foi conduzida por meio de análise de variância (ANOVA) utilizando o software Sisvar. Os dados foram avaliados quanto à normalidade e homogeneidade de variância, e, como atenderam aos pressupostos da ANOVA, não foi necessária a transformação dos dados. Quando identificadas diferenças significativas ($P \leq 0,05$), as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, visando a formação de grupos homogêneos. Adicionalmente, interações significativas entre os fatores foram desdobradas.

5. RESULTADOS

A análise de variância (tabela 1) indica que o fator das diferentes altitudes de cultivo teve efeito estatisticamente significativo sobre a altura do sorgo. Os resultados indicam que as

plantas cultivadas a 572 metros de altitude apresentaram maior altura média reduzindo em 5,13 % em comparação àquelas cultivadas a 805 metros.

Tabela 1 - Altura média do sorgo forrageiro AGRI-001E em função de duas altitudes de cultivo; Fonte: Elaborado pelos autores.

Altitude	Altura (m)
572 m	1,83
805 m	1,73
	ANOVA ($P > F$)
Altitude	0,0389
	CV (%)
	6,61

A análise de variância das variáveis de produtividade de massa seca (tabela 2) mostrou que os fatores altitude (AL), idade do corte (IC) e altura de corte (AC) afetaram de modo diferenciado os componentes planta inteira (PI), colmo (C), folha (F) e panícula (P) do sorgo forrageiro AGRI-001E.

Tabela 2 - Produtividade de massa seca (t. ha^{-1}) dos diferentes componentes do sorgo forrageiro AGRI-001E em função de duas altitudes de cultivo, três alturas de corte e três idades de colheita, de forma isolada; Fonte: Elaborado pelos autores.

Tratamentos	Produtividade de massa seca (t. ha^{-1})			
	PI	C	F	P
Altitude				
572 m	-	-	2,93 a	8,09 ^{NS}
805 m	-	-	2,58 b	9,32 ^{NS}
Idade do corte				
103 DAE	-	-	2.75 ^{NS}	8,12 ^{NS}
110 DAE	-	-	2.95 ^{NS}	9,49 ^{NS}
117 DAE	-	-	2.56 ^{NS}	8,51 ^{NS}
Altura de corte				
70 cm	15,29 b	3,81 a	-	-
45 cm	16,31 ab	1,02 b	-	-

20 cm	17,19 a	0,87 b	-	-
		ANOVA (*P* > F)		
Altitude (AL)	0,0001	0,0021	0,0263	0,0921
Idade do corte (IC)	0,0301	0,0071	0,1128	0,2771
Altura de corte (AC)	0,0235	0,0000	-	-
AL × IC	0,0007	0,0387	0,2296	0,1408
AL × AC	0,9545	0,4060	-	-
AL × IC × AC	1,0000	0,0820	-	-
IC × AC	0,9993	0,5410	-	-
		CV (%)		
	16,10	22,62	14,33	22,05

PI: planta inteira; C: colmo; F: folha; P: panícula.

NS: Não significativo

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem estatisticamente entre si (*P* <0,05) pelo teste de Tukey.

A altitude exerceu efeito significativo sobre PI e C, significativo sobre F e não influenciou. Em relação a idade do corte, este fator apresentou significância para PI e C, mas não para F nem P. Já a altura de corte, impactou PI e C, sem avaliação para F e P.

AL × IC mostrou interação significativa em PI e C, indicando que o efeito da idade do corte varia conforme as condições edafoclimáticas de cada altitude, já para as demais interações (AL × AC, AL × IC × AC, IC × AC), estas foram não significativas para todos os componentes.

Em relação a produção de massa seca de folha a localidade com altitude de 572 m produziu cerca de 2,93 t ha^{-1}, o que representa uma diminuição de 11,95% quando se cultiva em maiores altitudes (805 m). Já para a produção de panícula está não houve diferenças estatísticas entre altitudes.

Para o fator altura de corte ao nível do solo, o tratamento de plantas cortadas acima de 20 cm produziu a maior PI (17,19 t ha^{-1}), o que ao se eliminar o colmo basal e cortar as plantas acima de 70 cm apresenta a menor PI (15,29 t ha^{-1}) o que representa uma redução na produtividade de 11,09%. O tratamento de 45 cm, resultou em valores intermediários de PI (16,31 t ha^{-1}).

Para a fração colmo, o segmento colhido acima de 70 cm apresentou a maior produtividade (3,81 t ha^{-1}), devido a este segmento ser o restante da altura das plantas, o

representa aproximadamente 105 cm, que consequentemente, geraria maior produção do colmo. Esses valores foram estatisticamente superiores às produtividades obtidas nos intervalos de colmo de 20-45 cm (correspondente ao tratamento de plantas cortadas a 20 cm) e 45-70 cm (correspondente ao tratamento de plantas cortadas a 45 cm), cujas médias variaram de 0,87 e 1,02 t ha^{-1} respectivamente.

A interação AL × IC mostrou-se significativa tanto para PI quanto para C, o que motivou desdobramentos para avaliar diferenças na sequência de idades em cada altitude e vice-versa (tabela 3).

Tabela 3 - Desdobramento da interação das duas altitudes e três idades de colheita da variável produtividade de massa seca de planta inteira e colmo do sorgo forrageiro AGRI-001E; Fonte: Elaborado pelos autores.

Altitude	Produtividade de massa seca (t. ha^{-1})					
	103 DAE		110 DAE		117 DAE	
	PI	C	PI	C	PI	C
572 m	16,45 a	2,08 NS	17,59 NS	2,05 a	18,12 a	2,01 a
805 m	15,75 Ab	2,09 A	16,91 A	1,77 ABb	12,75 Bb	1,42 Bb
			ANOVA ($P > F$)			
Desdobramentos		PI			C	
AL dentro de IC						
103 DAE		0,4700			0,9731	
110 DAE		0,4764			0,0810	
117 DAE		0,0000			0,0004	
IC dentro de AL						
572 m		0,2090			0,9008	
805 m		0,0001			0,0004	
			CV (%)			
		16,10			22,62	

PI: planta inteira; C: colmo.

NS: Não significativo

Médias seguidas de letras diferentes, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem estatisticamente entre si (P <0,05) pelo teste de Tukey.

No cultivo a 572 m de altitude, não houve diferenças significativas entre 103, 110 e 117 DAE, tanto para PI quanto para C, sugerindo estabilidade produtiva ao longo do período avaliado. Já aos 805 m de altitude, observou-se redução progressiva e significativa de massa seca com o avançar da idade, para PI e C, indicando que o ponto ótimo de rendimento ocorre antes de 117 DAE.

Aos 103 DAE, não houve diferença significativa entre as altitudes, em PI nem em C. Aos 110 DAE, também não se detectaram diferenças. Aos 117 DAE, as produtividades de PI e C foram significativamente maiores quando se cultivado aos 572 m do que aos 805 m de altitude.

A análise de variância para o teor de matéria seca (%) dos componentes planta inteira (PI), colmo (C), folha (F) e panícula (P) do sorgo forrageiro AGRI-001E (tabela 4) revelou os seguintes resultados, para a altitude (AL), esta não afetou significativamente o teor de matéria seca da planta inteira, mas exerceu efeito significativo sobre o colmo, folha e panícula. Com relação a idade do corte (IC), esta influenciou de forma significativa todos os componentes. A altura de corte (AC), também apresentou efeito significativo em PI, C.

Tabela 4 - Teor de matéria seca (%) dos diferentes componentes do sorgo forrageiro AGRI-001E em função de duas altitudes de cultivo, três alturas de corte e três idades de colheita, apresentadas de forma isolada; Fonte: Elaborado pelos autores.

Tratamentos	Teor de matéria seca (%)			
	PI	C	F	P
	t. ha^{-1}	t. ha^{-1}	t. ha^{-1}	t. ha^{-1}
Altitude				
572 m	35,83	19,55 a	29,24 b	-
805 m	35,17	17,97 b	32,43 a	-
Idade do corte				
103 DAE	33,68 c	19.54 a	27,35 b	-
110 DAE	35,48 b	17.84 b	29,76 b	-
117 DAE	37,34 a	18.90 ab	35,40 a	-
Altura de corte				
70 cm	33,50 c	20,81 a	-	-
45 cm	35,35 b	18,47 b	-	-
20 cm	37,64 a	17,00 c	-	-

		ANOVA ($P > F$)		
Altitude (AL)	0,1987	0,0007	0,0058	0,0002
Idade do corte (IC)	0,0000	0,0098	0,0000	0,0000
Altura de corte (AC)	0,0000	0,0000	-	-
AL × IC	0,0574	0,0724	0,1410	0,0164
AL × AC	0,9593	0,4927	-	-
AL × IC × AC	1,0000	0,8344	-	-
IC × AC	0,9966	0,1274	-	-
		CV (%)		
	6,85	11,29	14,33	3,38

PI: planta inteira; C: colmo; F: folha; P: panícula.

NS: Não significativo

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem estatisticamente entre si (P <0,05) pelo teste de Tukey.

A interação AL × IC não foi significativa para PI, C ou F, mas significativa para P, indicando que o incremento de matéria seca na panícula ao longo das sucessivas idades do corte difere conforme o local. Demais interações (AL × AC; AL × IC × AC; IC × AC), todas sendo não significativas, sugerindo independência mútua entre altura e idade do corte e entre estes e a altitude, exceto no caso de P acima citado.

Para o componente planta inteira, este apresentou maior teor de matéria seca, obtido a 20 cm (37,64%) e aos 117 DAE (37,34%), apontando acúmulo progressivo de sólidos até idades mais avançadas e em cortes rasos. Para o MS% de colmo, observa-se valores mais elevados a 572 m (19,55%) e a 70 cm de altura de corte (20,81%). Aos 103 DAE, este tratamento apresentou os maiores valores de MS% de 19,54%, ocorrendo diminuição desse teor aos 110 DAE em 8,70% (17,84 de MS%). Para o componente folha, o menor teor de MS% ocorreu na localidade de 572 m de altitude, com 29,24% o que aumentou em 10,90% na localidade de 805 m. Com relação ao fator idade do corte, a folha apresentou menor teor de matéria seca aos 103 DAE com cerca de 27,35% de MS o que aumentou em cerca de 29,43% aos 117 DAE.

A análise do teor de matéria seca (MS%) da panícula do sorgo forrageiro AGRI-001E, em função de diferentes altitudes e idades de colheita (tabela 5), revelou efeitos estatisticamente significativos tanto para os fatores principais quanto para sua interação. A altitude influenciou de forma significativa o teor de matéria seca. A idade do corte também apresentou efeito altamente significativo. A interação entre altitude e idade do corte (AL × IC) influenciou

significativamente o teor de MS% da panícula. Diante da significância dessa interação, foi realizado o desdobramento das médias, considerando as altitudes dentro de cada idade do corte e as idades do corte dentro de cada altitude.

Tabela 5 - Desdobramento da interação das duas altitudes e três idades de colheita da variável teor de matéria seca da panícula do sorgo forrageiro AGRI-001E; Fonte: Elaborado pelos autores.

Altitude	Teor de matéria seca (%)		
	103 DAE	110 DAE	117 DAE
572 m	61,35 C	68,03 B	75,06 Aa
805 m	59,27 B	66,47 A	67,82 Ab
	ANOVA ($P > F$)		
Desdobramento: AL dentro de IC			
103 DAE	0,1548		
110 DAE	0,2801		
117 DAE	0,0000		
Desdobramento: IC dentro de AL			
572 m	0,0000		
805 m	0,0000		
	CV (%)		
	3,38		

Médias seguidas de letras diferentes, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem estatisticamente entre si (P <0,05) pelo teste de Tukey.

Ao avaliar as idades de corte dentro da localidade de 572 m de altitude, observa-se que houve um incremento contínuo e estatisticamente significativo no teor de matéria seca da panícula com o avanço do ciclo. O teor passou de 61,35% aos 103 DAE para 68,03% aos 110 DAE e aumentando em 10,33% aos 117 DAE. Essa elevação é estatisticamente significativa, evidenciando que, nessa altitude, o acúmulo de matéria seca na panícula foi progressivo ao longo do tempo, possivelmente refletindo condições ambientais mais favoráveis ao enchimento de grãos e à maturação dos tecidos reprodutivos.

Na localidade de 805 m de altitude, também foi observado aumento no teor de matéria seca da panícula ao longo das idades de corte, 59,27% aos 103 DAE e 67,82% aos 117 DAE o que

equivale a aumento de 14,42%, 14 dias após os 103 DAE. Embora o acréscimo entre os estádios tenha sido estatisticamente significativo.

No entanto, a comparação entre localidades só é estatisticamente válida aos 117 DAE, única idade em que houve diferença significativa entre os cultivos à 572 m e à 805 m de altitude. Nesse ponto, o cultivo a 572 m de altitude apresentou teor de 75,06%, superior ao observado a 805 m, que foi de 67,82%, resultando em uma diferença de 7,24 pontos percentuais entre as localidades.

A avaliação da composição bromatológica (tabela 6) foi realizada exclusivamente aos 110 dias após a emergência (DAE), com base nos resultados prévios de acúmulo de massa seca (t. ha^{-1}) e teor de matéria seca (MS%) obtidos nas diferentes idades de corte. Nessa data, a localidade de cultivo aos 572 m de altitude apresentou desempenho superior em termos de produção de massa seca (t. ha^{-1}), indicando um ponto de desenvolvimento fisiológico mais avançado e potencialmente mais representativo das características qualitativas da forragem, considerando o pico de produção observado.

Tabela 6 - Composição bromatológica dos diferentes componentes do sorgo em função das alturas de corte aos 110 dias após a emergência na altitude de cultivo aos 572 m de altitude; Fonte: Elaborado pelos autores.

Altura (cm)	Composição bromatológica											
	MM %				PB %				EE %			
	PI	C	F	P	PI	C	F	P	PI	C	F	P
70	6,03 a	7,85 a	8,96*	4,48*	8,03 a	3,79 NS	12,94	10,64	2,69 NS	1,74 a	3,31	5,83
45	5,88 b	3,89 b	0	-	7,95 ab	4,07 NS	0	-	2,68 NS	0,92 b	0	-
20	5,75 c	3,73 b	0	-	7,85 b	4,29 NS	0	-	2,67 NS	1,43 ab	0	-
Fator	ANOVA (*P* > F)											
	PI	C	F	P	PI	C	F	P	PI	C	F	P
Altura de corte	0,0005	0.0004	0,00	0,00	0,0292	0,5131	0,00	0,00	0,4491	0,0140	0,00	0,00
	CV (%)											
	1,10	20,67	0,00	0,00	1,02	16,30	0,00	0,00	0,64	24,52	0,00	0,00
	FB %				FDN %				FDA %			
	PI	C	F	P	PI	C	F	P	PI	C	F	P
70	30,97 NS	34,03 NS	33,06	25,32	52,90 b	61,34 NS	69,33	30,01	31,23 b	36,12 NS	37,18	15,82
45	31,27 NS	37,22 NS	0	-	53,25 a	58,75 NS	0	-	31,40 ab	37,11 NS	0	-
20	31,65 NS	36,64 NS	0	-	53,41 a	59,85 NS	0	-	31,50 a	38,58 NS	0	-
	ANOVA (*P* > F)											

	PI	C	F	P	PI	C	F	P	PI	C	F	P
	0,1264	0,3843	0,00	0,00	0,0017	0,1337	0,00	0,00	0,0063	0,0933	0,00	0,00
						CV (%)						
	1,47	10,16	0,00	0,00	0,27	3,00	0,00	0,00	0,31	4,13	0,00	0,00
	CEL %				LIG %				NDT %			
	PI	C	F	P	PI	C	F	P	PI	C	F	P
70	25,49 b	29,61 b	29,63	12,73	3,66 NS	4,21 NS	4,33	1,87	72,62 NS	56,39 NS	59,77	68,15
45	25,64 a	30,73 ab	0	-	3,70 NS	4,73 NS	0	-	72,01 NS	58,68 NS	0	-
20	25,72 a	32,33 a	0	-	3,73 NS	4,67 NS	0	-	71,58 NS	59,35 NS	0	-
						ANOVA ($P > F$)						
	PI	C	F	P	PI	C	F	P	PI	C	F	P
	0,0007	0,0402	0,00	0,00	0,0594	0,1151	0,00	0,00	0,8106	0,0550	0,00	0,00
						CV (%)						
	0,23	4,45	0,00	0,00	0,96	8,20	0,00	0,00	3,52	2,89	0,00	0,00

PI: planta inteira; C: colmo; F: folha; P: panícula.

NS: Não significativo

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem estatisticamente entre si (P<0,05) pelo teste de Tukey

* Os valores referentes às frações folha e panícula são apresentados apenas como médias gerais, sem análise estatística de comparação entre diferentes alturas de corte. Isso se deve ao fato de que essas estruturas (quando se tratando dos componentes, e não da planta inteira) estão presentes exclusivamente na porção superior da planta (acima de 70 cm), inexistindo nos segmentos inferiores. Assim, não foi aplicável o teste de comparação de médias (Tukey) para essas frações.

A ANOVA indicou efeitos significativos para a matéria mineral (MM%) na planta inteira e no colmo, e para a proteína bruta (PB%) apenas na planta inteira. O extrato etéreo (EE%) apresentou diferença significativa somente no colmo. A fibra bruta (FB%) não apresentou diferenças significativas entre as frações. Os teores de fibra em detergente neutro (FDN%) e ácido (FDA%) mostraram variações significativas na planta inteira, enquanto a celulose (CEL%) apresentou diferenças tanto na planta inteira quanto no colmo. A lignina (LIG%) e os nutrientes digestíveis totais (NDT%) não apresentaram efeitos significativos entre as frações avaliadas.

No que se refere ao teor de MM da planta inteira, plantas colhidas acima de 70 cm do solo apresentaram valores de 6,03 %. Com a inclusão progressiva da porção basal do colmo,

observou-se decréscimo no teor de MM, reduzindo-se em 2,48 pontos percentuais ao se adotar altura de corte de 45 cm, e em mais 2,21 pontos percentuais com a redução para 20 cm. No componente colmo isolado, o teor de matéria mineral no segmento de colmo de plantas colhidas > 70 cm foi de 7,85 %, apresentando redução média de 51,46 % quando comparados aos segmentos de colmo entre 20–45 cm (correspondente ao tratamento de plantas cortadas a 45 cm) e 45–70 cm (correspondente ao tratamento de plantas cortadas a 20 cm).

Em relação ao teor de proteína bruta (PB) da planta inteira, plantas colhidas acima de 70 cm do solo apresentaram valores de 8,03 %. A inclusão progressiva da porção basal do colmo resultou na redução no teor de PB, com decréscimo de 2,24 % em plantas colhidas a >20 cm do solo. Para o teor de extrato etéreo (EE), colmos de plantas colhidas a >70 cm do nível do solo apresentaram valor de 1,74 %, com redução de 47 % (0,92 % de EE) no segmento de colmo entre 45–70 cm. Observa-se que a panícula apresenta o maior teor de EE entre os componentes analisados, indicando maior acúmulo de compostos lipídicos nesta fração da planta.

Na análise da composição bromatológica, observando-se os componentes estruturais da planta inteira, verificou-se uma tendência de aumento nos teores de FDN, FDA e CEL à medida que se reduziu a altura de corte, plantas colhidas acima de 70 cm apresentaram valores médios de 52,90, 31,23 e 25,49% respectivamente, os quais se elevaram para 53,41, 31,50 e 25,72% nas plantas cortadas a partir de 20 cm de altura.

O conteúdo de celulose no colmo foi de 29,61% no terço superior da planta (>70 cm), com elevação de 9,18% no terço basal (20–45 cm), observado sob a condição de colheita a 20 cm de altura, evidenciando maior concentração de componentes estruturais nas porções mais próximas à base da planta.

6. DISCUSSÃO

A avaliação do desempenho agronômico e bromatológico do sorgo forrageiro AGRI-001E revelou uma complexa rede de interações entre altura de corte, idade fisiológica da planta e altitude, as quais modulam de forma interdependente tanto a produtividade quanto a qualidade da forragem. A análise integrada desses fatores é essencial para o estabelecimento de estratégias de manejo que maximizem a eficiência técnica e econômica da produção.

Do ponto de vista fisiológico, a maior produtividade de matéria seca (MS) observada nas plantas colhidas a 20 cm do solo está fortemente associada à maior incorporação do colmo basal, segmento caracterizado por elevada densidade, maior comprimento e acúmulo expressivo de carboidratos estruturais e não estruturais, como celulose, hemicelulose e amido

(TUFAIL et al. 2020; ALATÜRK, 2024; FAN et al. 2022). No entanto, embora esse padrão anatômico-morfológico favoreça o rendimento, ele compromete aspectos qualitativos importantes, dado que as frações basais do colmo apresentam maior lignificação, menor digestibilidade e redução significativa nos teores de proteína bruta e minerais (JIMOH et al. 2019; ADEKEYE, 2012; ZEWDU et al. 2002). Portanto, ao considerar unicamente a massa seca total como indicador de superioridade agronômica, incorre-se em um julgamento parcial, descolado dos critérios zootécnicos que envolvem digestibilidade, valor energético e eficiência de conversão.

A superioridade do corte a 70 cm, por sua vez, reflete-se não apenas em melhores teores de proteína bruta e menor concentração de FDN, FDA e lignina, mas também em maior proporção de tecidos metabolicamente ativos, como as folhas superiores e panícula (VANHEVEL et al. 2024; KEBRON et al. 2017; MCKINLEY et al. 2018; YANG et al. 2023). A porção apical da planta concentra estruturas jovens, menos lignificadas, com maior densidade de cloroplastos e, consequentemente, maior concentração de nitrogênio (JIMOH et al. 2019), o que resulta em melhores índices de digestibilidade e valor nutricional. Portanto, embora a colheita a 70 cm resulte em menor rendimento de MS total, ela otimiza a composição bromatológica da forragem, aspecto decisivo em sistemas intensivos de produção animal.

O dilema clássico entre quantidade e qualidade se agrava com o avanço da idade da planta. O acúmulo de MS ao longo do ciclo é inegável e está associado tanto à translocação de fotoassimilados para estruturas reprodutivas quanto à desidratação fisiológica característica da senescência (LÓPEZ-SANDIN et al. 2020; TERLER et al. 2021; SRIAGTULA et al. 2021). No entanto, tal incremento ocorre em paralelo a uma intensificação dos processos de lignificação e redistribuição de nutrientes — especialmente nas folhas e colmos — o que reduz significativamente o valor nutricional da forragem, conforme observado também em outras gramíneas forrageiras (CAMPOS et al. 2010; GREV et al. 2020; HUAN et al. 2020; HERNÁNDEZ ÁLVAREZ et al. 2023).

No caso da panícula, a maturação dos grãos eleva expressivamente o teor de MS, alcançando seu pico aos 117 DAE (75,06 % a 572 m e 67,82 % a 805 m), refletindo não apenas o enchimento de grãos, mas também seu papel como compartimento principal de acúmulo de proteína bruta (TERLER et al. 2021; KHALILIAN et al. 2022). Essa informação sugere que, em condições em que o objetivo seja a colheita de forragem com elevado teor energético e proteico, a maximização da panícula deve ser considerada no momento de decisão do corte.

A interação entre idade fisiológica e altitude foi particularmente marcante. Em altitudes mais elevadas (805 m), a produtividade decresceu com o avanço da idade, indicando um encurtamento do período fisiologicamente útil da planta para colheita (ESCOBAR CHARRY et al. 2020). Isso está de acordo com KOUKOLOVA et al. (2009), que observaram que o pico de acúmulo de biomassa ocorre mais precocemente em regiões de altitude elevada, tornando colheitas tardias menos vantajosas. O ambiente de 805 m, situado na Cuesta de Botucatu, apresenta particularidades orográficas que influenciam o microclima local, possivelmente gerando menor precipitação e umidade do solo, bem como variações térmicas mais acentuadas (DUCATTI, 2002; CARVALHO, 2016; COHEN, 2014). Tais condições interferem na velocidade de senescência, na translocação de nutrientes e na eficiência fotossintética, comprometendo tanto o volume quanto a qualidade da forragem colhida em estágios mais avançados. Além disso, observou-se que, independentemente da idade fisiológica, a altura média das plantas foi superior na menor altitude (572 m), com 1,83 m, em comparação à altitude de 805 m, onde a média foi de 1,73 m. Essa diferença, estatisticamente significativa, reforça o impacto da altitude sobre o crescimento vegetativo do sorgo AGRI-001E, possivelmente em função de condições microclimáticas mais favoráveis ao acúmulo de biomassa em altitudes mais baixas.

Já aos 572 m, as condições microclimáticas, com maior umidade do solo e temperatura média mais amena (DUCATTI, 2002), favorecem um maior período de estabilidade fisiológica da planta. Isso foi evidenciado pela manutenção dos índices produtivos entre os 103, 110 e 117 DAE, permitindo uma maior janela de colheita sem prejuízo significativo da qualidade, conferindo maior flexibilidade ao manejo.

As interações entre os fatores estudados revelam que não há um único “melhor tratamento”, mas sim um conjunto de decisões otimizadas em função do objetivo zootécnico, da altitude do cultivo e da janela de corte disponível. A colheita a 20 cm do solo pode ser recomendada em sistemas onde o foco está na maximização da matéria seca total, especialmente em altitudes mais baixas e em estágios intermediários do ciclo. Por outro lado, cortes a 70 cm, em estágios entre 103 e 110 DAE, em locais com altitudes mais elevadas, tendem a favorecer a colheita de forragem de maior qualidade bromatológica, mais digestível, proteica e menos lignificada.

A relevância dessa abordagem multifatorial se evidencia nas frações fibrosas e nos minerais. O aumento de FDN, FDA e celulose com a redução da altura de corte é bem documentado (CHAND et al. 2022; SERAFIM et al. 2024) e reflete a maior proporção de tecidos de suporte mecânico e transporte de água, menos digestíveis e com menor valor energético. Da mesma forma, os teores de minerais totais (MM) reduzem-se com cortes mais baixos, devido à exclusão

das folhas superiores, mais ricas em cinzas (ADEKEYE, 2012; ZEWDU et al. 2002). Essas alterações comprometem não só o valor nutricional direto da forragem, mas também seu potencial de fermentação e estabilidade na ensilagem.

Portanto, a escolha do momento e da altura de corte deve ser baseada em uma análise crítica da interação entre os objetivos produtivos, a fisiologia da planta, o estádio de desenvolvimento, e os condicionantes ambientais locais, sobretudo altitude e microclima. Estratégias de colheita que desconsiderem essas interações resultam em perda de potencial produtivo, ineficiência econômica e degradação do valor nutricional da forragem.

7. CONCLUSÃO

A colheita do sorgo forrageiro AGRI 001E deve ser realizada no estádio de grão pastoso, observado no terço inferior da panícula, na altura de 20cm em relação ao nível do solo para maximizar a produtividade de massa seca e a 70cm para otimizar a qualidade nutricional, independente da altitude de cultivo.

8. REFERÊNCIAS

ADEKEYE, Adetayo Bamikole. **Biomass yield and nutritive quality of two grasses in the natural pastures as affected by cutting height and interval in abeokuta**. 2012. Tese de Doutorado. Department of Pasture and Range Management, College of Animal Science and Livestock Production, Federal University of Agriculture, Abeokuta. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/325465309.

Agricomseeds (2018). AGRI 001E, Características Agronômicas. Disponível em: https://connectamericas.com/sites/default/files/company_files/FOLDER%20AGRICOM%202018%20-%20A001E%202.pdf. Acesso em: 17/06/2025.

ALATÜRK, Fırat. Effects of harvest height and time on hay yield and quality of some sweet sorghum and sorghum Sudangrass hybrid varieties. **PeerJ**, v. 12, p. e17274, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.7717/peerj.17274.

AL-DAWOODI, Mohammed N.; AL-BEIRUTY, Rzan ZA. The Effect of Sulfur and Cutting Height on the Growth Characteristics of Sorghum Crop (Buhooth 70). In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2023. p. 052020. Disponível em: https://doi.org/10.1088/1755-1315/1262/5/052020.

ATIM, Jackie et al. Optimizing Sorghum for California: A Multi-Location Evaluation of Biomass Yield, Feed Quality, and Biofuel Feedstock Potential. **Agronomy**, v. 14, n. 12, p. 2866, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/agronomy14122866.

Atiş, İ., Konuşkan, Ö., Duru, M., Gözübenli, H., & Yilmaz, Ş. (2012). ATIS, Ibrahim et al. Effect of harvesting time on yield, composition and forage quality of some forage sorghum cultivars. **International Journal Of Agriculture & Biology**, v. 14, n. 6, p. 879–886, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Ibrahim-Atis/publication/234078804_Effect_of_Harvesting_Time_on_Yield_Composition_and_Forage_Quality_of_Some_Forage_Sorghum_Cultivars/links/09e4150ee92927bdf0000000/Effect-of-Harvesting-Time-on-Yield-Composition-and-Forage-Quality-of-Some-Forage-Sorghum-Cultivars.pdf.

AOAC, A. Official method 991.14 for coliform and Escherichia coli counts in foods. **Official methods of analysis**, v. 14, 1995.

BABU, A. Rc; READY, P. R. Rate of dry matter production in different plant parts at various stages of growth in sorghum. 1971. Disponível em: http://eprints.icrisat.ac.in/5511/.

BORRELL, A. et al. Physiology of growth, development and yield. **Sorghum in the 21st century: food–fodder–feed–fuel for a rapidly changing world**, p. 127-155, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-15-8249-3_6.

BUENO, Álvaro. Acúmulo de matéria seca em sorgo granífero. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 16, n. 5, p. 709-718, 1981. Disponível em: https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/17066.

CAMPOS, Patrícia Regina de Souza Siqueira et al. Fractions of carbohydrates and of nitrogenous compounds of tropical grasses at different cutting ages. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 1538-1547, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000700021.

CARDOSO, F. F. et al. Effects of cut height and inoculant application on yield, nutrient composition, fermentative profile, and in vitro degradability of brown midrib whole-plant corn silage. **Applied Animal Science**, v. 39, n. 3, p. 117-124, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.15232/aas.2022-02365.

CARVALHO, Tânia Maria de. *Modelagem digital de atributos de solo da Fazenda Edgárdia - Botucatu-SP* [Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP]. Repositório UNESP, 2016. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstreams/fe194d9d-f0b6-402c-b7ca-64af26d657e5/download

CHAND, Subhash et al. Agronomical and breeding approaches to improve the nutritional status of forage crops for better livestock productivity. **Grass and Forage Science**, v. 77, n. 1, p. 11-32, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1111/gfs.12557.

COHEN, Gabriel Jorgewich. *Restauração de habitat e conservação da herpetofauna em um fragmento de mata do sudeste brasileiro* [Trabalho de conclusão de curso, Universidade Estadual Paulista – UNESP]. Repositório UNESP, 2014. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstreams/f91d091f-ffc3-49c4-be5f-5e0cdfeff7a8/download.

COMASSETO, Danielli dos Santos et al. Effects of cutting height managements on yield and composition of different annual pastures. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 21, p. e2121282020, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1519-99402121282020.

DA CUNHA, Antonio Ribeiro; MARTINS, Dinival. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009. Disponível em: https://doi.org/10.15809/irriga.2009v14n1p1-11.

DUCATTI, Fabiane. Fauna edáfica em fragmentos florestais e em áreas reflorestadas com espécies da mata atlântica. **ESALQ/USP: Piracicaba**, p. 70, 2002. Disponível em: https://pdfs.semanticscholar.org/0787/296383949111680814eccc1d1d1c26f0cbfc.pdf.

ESCOBAR CHARRY, Miguel Alejandro; CÁRDENAS ROCHA, Edgar Alberto; CARULLA FORNAGUERA, Juan Evangelista. Effect of altitude and defoliation frequency in the quality and growth of Kikuyu grass (Cenchrus clandestinus). **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v. 73, n. 1, p. 9121-9130, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.15446/rfnam.v73n1.77330.

FAN, Hongzeng et al. High-throughput phenotyping of cross-sectional morphology to assess stalk mechanical properties in sorghum. **Agriculture**, v. 12, n. 10, p. 1696, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/agriculture12101696.

FARIASZEWSKA, A. et al. Physiological and biochemical responses of forage grass varieties to mild drought stress under field conditions. **International Journal of Plant Production**, v. 14, n. 2, p. 335-353, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s42106-020-00088-3.

FERREIRA, Pedro Dias Sales et al. Nutritional value of sorghum-sudangrass hybrids (Sorghum bicolor× Sorghum sudanense) harvested at different stages of maturity. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 377-390, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n1p377.

FORD, C. W.; MORRISON, I. M.; WILSON, J. R. Temperature effects on lignin, hemicellulose and cellulose in tropical and temperate grasses. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 30, n. 4, p. 621-633, 1979. Disponível em: https://doi.org/10.1071/AR9790621.

FRANCO, José Rafael et al. Atualização da normal climatológica e classificação climática de Köppen para o município de Botucatu-SP. **Irriga**, v. 28, n. 1, p. 77-92, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.15809/irriga.2023v28n1p77-92.

FRANTOVÁ, Nicole et al. Monitoring drought tolerance mechanisms of sorghum and maize under unevenly distributed precipitation. **International Journal of Plant Production**, v. 18, n. 1, p. 49-67, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s42106-023-00278-9.

GREV, Amanda M. et al. Stem and leaf forage nutritive value and morphology of reduced lignin alfalfa. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 1, p. 406-417, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1002/agj2.20011.

HERNÁNDEZ ÁLVAREZ, U. M.; LÓPEZ COLOMBA, E.; BOLLATI, G. P.; CARLONI, E. J.; REUTEMANN, A. G.; GRUNBERG, K. A. Effects of leaf and stem maturation on nutritional value in *Megathyrsus maximus*. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 104, n. 5, p. 2937–2946, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1002/jsfa.13186.

HUANG, Y. A. N. G.; GU, X. T.; DING, M. Q.; LU, W. P.; LU, D. L. Weakened carbon and nitrogen metabolisms under post-silking heat stress reduce the yield and dry matter accumulation in waxy maize. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 19, n. 1, p. 78–88, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62622-5.

IHEDIWA, V. E.; AKPAN, G. E.; AKUWUEKE, L.; ORIAKU, L.; NDUBUISI, C. O.; MBANASOR, J.; NDUKWU, M. C. Thermal dehydration of some forage grasses for livestock feeding: Effect of different methods on moisture diffusivity and the quality of dried leaves. **Energy Nexus**, v. 8, p. 100156, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100156.

JAVANMARD, A.; MACHIANI, M. A.; LITHOURGIDIS, A.; MORSHEDLOO, M. R.; OSTADI, A. Intercropping of maize with legumes: A cleaner strategy for improving the quantity and quality of forage. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 1, p. 100003, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.clet.2020.100003.

JIMOH, S. O.; AMISU, A. A.; DELE, P. A.; OJO, V. O. A.; ADEYEMI, T. A. Efeitos dos dejetos animais e da altura de corte na composição química de duas variedades de *Panicum maximum* (Local e Ntchisi) colhidas em diferentes fases. **Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science,** v. 42, n. 1, p. 395–408, 2019. Disponível em:

http://www.pertanika2.upm.edu.my/resources/files/Pertanika%20PAPERS/JTAS%20Vol.%2042%20(1)%20Feb.%202019/25%20JTAS-1405-2018.pdf.

JURGENS, S. K.; JOHNSON, R. R.; BOYER, J. S. Dry matter production and translocation in maize subjected to drought during grain fill. **Agronomy Journal**, v. 70, n. 4, p. 678–682, 1978. Disponível em: https://doi.org/10.2134/agronj1978.00021962007000040036x.

KANG, X.; GAO, W.; CHENG, Y.; YU, B.; CUI, B.; EL-ATY, A. Investigating structural and property modifications in starch from waxy, stick, and H37 sorghum varieties: Advancing starch structure understanding and applications. **Industrial Crops and Products**, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117239.

KEBROM, T. H.; MCKINLEY, B.; MULLET, J. E. Dynamics of gene expression during development and expansion of vegetative stem internodes of bioenergy sorghum. **Biotechnology for Biofuels**, v. 10, p. 1–16, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s13068-017-0848-3.

KHALILIAN, M. E.; HABIBI, D.; GOLZARDI, F.; AGHAYARI, F.; KHAZAEI, A. Effect of maturity stage on yield, morphological characteristics, and feed value of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] cultivars. **Cereal Research Communications**, v. 50, n. 4, p. 1095–1104, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s42976-022-00244-7.

KIM, H. J.; LI, Y. F.; JEONG, E. C.; AHMADI, F.; KIM, J. G. Effect of cutting height on productivity and forage quality of alfalfa in alpine area of Korea. **Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science**, v. 41, n. 3, p. 147–154, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.5333/KGFS.2021.41.3.147.

KOLAR, S.; VRANIĆ, M.; BOŽIĆ, L.; BOŠNJAK, K. The effect of maize crop cutting height and the maturity at harvest on maize silage chemical composition and fermentation quality in silo. **Journal of Central European Agriculture**, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.5513/jcea01/23.2.3504.

KUKOLOVA, V.; WEISBJERG, M. R.; HOMOLKA, P.; KOBES, M. The effects of altitude and harvest time on the feed value of extensive mountain pastures. **Journal of Agrobiology**, v. 26, n. 2, p. 101–112, 2009. Disponível em: http://www.zf.jcu.cz/obecne/veda-a-vyzkum/journal-of-agrobiology.

LARANJA, L. S.; CARVALHO, T.; GIMENEZ, J. I.; PROENÇA, B. C.; JUNIOR, S. F.; DIAN, P. Teores de matéria seca e proteína bruta do *Pennisetum purpureum* Schum cv. BRS Capiaçu em função da idade de corte. **Ars Veterinaria**, v. 38, n. 4, p. 149–152, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.15361/2175-0106.2022v38n4p149-152.

LEE, K. W.; LOMMASSON, R. C.; EASTIN, J. D. Developmental studies on the panicle initiation in sorghum. **Crop Science**, v. 14, n. 1, p. 80–84, 1974. Disponível em: https://doi.org/10.2135/cropsci1974.0011183X001400010024x.

LÓPEZ-SANDIN, I.; GUTIÉRREZ-SOTO, G.; GUTIÉRREZ-DÍEZ, A.; MEDINA-HERRERA, N.; GUTIÉRREZ-CASTORENA, E.; GALICIA-JUÁREZ, M.; ZAVALA-GARCÍA, F. Biomass and sugar production dynamics in sweet sorghum variety Roger. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 81, n. 1, p. 92–101, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.4067/S0718-58392021000100092.

MARKOVIĆ, J.; RACIĆ, N.; BEKČIĆ, F.; LAZAREVIĆ, Đ.; VASIĆ, T.; ŽIVKOVIĆ, S.; CEKIĆ, B. Lignification as the major limiting red clover DM and NDF digestibility. In: **Proceedings of the 2nd International Symposium on Biotechnology**. Čačak: University of Kragujevac, Serbia Faculty of Agronomy, 2024. p. 75–80. Disponível em: https://doi.org/10.46793/SBT29.09JM.

MARTINIELLO, P.; TEIXEIRA DA SILVA, J. A. Physiological and bioagronomical aspects involved in growth and yield components of cultivated forage species in Mediterranean environments: a review. **The European Journal of Plant Science and Biotechnology**, v. 5, n. 2, p. 64–98, 2011.

MASTALERCZUK, G.; BORAWSKA-JARMUŁOWICZ, B. Physiological and morphometric response of forage grass species and their biomass distribution depending on the term and frequency of water deficiency. **Agronomy**, v. 11, n. 12, p. 2471, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/agronomy11122471.

MCKINLEY, B. A.; OLSON, S. N.; RITTER, K. B.; HERB, D. W.; KARLEN, S. D.; LU, F.; RALPH, J.; ROONEY, W. L.; MULLET, J. E. Variation in energy sorghum hybrid TX08001 biomass composition and lignin chemistry during development under irrigated and non-irrigated field conditions. **PLoS ONE**, v. 13, n. 4, p. e0195863, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195863.

MCKINLEY, B.; CASTO, A.; ROONEY, W.; MULLET, J. Developmental dynamics of stem starch accumulation in *Sorghum bicolor*. **Plant Direct**, v. 2, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1002/pld3.74.

MENDOZA-GRIMÓN, V.; AMORÓS, R.; FERNÁNDEZ-VERA, J. R.; HERNÁDEZ-MORENO, J. M.; PALACIOS-DÍAZ, M. D. P. Effect of different water quality on the nutritive value and chemical composition of *Sorghum bicolor* Payenne in Cape Verde. **Agronomy**, v. 11, n. 6, p. 1091, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11061091.

MERINO, V. M.; AGUILAR, R. I.; RIVERO, M. J.; ORDÓÑEZ, I. P.; PIÑA, L. F.; LÓPEZ-BELCHÍ, M. D.; SCHOEBITZ, M. I.; NORIEGA, F. A.; PÉREZ, C. I.; COOKE, A. S.; GUEDES, L. M. Distribution of non-structural carbohydrates and root structure of *Plantago lanceolata* L. under different defoliation frequencies and intensities. **Plants**, v. 13, n. 19, p. 2773, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/plants13192773.

MILKE, L. M.; CAMPANA, M.; ANTÔNIO, G.; DE MORAIS, J. P. G.; DE CASTRO ZILIO, E. M.; DOS SANTOS, J. A. A.; DEL VALLE, T. A. Nutritional evaluation of millet at different seeding rates and cutting heights. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 55, n. 1, p. 1–8, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.bjvras.2018.127585.

NEUMANN, M.; GHIZZI, L.; JUNIOR, J. C. H.; CARNEIRO, M. K.; REINEHR, L. L.; SPADA, C. A.; MACIEL, G. S. Produção de forragem de milho em diferentes densidades de semeadura e épocas de colheita. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 2, p. 204–216, 2017. Disponível em: http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v16n2p204-216.

OJO, V. O.; DELE, P. A.; YUSUFF, R. B.; OLANITE, J. A.; JOLAOSHO, A. O.; ARIGBEDE, O. M. Biomass yield and nutritive quality of four varieties of *Pennisetum purpureum* as influenced by three cutting intervals in the humid zone of Nigeria. **Nigerian Journal of Animal Production**, v. 41, n. 2, p. 174–181, 2014.

ONYEONAGU, C. C.; ASIEGBU, J. E. Harvest frequency effect on plant height, grass tiller production, plant cover and percentage dry matter production of some forage grasses and legumes in the derived savannah, Nigeria. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 7, p. 608–618, 2013. Disponível em: https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text-pdf/AEDCAF335099.

PASTERIS, A. M.; ZAPKA, O.; PLOGSTIES, V.; HERRMANN, C.; HEIERMANN, M. Effects of sorghum biomass quality on ensilability and methane yield. **GCB Bioenergy**, v. 13, n. 5, p. 803–822, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1111/gcbb.12814.

PERRIER, L.; ROUAN, L.; JAFFUEL, S.; CLÉMENT-VIDAL, A.; ROQUES, S.; SOUTIRAS, A.; BAPTISTE, C.; BASTIANELLI, D.; FABRE, D.; DUBOIS, C.; POT, D.; LUQUET, D. Plasticity of sorghum stem biomass accumulation in response to water deficit: a multiscale analysis from internode tissue to plant level. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1516, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01516.

PINHO, R. G. V.; VASCONCELOS, R. C. de; BORGES, I.; REZENDE, A. V. de. Influência da altura de corte das plantas nas características agronômicas e valor nutritivo das silagens de

milho e de diferentes tipos de sorgo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 5, n. 02, 2006. Disponível em: https://doi.org/10.18512/1980-6477/RBMS.V5N02P%P.

PUTERI, R. E.; KARTI, P. D. M. H.; ABDULLAH, L. Productivity and nutrient quality of some sorghum mutant lines at different cutting ages. **Media Peternakan**, v. 38, n. 2, p. 132–137, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.5398/MEDPET.2015.38.2.132.

RIVAI, R.; YAMAZAKI, K.; KOBAYASHI, M.; TOBIMATSU, Y.; TOKUNAGA, T.; TORU, F.; UMEZAWA, T. Altered lignin accumulation in sorghum mutated in silicon uptake transporter SbLsi1. **Plant & Cell Physiology**, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1093/pcp/pcae114.

SALAZAR, J. A. E. Producción de biomasa y calidad nutricional de tres forrajes cosechados a dos alturas. **Agronomía Mesoamericana**, p. 329–340, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.23418.

SERAFIM, C. C.; de CASTRO, F. A. B.; MIZUBUTI, I. Y.; PÉRTILE, S. F. N.; BARRETO, J. V. P.; da SILVA, J. B.; de OLIVEIRA, C. H.; ZUNDT, M.; REGO, F. C. A. Horário de corte do capim Tifton 85 altera a composição nutricional do feno produzido? **Scientia Plena**, v. 20, n. 5, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.14808/sci.plena.2024.058101.

SRIAGTULA, R.; KARTI, P. D. M. H.; ABDULLAH, L.; ASTUTI, D. A. Nutrients, fiber fraction, and in vitro fiber digestibility of brown-midrib sorghum mutant lines affected by the maturity stages. **Tropical Animal Science Journal**, v. 44, n. 3, p. 297–306, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.5398/tasj.2021.44.3.297.

TERLER, G.; RESCH, R.; GAPPMAIER, S.; GRUBER, L. Nutritive value for ruminants of different fresh and ensiled sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) varieties harvested at varying maturity stages. **Archives of Animal Nutrition**, v. 75, n. 3, p. 167–182, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1080/1745039X.2021.1924016.

TESSEMA, Z. K.; MIHRET, J.; SOLOMON, M. Efeito da frequência de desfolha e da altura de corte no crescimento, na produção de matéria seca e no valor nutritivo do capim-Napier (*Pennisetum purpureum* (L.) Schumach). **Grass and Forage Science**, v. 65, n. 4, p. 421–430, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2010.00761.x.

TUFAIL, M. S.; KREBS, G. L.; SOUTHWELL, A.; PILTZ, J. W.; NORTON, M. R.; WYNN, P. C. Enhancing performance of berseem clover genotypes with better harvesting management through farmers' participatory research at smallholder farms in Punjab. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 3545, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41598-020-60503-7.

VAN BEL, A. J. The plant axis as the command centre for (re)distribution of sucrose and amino acids. **Journal of Plant Physiology**, v. 265, p. 153488, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153488.

VANHEVEL, Y.; DE MOOR, A.; MUYLLE, H.; VANHOLME, R.; BOERJAN, W. Breeding for improved digestibility and processing of lignocellulosic biomass in *Zea mays*. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p. 1419796, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1419796.

WEISS, W. P. Predicting energy values of feeds. **Journal of Dairy Science**, v. 76, n. 6, p. 1802–1811, 1993. Disponível em: https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77512-8.

YANG, L.; ZHOU, Q.; SHENG, X.; CHEN, X.; HUA, Y.; LIN, S.; LUO, Q.; YU, B.; SHAO, T.; WU, Y.; CHANG, J.; LI, Y.; TU, M. Harnessing the genetic basis of sorghum biomass-related traits to facilitate bioenergy applications. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 19, p. 14549, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijms241914549.

ZEWDU, T.; BAARS, R. M. T.; YAMI, A. Efeito da altura da planta no momento do corte, da fonte e do nível de fertilizante na produtividade e na qualidade nutricional do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* (L.) Schumach). **African Journal of Range & Forage Science**, v. 19, n. 2, p. 123–128, 2002. Disponível em: https://doi.org/10.2989/10220110209485783.

IMPLICAÇÕES

A condução deste estudo envolveu desafios significativos que refletem a complexidade da pesquisa em campo, especialmente em condições naturais e não controladas. Dentre as principais dificuldades enfrentadas, destaca-se o fator climático como um dos mais impactantes. Calor intenso e à falta de precipitação regular, interferiram diretamente no desenvolvimento das plantas de sorgo. Essa variação climática pode ter comprometido a expressão total do potencial produtivo da cultura, influenciando a biomassa acumulada, o teor de matéria seca e a composição bromatológica em determinados estágios.

Além dos fatores ambientais, houve também problemas técnicos com o maquinário agrícola, especificamente com a indisponibilidade de discos adequados para o tipo de material utilizado na semeadura. Esse entrave resultou em atrasos no cronograma de plantio, o que pode ter contribuído para variações nos dados coletados. Também houve uma limitação relacionada aos insumos agrícolas, em especial à entrega de adubos. O atraso e a entrega de um produto com qualidade inferior comprometeram o cronograma.

Durante as fases finais do ciclo, registrou-se ainda ataques de aves que prejudicaram parte do material em colheita, reduzindo a qualidade da panícula. Por outro lado, a logística geral do experimento foi bem estruturada, com execução tranquila nas duas altitudes de cultivo (572 e 805 m), e o suporte de mão de obra foi adequado. As análises bromatológicas e estatísticas foram realizadas com sucesso, sem intercorrências.

Apesar desses desafios, os benefícios proporcionados pelo estudo são significativos para a área de produção animal e manejo de forragens. Primeiramente, os resultados contribuem diretamente para o aprimoramento das práticas de manejo do sorgo forrageiro, oferecendo informações concretas sobre o impacto da altura de corte e do momento de colheita na produtividade e composição nutricional da planta. Em segundo lugar, reforça-se a viabilidade do sorgo como alternativa forrageira em regiões tropicais e semiáridas, especialmente como substituto ao milho, por melhor desempenho sob condições adversas. Por fim, os achados deste trabalho podem embasar políticas públicas e ações de extensão rural voltadas para pequenos e médios produtores, promovendo a adoção de culturas mais resilientes e de baixo custo.

Com base nos resultados obtidos e nas observações de campo, este estudo também abre perspectivas promissoras para futuras pesquisas, como:

- A avaliação de novos cultivares e híbridos de sorgo, com maior tolerância à seca e a pragas, como as aves;
- Ensaios comparativos com diferentes fontes e níveis de adubação, visando compreender o efeito sobre o acúmulo de matéria seca e a composição da forragem;

- Estudos em que o sorgo seja comparado diretamente a outras culturas forrageiras, como milho, milheto e capim-elefante, sob as mesmas condições de cultivo;
- A aplicação de tecnologias emergentes, como sensoriamento remoto, imagens por drone e modelagem climática, para prever o comportamento da cultura e otimizar o manejo em campo.

Em síntese, esta pesquisa contribui para o avanço técnico e científico do uso do sorgo como planta forrageira e reforça a importância de estratégias adaptadas às condições reais do campo, considerando os desafios ambientais e operacionais enfrentados no contexto brasileiro.