

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Ciências Agrárias
Programa de pós graduação em Produção Animal

Joyce Karoanne Silva Cardoso Caldeira

**Produção e composição química de grãos de sorgo submetidos a
diferentes ambientes**

Montes Claros

2025

Joyce Karoanne Silva Cardoso Caldeira

Produção e composição química de grãos de sorgo submetidos a diferentes ambientes

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Produção Animal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Produção Animal.

Orientador:

Prof. Dr. Carlos Juliano Brant
Albuquerque

Montes Claros

2025

C146p
2025

Caldeira, Joyce Karoanne Silva Cardoso.

Produção e composição química dos grãos de sorgo submetidos a diferentes ambientes [manuscrito] / Joyce Karoanne Silva Cardoso Caldeira. Montes Claros, 2025. 47 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Área de concentração em Produção Animal. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador(a): Carlos Juliano Brant Albuquerque.

Banca examinadora: Mário Henrique França Mourthé, Sandra Eulália Santos Faria, Carlos Juliano Brant Albuquerque.

Inclui referências: f. 44-47.

1. Sorgo - Resistência a doenças e pragas - Aspectos genéticos - Teses. 2. Cereais - Teses. 3. Sorgo - Experiência de campo - Teses. I. Albuquerque, Carlos Juliano Brant. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 633.17



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ICA - INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO/TESE

Aos 20 dias do mês de dezembro de 2024 às 14:00 horas, sob a Presidência do Professor Carlos Juliano Brant Albuquerque, D. Sc. (Orientador – UFMG) e com a participação dos Professores Mário Henrique França Mourthé, D. Sc. (UFMG) e Sandra Eulália Santos Faria, D. Sc. (UFMG), reuniu-se, por videoconferência, a Banca de defesa de dissertação de **Joyce Karoanne Silva Cardoso Caldeira**, aluna do Curso de Mestrado em Produção Animal. O resultado da defesa de dissertação intitulada “ **PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS GRÃOS DE SORGO SUBMETIDOS A DIFERENTES AMBIENTES**”, sendo a aluna considerada **APROVADA**. E, para constar, eu, Professor Carlos Juliano Brant Albuquerque, Presidente da Banca, lavrei a presente Ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da Banca examinadora. OBS.: A aluna somente receberá o título após cumprir as exigências do ARTIGO 53 do regulamento e da resolução 05/2016 do Curso de Mestrado em Produção Animal.

Montes Claros, 20 de dezembro de 2024.

Santos Faria

Mário Henrique França Mourthé

Sandra Eulália

Membro

Membro

Carlos Juliano Brant Albuquerque
Orientador



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Juliano Brant Albuquerque, Professor do Magistério Superior**, em 20/12/2024, às 17:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Mario Henrique Franca Mourthe, Professor do Magistério Superior**, em 20/12/2024, às 18:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sandra Eulalia Santos Faria, Usuária Externa**, em 20/12/2024, às 18:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3844832** e o código CRC **74A2001E**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, por me sustentar durante todo esse árduo processo.

Agradeço ao meu esposo Claudinei detentor de toda paciência e amor, e a minha amada filha Hadassa.

Agradeço as minha mães Ana Maria e Juscileia que sempre torcem pelo meu sucesso.

Agradeço ao meu pai Mário que iniciou comigo essa jornada, me ajudou o quanto pôde, mas não a viu terminar.

A meu pai Elson que me escolheu.

Agradecimento em especial a minha amiga Karla Sabrina, pelo apoio, parceria e aprendizado, meu muito obrigado as minhas companheiras Ludmilla Moura e Luianny Viana.

Agradeço ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais pelo acolhimento.

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Produção Animal, e à CAPES, pela oportunidade e apoio financeiro.

Agradeço a FAPEMIG pelo fornecimento dos materiais que foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa que possibilitou a realização deste trabalho.

Agradeço ao NEPROTEC, Núcleo de estudos em Produção e Tecnologia de Cereais e a todos os seus membros, colegas que ajudaram na condução desse trabalho, por todos esses anos, encontros, aprendizados e companheirismo.

Agradeço ao meu orientador Carlos Juliano Brant Albuquerque, por todo apoio, ensinamentos e oportunidades tendo contribuído diretamente ao meu desenvolvimento, formação como profissional e pessoa.

Aos Técnicos dos laboratórios e professores, que foram fundamentais na minha formação profissional e pessoal.

RESUMO GERAL

O estudo da produção e composição química dos grãos de sorgo considera características agronômicas como resistência a doenças e tolerância a estresses. Essa abordagem busca aumentar a produtividade e otimizar a qualidade nutricional dos grãos, ampliando seu uso na alimentação humana e animal. Este estudo teve como objetivo avaliar 23 genótipos experimentais e seis comerciais de sorgo em dois ambientes: irrigado e sequeiro. O experimento foi realizado em área experimental no Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, em Montes Claros – MG. O delineamento adotado foi em blocos casualizados, com três repetições, totalizando 87 parcelas. Foram analisados o florescimento, a altura das plantas, a produtividade de grãos e o peso de mil grãos. Também foram avaliadas a resistência à antracnose e ao pulgão, além da composição química dos grãos, incluindo proteína bruta, lipídeos, carboidratos, cinzas e taninos. Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de médias Scott-Knott (5%). As médias foram submetidas à análise de correlação de Pearson. Os genótipos tardios floresceram entre 80 e 85 dias, enquanto os precoces entre 64 e 69 dias. A produtividade foi maior no ambiente irrigado (4,06 t/ha). A antracnose foi mais severa sem estresse hídrico, com 331 e 17B mais resistentes. Os genótipos 234 e 16B tiveram menor infestação de pulgões, mas 16B mostrou maior suscetibilidade ao dano. A proteína bruta variou de 10,25 a 12,37%, indicando o potencial do sorgo na alimentação animal. Houve correlação negativa entre proteína e carboidratos (-0,82**), indicando que genótipos mais proteicos acumulam menos energia. O teor de taninos foi maior em alguns genótipos sem estresse hídrico, e sua correlação positiva com a altura das plantas (0,63**) sugere defesa na defesa contra pragas, o que pode afetar a digestibilidade. Os genótipos mais promissores em ambiente sem estresse hídrico foram VOLUMAX, K200 e 234/17A, devido à alta produtividade, bom peso de mil grãos e composição química equilibrada. Já no ambiente sequeiro, destacaram-se os genótipos precoces, como 234/21A e 270XX/35A. Esses achados sugerem que é possível selecionar genótipos de sorgo que combinem características agronômicas favoráveis e composição nutricional superior, particularmente em condições de estresse hídrico.

Palavras-chave: Produtividade, proteína bruta, restrição hídrica, rendimento de grãos, *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

ABSTRACT

The study of sorghum grain production and chemical composition considers agronomic traits such as disease resistance and stress tolerance. This approach aims to increase productivity and optimize the nutritional quality of the grains, expanding their use in human and animal feed. The objective of this study was to evaluate 23 experimental genotypes and six commercial ones in two environments: irrigated and rainfed. The experiment was conducted at the Experimental Area of the Institute of Agricultural Sciences at UFMG, in Montes Claros – MG. The design used was a randomized block with three repetitions, totaling 87 plots. The flowering, plant height, grain yield, and thousand-grain weight were analyzed. Resistance to anthracnose and aphids was also evaluated, as well as the chemical composition of the grains, including crude protein, lipids, carbohydrates, ash, and tannins. The data were subjected to analysis of variance and the Scott-Knott mean test (5%). The means were submitted to Pearson's correlation analysis. The late genotypes flowered between 80 and 85 days, while the early ones flowered between 64 and 69 days. Yield was higher in the irrigated environment (4.06 t/ha). Anthracnose was more severe without water stress, with 331 and 17B being more resistant. The genotypes 234 and 16B had lower aphid infestation, but 16B showed greater susceptibility to damage. Crude protein varied from 10.25 to 12.37%, indicating the potential of sorghum for animal feed. There was a negative correlation between protein and carbohydrates (-0.82**), suggesting that more protein-rich genotypes accumulate less energy. Tannin levels were higher in some genotypes without water stress, and their positive correlation with plant height (0.63**) suggests a defense mechanism against pests, which may affect digestibility. The most promising genotypes in the non-water-stressed environment were VOLUMAX, K200, and 234/17A due to their high productivity, good thousand-grain weight, and balanced chemical composition. In the rainfed environment, early genotypes such as 234/21A and 270XX/35A stood out. These findings suggest that it is possible to select sorghum genotypes that combine favorable agronomic traits and superior nutritional composition, particularly under water stress conditions.

Keywords: Productivity, crude protein, water Restriction, grain yield, *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

Lista de abreviaturas

AP	Altura de plantas
CARB	Carboidratos
CINZ	Cinzas
CT	Carboidratos totais
CTC	Capacidade de troca catiônica
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
FLOR	Florescimento
ICA	Instituto de ciências agrárias
INFES	Infestação do pulgão
INJ	Injúria pelo pulgão
MIL	Mil grãos
MO	Matéria Orgânica
PB	Proteína bruta
PMG	Peso de mil grãos
PROD	Produtividade
SEV	Severidade da antracnose
TAN	Tanino
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	10
1. REVISÃO DE LITERATURA	11
1.1. Caracterização do Sorgo	11
1.2. Produtividade de Grãos de Sorgo.....	11
1.3. Resistência do sorgo ao pulgão e a antracnose	13
1.4. Caracterização química dos Grãos	14
1.5. Correlações entre atributos agrônômicos qualidade de grãos	15
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
3. ARTIGO. Fenotipagem de Genótipos de Sorgo em Diferentes Ambientes quanto a Composição Química dos Grãos	18
4. CONCLUSÃO	42
5. AGRADECIMENTO	42
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

INTRODUÇÃO GERAL

O cultivo do sorgo nas regiões semiáridas brasileiras pode reduzir a dependência regional de grãos para as criações nesses locais. Esse cereal tem sido utilizado como alimento humano, ração animal e para produção de etanol (Waniska *et al.*, 2016).

A maior parte de sua produção é utilizada para alimentação animal em países como Austrália, Estados Unidos e Brasil. Ademais, existe uma tendência mundial no uso de grãos com melhor qualidade nutricional com intuito de reduzir o custo de produção nos mais variados sistemas de produção animal deixando a atividade mais competitiva. A crescente demanda por grãos no mundo, associada ao substancial incremento genético dos híbridos, tem alavancado, a cada ano, a área plantada e a produtividade da cultura do sorgo, no Brasil. Com isso, os programas de melhoramento de sorgo têm buscado novas combinações de híbridos com precocidade, alto rendimento de grãos e altura ideal da planta para colheita, visando ter cultivares adaptado a essas condições (Oliveira *et al.*, 2019).

Geneticamente, o sorgo possui uma rica diversidade, que permite o desenvolvimento de cultivares adaptadas a condições ambientais desafiadoras, como baixa disponibilidade de água e altas temperaturas. Estudos de melhoramento genético focam na seleção de genótipos que possuam maior teor de proteínas, vitaminas e minerais essenciais, características que aumentam o valor nutricional do cereal tanto para consumo humano quanto para a alimentação animal (Khan *et al.*, 2022).

A identificação de genótipos de sorgo mais precoces, com melhor valor nutricional (maior teor de proteínas, vitaminas e minerais essenciais), e maior resistência à seca é de extrema importância para a agricultura moderna e a segurança alimentar global. Genótipos mais precoces permitem ciclos de cultivo mais curtos, aumentando a flexibilidade e a adaptabilidade das culturas às variações climáticas e melhorando a eficiência no uso dos recursos agrícolas (Kimani *et al.*, 2020).

No Brasil, o sorgo granífero é cultivado quase em sua totalidade no período da segunda safra e em condições de sequeiro. Assim, torna-se imprescindível a disponibilidade de cultivares comerciais de sorgo que tenham uma boa qualidade nutricional e sejam tolerantes ao estresse hídrico, principalmente no período de pós-florescimento. Nesse contexto, é imprescindível a utilização de espécies mais adaptadas a essas condições climáticas (Júlio *et al.*, 2022). A tolerância à seca faz do sorgo uma das espécies preferidas para o cultivo na safrinha.

A resistência à seca é crucial em face das mudanças climáticas, garantindo a estabilidade da produção agrícola em regiões propensas a estresses hídricos. Portanto, investir na identificação e desenvolvimento desses genótipos não só fortalece a segurança alimentar global, mas também promove a sustentabilidade agrícola e o uso eficiente dos recursos naturais.

Diante do exposto, a dissertação foi confeccionada em dois capítulos. O primeiro capítulo é uma revisão de literatura sobre a caracterização da espécie e qualidade nutricional dos grãos de sorgo. No segundo capítulo foi elaborado um artigo sobre a pesquisa cujo objetivo foi avaliar o desempenho agrônomico e composição nutricional de genótipos de sorgo em área irrigada e

em condições de estresse hídrico, bem como correlacionar os principais atributos morfológicos da planta com a composição nutricional dos grãos, características agrônômicas e fitossanitárias.

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1. Caracterização do Sorgo

O sorgo, pertencente à família *Poaceae* e ao gênero *Sorghum*, é cultivado sob a espécie *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Possui um mecanismo fotossintético do tipo C4, o que lhe confere uma considerável vantagem em eficiência fotossintética comparado as do tipo C3 (Andrade Neto *et al.*, 2010). No contexto agropecuário brasileiro, o sorgo se destaca cada vez mais por ser uma gramínea energética com alta digestibilidade, produtividade e capacidade de adaptação a diversos ambientes. Comparado a outras espécies, ele se sobressai e é utilizado para múltiplos fins, incluindo corte verde, silagem, pastejo, rações para animais e até para consumo humano (Silva, 2022).

O sorgo granífero é cultivado principalmente para produção de grãos utilizados na alimentação animal, sendo uma importante fonte de proteína para aves, suínos e bovinos (Menezes *et al.*, 2018), além de ser também utilizado na alimentação humana. Este cereal é especialmente adequado para regiões tropicais e semiáridas, especialmente pela adaptabilidade às condições de deficiência hídrica, tolerância a estiagem moderada, e elevada produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes (Jardim *et al.*, 2020).

Os atributos morfológicos do sorgo incluem um colmo ereto sustentado por um sistema radicular resistente, com raízes seminais e adventícias. Suas folhas são alternadas, compostas por bainha e lâmina foliar, originadas nos nós individuais, variando de 7 a 30 em número. A inflorescência, conhecida como panícula, possui um eixo central que origina ramificações primárias, secundárias e terciárias. Nas ramificações finais, localizam-se os racemos ou espiguetas, sendo a panícula classificada como compacta ou aberta (Silva *et al.*, 2021).

O sorgo cresce em uma ampla gama de condições geográficas, adaptando-se a diferentes altitudes, variações na duração do dia, níveis de precipitação e temperaturas. Por essa razão, é uma cultura que prospera em regiões tropicais, conhecidas por suas condições adversas (Lu *et al.* 2009).

1.2. Produtividade de Grãos de Sorgo

No Brasil, a área cultivada de sorgo granífero é bastante expressiva e tem aumentado nos últimos anos. Em 2021 foi contabilizado uma área de 979 mil ha e no ano de 2023 essa área aumentou para 1256 mil hectares (CONAB, 2023).

A popularização do cultivo do sorgo no Brasil é resultado do aumento do consumo per capita de proteína animal, especialmente entre suínos, aves e bovinos. Além disso, as indústrias de rações valorizam o sorgo, novos híbridos adaptados para safrinha foram desenvolvidos, o plantio direto foi ampliado e iniciativas de divulgação eficazes foram promovidas por agências de pesquisa e produção, como a Embrapa Milho e Sorgo (Albuquerque *et al.*, 2014).

Apesar dos grandes avanços na produtividade observados, a produtividade média nacional do sorgo no Brasil ainda está aquém de seu potencial máximo. Pesquisas indicam que

novos híbridos podem alcançar mais de 7,0 toneladas de grãos por hectare em safrinhas. Produtores que seguem práticas adequadas como o momento correto de plantio, manejo adequado do solo, aplicação de fungicidas e o uso de variedades adaptadas, têm conseguido atingir esses altos rendimentos (Menezes *et al.*, 2015).

Outro fator importante que se correlaciona positivamente com a produtividade é a disponibilidade de água para as culturas. O sistema de irrigação desempenha um papel crucial na agricultura, fornecendo os recursos essenciais que impactam a produtividade das plantações. Esse sistema está intrinsecamente ligado a elementos fundamentais do ambiente agrícola: planta, água, clima e solo. Com uma irrigação adequada, as plantas enfrentam menos estresse hídrico, o que resulta em um aumento tanto da produtividade quanto da qualidade dos produtos agrícolas (Bispo *et al.*, 2017).

A quantidade de água requerida pelas culturas depende da espécie cultivada, das metas de produção estabelecidas, das condições específicas do local de cultivo, do estágio de desenvolvimento da planta, das características do solo e da época de plantio. Segundo Batista *et al.* (2019), há interação entre genótipos e ambientes (GxA) assumindo importante papel na manifestação fenotípica do caráter tolerância à seca em sorgo. Dessa forma, é de grande importância a avaliação em diferentes ambientes para possibilitar a identificação dos genótipos mais adaptados e estáveis.

O objetivo da irrigação é fornecer água às plantações de forma a satisfazer suas necessidades hídricas ao longo de todo o ciclo de crescimento, permitindo alcançar altas produtividades e produtos de qualidade superior. O sorgo requer 330 kg de água para produzir 1 kg de matéria seca, enquanto o milho necessita de 370 kg. Apesar da capacidade de adaptação do sorgo às condições de déficit hídrico, isso não implica ausência de perdas na produtividade do sorgo granífero (Magalhães *et al.* 2012).

Comparado a outros cereais importantes como o milho e o trigo, o sorgo requer quantidades relativamente menores de água. No entanto, seu potencial de produção é limitado pela seca e pelo estresse térmico prevalentes nos trópicos e subtropicais. Por isso, é crucial desenvolver variedades de sorgo que sejam tolerantes à seca e capazes de alcançar altos rendimentos nessas condições desafiadoras (Kidanemariam *et al.*, 2018).

O híbrido K200 é uma variedade comercial, precoce, com excelente potencial produtivo e elevado peso de grãos. Possui porte baixo a médio, conforme a região e o manejo (1,40 a 1,60 m), boa capacidade de rebrota (alta produção de palhada: 6 a 8 t/ha) (KWS, 2024). De acordo com Ramos (2023), o híbrido 50A60 apresentou uma produtividade de 2.630 kg/ha na safra 2020/21 e 2.860 kg/ha na safra 2021/22, em um experimento realizado no estado de Goiás. A adubação de cobertura foi realizada por meio da aplicação a lanço de 180kg ha⁻¹ de 20-00-20.

1.3. Resistência do sorgo ao pulgão e a antracnose

O sorgo é considerado uma planta rústica, adaptada a diferentes condições ambientais, podendo produzir bem em condições que seriam desfavoráveis à maioria dos outros cereais (Da Silva *et al.* 2017). É relativamente resistente as infestações de insetos-praga que podem ter importâncias distintas dependendo do genótipo do sorgo.

As principais doenças que impactam o sorgo incluem antracnose, helmintosporiose, ferrugem, míldio e ergot. A prevalência dessas doenças varia conforme as condições climáticas locais durante o ciclo de cultivo e a resistência das cultivares. Portanto, o manejo eficaz das doenças do sorgo depende do conhecimento prévio das doenças na região de plantio, da seleção criteriosa das variedades de sorgo e da aplicação de práticas adequadas de manejo agrônomo (Silva *et al.*, 2014b).

O fungo *Colletotrichum graminicola* é responsável pela antracnose no sorgo e está presente em todas as áreas de cultivo. Em cultivares que são suscetíveis, as perdas decorrentes da doença podem ultrapassar 50%. No Brasil, as condições ambientais favorecem uma significativa variabilidade do patógeno (Pereira, 2018). Esse gênero inclui alguns dos patógenos mais relevantes para a agricultura, devido às grandes perdas que podem ocasionar, o que torna essencial o diagnóstico preciso dessa doença (Parreira *et al.*, 2016).

Rodrigues (2015) destacou que a antracnose é uma das doenças mais destrutivas para diversas culturas, incluindo o sorgo, com perdas de até 80%. Se espalhando rapidamente e seus danos são facilmente visíveis. Embora similar ao fungo *C. graminicola*, que afeta o milho, este atinge especificamente o sorgo. O bom manejo e planejamento agrícola adequados são essenciais para minimizar os impactos da antracnose.

As folhas infectadas apresentam manchas que se desenvolvem de minúsculos centros circulares acinzentados, as margens são avermelhadas ou castanhas, fator que varia dependendo da cultivar. À medida que a doença avança, as folhas ao redor das manchas começam a amarelar, e o tecido afetado se necrosa, tornando-se frágil e quebradiço, podendo até se romper prematuramente. Em condições de alta umidade, o fungo pode liberar esporos visíveis nas lesões, facilitando a disseminação da doença. A infecção reduz a capacidade fotossintética da planta, o que compromete seu crescimento e desenvolvimento, além de impactar negativamente na produção de grãos, resultando em perdas significativas na produtividade (Castillo, 2016).

A melhor maneira de controle da antracnose é a escolha de genótipos mais resistentes. Em experimento de campo conduzido na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, localizada em Sete Lagoas (MG), na safra de 2020, foi avaliada a resistência de 25 híbridos de sorgo, sendo os híbridos 1G233 e 50A60 os mais resistentes e assim são recomendados para plantio e manejo da antracnose em locais com ocorrência da doença (Maia, 2021).

Outra praga que acomete a cultura do sorgo é o pulgão (*Melanaphis sacchari*). Na safra 2019/2020, o pulgão causou danos econômicos em várias regiões do Brasil, como no Triângulo Mineiro, Noroeste e Alto Paranaíba, em Minas Gerais, além de lavouras no Distrito Federal, São Paulo, Goiás e Mato Grosso. Desde então, esse inseto se tornou o principal problema

fitossanitário do sorgo no país, exigindo o desenvolvimento de estratégias de manejo e convivência com a praga (Mendes *et al.*, 2019).

Os insetos começam a infestar a face abaxial das folhas inferiores das plantas, alimentando-se da seiva. Com o avanço da infestação, eles migram para as folhas superiores, podendo atingir a panícula e prejudicar o processo de polinização. Em casos de infestações intensas, as folhas secam e, em situações mais graves, a planta pode até morrer. Além disso, os pulgões excretam uma substância açucarada, conhecida como mela, que favorece o desenvolvimento do fungo responsável pela fumagina. Este fungo cobre as folhas com uma camada escura, bloqueando a fotossíntese e reduzindo a capacidade da planta de absorver nutrientes (Mendes *et al.*, 2021).

1.4. Caracterização química dos Grãos

O grão de sorgo é conhecido por sua qualidade nutricional e há um mercado mundial crescente para uso na alimentação humana sendo consumido na preparação de muitos alimentos (Sihono *et al.*, 2019; Palácios *et al.*, 2021). É um excelente alimento para animais e seu valor alimentar é geralmente considerado mais de 95% do valor alimentar do milho (Waniska *et al.*, 2016). Além disso, é uma cultura para a produção de energia que pode ser usada através de inúmeras rotas de produção - por exemplo, convertendo amido em etanol, lignocelulose em bio-óleo, biocarvão e biohidrogênio e gordura em biodiesel (Mirfakhar *et al.*, 2020; Stamenković *et al.*, 2020).

A composição química dos grãos de sorgo varia de acordo com o genótipo, sendo em todos eles, o amido o principal macronutriente, compondo entre 70 e 80% (Bandeira, *et al.*, 2015). Dykes *et al.* (2016) afirmaram que a cor e espessura do pericarpo, tamanho e forma do grão, presença/ausência de uma testa pigmentada, cor do endosperma e cor secundária da planta tem efeito no valor nutricional do grão.

A semente de sorgo possui o pericarpo, que é a camada mais externa, de constituição fibrosa, que oferece proteção física ao grão de sorgo. Abaixo possui uma camada também envolvida na conformação da semente denominada testa. O endosperma é a camada imediatamente abaixo, esta é a estrutura mais abundante e de maior importância nutricional, pois é composta de grânulos de amido, que podem representar de 70 a 75% do peso do grão. Esses grânulos de amido, por sua vez, são suportados por um tecido proteico responsável pela maior fração de proteína do grão (Fernandes *et al.*, 2014).

A casca do grão de sorgo é composta por taninos condensados que possuem ligações cruzadas com amido, proteína e componentes lignocelulósicos (Gyori, 2017).

A composição química do sorgo segundo Rostagno (2017) é 3,201 kcal/kg, 87,10% de matéria seca, 8,75 de proteína bruta (PB), 66,06% de amido, 2,89 de fibra bruta, 2,65% de estrato etéreo, 0,03% de cálcio, 0,07% de fósforo disponível, 0,2% de lisina, 0,15% de metionina, 0,3% de metionina + cisteína, 0,28% de treonina, 1,05% de ácido linoleico, 0,1% de xantofila.

Comparado a outras culturas de cereais cultivadas em regiões semiáridas e tropicais ao redor do mundo, o sorgo se destaca como uma excelente fonte de nutrientes essenciais. Ele

contém uma média de carboidratos (CARB) entre 55,2% e 72,2%, proteínas variando de 8,6% a 18,9%, cinzas de 1,1% a 2,4%, óleo de 1,7% a 4,9%, e fibra de 9,3% a 25,2%. Além disso, o sorgo é rico em minerais como cálcio (195,0–477,0 mg/kg), zinco (12,0–23,0 mg/kg), ferro (28,8–55,1 mg/kg), potássio (950,0–2146,9 mg/kg) e sódio (14,5–58,6 mg/kg) (Gerrano *et al.*, 2016).

Buso *et al.* (2011) completam tal informação afirmando que o sorgo é uma gramínea bastante energética, com alta digestibilidade, além de possuir produtividade e adaptação a ambientes secos e quentes como destacado anteriormente no texto, nos quais é difícil o cultivo de outras espécies.

1.5. Correlações entre atributos agronômicos qualidade de grãos

Segundo Gebre (2024), o rendimento de grãos apresentou correlação genética positiva substancial com amilase, amido, ferro, zinco, enquanto o tanino (TAN), mas teve uma fraca associação genotípica com a proporção de amilose para amilopectina. Por outro lado, foram observadas correlações negativas significativas entre o rendimento de grãos com os teores de cinzas e proteína. O conteúdo de cinzas (CIN) e de proteína apresentaram correlação positiva (Borges, 2010). Bicalho (2016) em estudo com 149 genótipos, por meio da análise de variância observou diferenças significativas para as variáveis: altura de plantas, florescimento e produtividade, com médias de 13,34m, 7,15 dias e 43,07t há, respectivamente. E encontrou correlação positiva entre as características florescimento e produtividade; produtividade e altura de planta.

A presença do tanino no grão do sorgo depende da sua constituição genética. Sua presença traz vantagens agronômicas como resistência ao ataque de pássaros e doenças nos grãos, porém diminui sua palatabilidade e digestibilidade. De modo geral, o conhecimento da composição bromatológica é fundamental para viabilizar a substituição do milho pelo sorgo, sem perdas no ganho de peso dos animais (Magalhães, 1997).

Dos Santos (2016) avaliou 144 híbridos de sorgo granífero e, por meio das análises de correlações, concluiu que a seleção de plantas com base no porte pode levar à escolha de panículas de diâmetro menor, o que, por sua vez, favoreceria a seleção de panículas de maior comprimento.

Araújo *et al.* (2014) estimaram parâmetros genéticos em cultivares de sorgo granífero e observaram variabilidade entre as cultivares, além de herdabilidades elevadas (superiores a 80%) para todos os caracteres analisados, o que sugere que a seleção será eficiente.

Nas matrizes de correlação fenotípica e genotípica, observou-se uma forte correlação negativa entre a altura das plantas e o peso das panículas e dos grãos, sugerindo que a seleção para plantas mais baixas pode resultar em genótipos mais produtivos. Com a herdabilidade mais alta para a altura das plantas, ela pode ser usada eficazmente em programas de melhoramento para aumentar o rendimento de grãos. Também foi encontrada uma correlação positiva significativa entre o peso das panículas e o peso dos grãos, recomendando-se a seleção com base no peso das panículas para aumentar a produtividade de grãos no sorgo.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, C. J. B. *et al.* Use of the chlorophyll meter and its relationship with the management of nitrogen fertilization in cultivars of grain sorghum and silage in the semiarid region. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, e43499, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/43499>. Acesso em: 04 nov. 2024.
- ALBUQUERQUE, C. J. B.; RODRIGUES, J. A. S. É possível aumentar a produtividade de sorgo no Brasil? In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 32., 2018, Lavras. **Soluções integradas para os sistemas de produção de milho e sorgo no Brasil**: livro de palestra. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2018. Cap. 4, p. 106-139.
- ANDRADE NETO, R. C. *et al.* Crescimento e produtividade do sorgo forrageiro BR 601 sob adubação verde. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 124-130, 2010.
- AVILEZ, A. M. A. *et al.* Semeadura do feijoeiro em função da disponibilidade hídrica no solo no município de Itapura-SP. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, IV, 2017, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza, CE: ABID, 2017. p. 10.
- ARAÚJO, B. L. *et al.* Parâmetros genéticos em cultivares de sorgo granífero avaliados em safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 13, n. 2, p. 107-118, jul./dez. 2014. ISSN 1982-4881.
- BANDEIRA, D. C. *et al.* Structural and technological characteristics of starch isolated from sorghum as a function of drying temperature and storage time. **Carbohydrate Polymers**, v. 133, p. 46–51, 13 jul. 2015.
- BATISTA, P. S. C. *et al.* Índices de seleção para identificar genótipos de sorgo granífero tolerantes ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 3, p. 379-395, 2019.
- BOYLES, R. E. *et al.* Genome-wide association studies of grain yield components in diverse sorghum germplasm. **Plant Genome**, v. 9, n. 2, p. 1-17, 2016.
- CONAB. **Boletim da safra de grãos**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 04 nov. 2024.
- FERNANDES, E. A. *et al.* Perspectivas da demanda de grãos de sorgo para alimentação animal. In: KARAM, D.; MAGALHÃES, P. C. (Org.). **Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2014. p. 1-14.
- FERNANDES, Fabrício Oliveira *et al.* Manejo do pulgão da cana-de-açúcar (*Melanaphis sacchari* / *sorghii*) na cultura do sorgo. **Comunicado Técnico nº 249**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2021.
- GEBRE, A. B. *et al.* Genetic variability among lowland sorghum accessions collected from southern Ethiopia for grain quality traits Wedajo. **Heliyon**, v. 10, n. 4, e25323, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25323>. Acesso em: 29 fev. 2024.
- JULIO, B. H. M. *et al.* Phenotypic selection of grain sorghum restorer lines. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 21, 2022.
- KIDANEMARIAM, D. B. *et al.* Identificação e caracterização molecular do vírus taro baciliforme e do vírus taro baciliforme CH de África Oriental. **Patologia Vegetal**, v. 67, p. 1977–1986, 2018.
- KHAN, N. *et al.* Genomic advances in sorghum breeding for climate resilience. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 803501, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.803501>. Acesso em: 07 out. 2024.

- KIMANI, W. *et al.* Estudo de associação em todo o genoma revela que diferentes vias contribuem para a variação da qualidade do grão do sorgo (*Sorghum bicolor*). **BMC Genomics**, v. 21, p. 112, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12864-020-6538-8>. Acesso em: 07 out. 2024.
- LU, Y. *et al.* Molecular characterization of global maize breeding germplasm based on genome-wide single nucleotide polymorphisms. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 120, p. 93-115, 2009.
- MAGALHÃES, P. C. *et al.* Tanino nos grãos de sorgo: bases fisiológicas e métodos de determinação. EMBRAPA - CNPMS, **Circular Técnica**, n. 27, 1997. 26 p.
- MENDES, S. M. *et al.* Pulgão-da-cana-de-açúcar no sorgo: um velho conhecido, mas um novo problema! **Grão em Grão**, v. 13, n. 112, set. 2019.
- MENEZES, C. B. de *et al.* É possível aumentar a produtividade de sorgo no Brasil? In: **CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO**, 32., 2018, Lavras. **Soluções integradas para os sistemas de produção de milho e sorgo no Brasil: livro de palestra**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2018. p. 106-139.
- MENEZES, C. B. de; TARDIN, F. D.; RODRIGUES, J. A. S. Cultivares. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed). **Cultivo do Sorgo**. 9. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção 2).
- MENEZES, C. B. de *et al.* Phenotypic selection of grain sorghum restorer lines. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 21, 2022.
- MIRFAKHAR, M. *et al.* Co-fermentation of hemicellulosic hydrolysates and starch from sweet sorghum by *Clostridium acetobutylicum*: a synergistic effect for butanol production. **Industrial Crops and Products**, v. 151, p. 1-9, set. 2020.
- OLIVEIRA, I. C. M. O. *et al.* Combining ability of biomass sorghum lines for agroindustrial characters and multitrait selection of photosensitive hybrids for energy cogeneration. **Crop Science**, v. 59, n. 4, p. 1554-1566, 2019.
- PARREIRA, D. F. *et al.* Diversidade genética estimada através de marcadores ISSR de *Colletotrichum graminicola* no Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, p. 186-194, 2016.
- RAMOS, R. D. **Desempenho agrônomo de sorgo granífero em Rio Verde - GO. 2023**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2023. Orientador: Lucas Anjos Souza. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/3862>. Acesso em: 04 nov. 2024.
- RODRIGUES, J. A. S. *et al.* Sorgo forrageiro para silagem, corte e pastejo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 35, n. 278, p. 50-62, jan./fev. 2014.
- SILVA, J. P. A. *et al.* A estabilidade dos genótipos de sorgo em condições de estresse hídrico pode ser explicada pela presença de alelos que conferem resiliência ao metabolismo de carboidratos. **Journal of Plant Breeding**, v. 42, p. 67-78, 2021. DOI: 10.1007/s11032-021-01267-z.
- SILVA, J. R. O. *et al.* Cultivo intercalar antecipado de milho segunda safra nas entrelinhas da soja - Antecipe. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 16., 2021, **Assis. Três décadas de inovações: avanços e desafios**: anais. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2021. p. 33-34.
- STAMENKOVIĆ, O. S. *et al.* Production of biofuels from sorghum. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 124, p. 1-24, 2020.
- WANISKA, R. D.; ROONEY, L. W.; MCDONOUGH, C. M. Sorghum: utilization. In: **Encyclopedia Of Food Grains**. Academic Press, 2016. p. 116–123.

**4. ARTIGO. Fenotipagem de Genótipos de Sorgo em Diferentes Ambientes quanto a
Composição Química dos Grãos**

Elaborado conforme normas da revista DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins. ISSN: 2359-3652.

FENOTIPAGEM DE GENÓTIPOS DE SORGO EM DIFERENTES AMBIENTES QUANTO A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS GRÃOS

PHENOTYPING OF SORGHUM GENOTYPES IN DIFFERENT ENVIRONMENTS REGARDING THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE GRAINS

RESUMO

O estudo avaliou 23 genótipos experimentais e seis comerciais de sorgo em dois ambientes (irrigado e sequeiro), visando analisar a produtividade e a composição química dos grãos, considerando também características agrônômicas como resistência a doenças e tolerância a estresses. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com três repetições, totalizando 87 parcelas. Foram analisados o florescimento, altura das plantas, produtividade, peso de mil grãos, resistência à antracnose e pulgão, além da composição química (proteína bruta, lipídeos, carboidratos, cinzas e taninos). Os genótipos tardios floresceram entre 80 e 85 dias, enquanto os precoces entre 64 e 69 dias. A produtividade foi superior no ambiente irrigado (4,06 t/ha). A resistência à antracnose foi maior no ambiente irrigado, com os genótipos 331 e 17B se destacando. Em relação aos pulgões, os genótipos 234 e 16B apresentaram menor infestação, mas o 16B foi mais suscetível aos danos. A proteína bruta variou entre 10,25 e 12,37%, destacando o potencial do sorgo para alimentação animal. Foi observada uma correlação negativa entre proteína e carboidratos (-0,82**), indicando que genótipos mais proteicos acumulam menos energia. Genótipos como VOLUMAX, K200 e 234/17A se destacaram no ambiente irrigado, enquanto 234/21A e 270XX/35A foram promissores no sequeiro.

Palavras-chave: Produtividade, Proteína bruta, Restrição hídrica.

ABSTRAT

The study evaluated 23 experimental and six commercial sorghum genotypes in two environments (irrigated and rainfed), aiming to analyze grain productivity and chemical composition, as well as agronomic traits such as disease resistance and stress tolerance. A randomized block design with three replications was used, totaling 87 plots. Flowering, plant height, productivity, thousand-grain weight, resistance to anthracnose and aphids, and the chemical composition (crude protein, lipids, carbohydrates, ash, and tannins) were analyzed. Late genotypes flowered between 80 and 85 days, while early genotypes flowered between 64 and 69 days. Yield was higher in the irrigated environment (4.06 t/ha). Resistance to anthracnose was greater in the irrigated environment, with genotypes 331 and 17B standing out. In relation to aphids, genotypes 234 and 16B showed lower infestation, but 16B was more susceptible to damage. Crude protein varied between 10.25 and 12.37%, highlighting the potential of sorghum for animal feed. A negative correlation between protein and carbohydrates (-0.82**) was observed, indicating that more protein-rich genotypes accumulate less energy. Genotypes such as VOLUMAX, K200, and 234/17A stood out in the irrigated environment, while 234/21A and 270XX/35A were promising in the rainfed environment.

Keywords: Productivity, Crude Protein, Water Restriction.

RESUMEN

El estudio evaluó 23 genotipos experimentales y seis comerciales de sorgo en dos ambientes (irrigado y de secano), con el objetivo de analizar la productividad de los granos y su composición química, así como características agronómicas como la resistencia a enfermedades y la tolerancia al estrés. Se utilizó un diseño en bloques aleatorizados con tres repeticiones, totalizando 87 parcelas. Se analizaron la floración, altura de las plantas, productividad, peso de mil granos, resistencia a la antracnosis y los pulgones, y la composición química (proteína bruta, lípidos, carbohidratos, cenizas y taninos). Los genotipos tardíos florecieron entre 80 y 85 días, mientras que los precoces florecieron entre 64 y 69 días. El rendimiento fue mayor en el ambiente irrigado (4,06 t/ha). La resistencia a la antracnosis fue mayor en el ambiente irrigado, destacándose los genotipos 331 y 17B. En relación con los pulgones, los genotipos 234 y 16B tuvieron menor infestación, pero 16B mostró mayor susceptibilidad al daño. La proteína bruta varió entre 10,25 y 12,37%, destacando el potencial del sorgo para la alimentación animal. Se observó una correlación negativa entre proteína y carbohidratos (-0,82**), lo que indica que los genotipos más ricos en proteína acumulan menos energía. Genotipos como VOLUMAX, K200 y 234/17A se destacaron en el ambiente irrigado, mientras que 234/21A y 270XX/35A fueron prometedores en el ambiente de secano.

Palabras clave: Productividad, Proteína bruta, Restricción hídrica.

INTRODUÇÃO

O sorgo, conhecido cientificamente como *Sorghum bicolor* (L.) Moench, é a quinta cultura cerealífera mais significativa em termos de produção e área de cultivo no mundo, ficando atrás apenas do trigo, arroz, milho e cevada. Esse cereal tem uma ampla gama de usos, incluindo alimentação humana e animal com grãos, produção de forragem, biocombustíveis, ingrediente para bebidas e fabricação de vassouras (Menezes *et al.*, 2020).

Além da diversidade de usos do sorgo, destaca-se sua maior adaptação ao cultivo em regiões semiáridas e quentes (Albuquerque *et al.*, 2023). Esse cultivo pode ser uma solução sustentável para os agricultores se adaptarem às mudanças climáticas e o aumento da temperatura global (Balakrishna *et al.*, 2019). No entanto, há uma variabilidade genética considerável entre os genótipos de sorgo em termos de sua tolerância à seca (Hadebe *et al.*, 2020).

O melhoramento genético do sorgo visa criar híbridos ou variedades com características como precocidade, alta produtividade, qualidade dos grãos e altura ideal das plantas para a colheita, a fim de desenvolver variedades adaptadas a diversas condições de cultivo (Kamal *et al.*, 2023).

A produtividade média do sorgo no Brasil, no ano de 2023, situou-se em torno dos 2,15 t ha⁻¹ e, no norte de Minas Gerais, ao redor de 2,80 t ha⁻¹ (IBGE, 2024). Resultados de pesquisa locais têm apresentado valores superiores a 6,00 t ha⁻¹ sob condições de seca severa destacando a importância dessa cultura para o semiárido (Albuquerque *et al.*, 2023). Além de sua grande importância nutricional, social e econômica, o sorgo apresenta características agronômicas significativas, como a capacidade de tolerar altas temperaturas e falta de água, podendo ser cultivado em todo o Brasil (Javorski e Cicero, 2017).

O grão de sorgo é conhecido por sua qualidade nutricional, e há um mercado mundial crescente para sua comercialização (Palácios *et al.*, 2021). Esse cereal é utilizado na alimentação animal em alternativa ao milho, já que possui composição semelhante e menor custo de produção (Waniska *et al.*, 2020). Segundo Carvalho *et al.* (2015), o desempenho zootécnico dos frangos de corte não foi comprometido quando o sorgo, grão moído ou inteiro, foi usado na produção de rações.

O sorgo pode substituir o milho na alimentação de suínos em fase de crescimento e terminação sem afetar os índices de ganho de peso e conversão alimentar (Oliveira *et al.*, 2022). Essa substituição é especialmente interessante em momentos de alta nos preços do milho, oferecendo uma alternativa viável para produtores (Mnisi *et al.*, 2023). Além disso, o custo de produção do milho tem prejudicado o rendimento econômico desse cultivo no Brasil possibilitando relevante crescimento nas áreas cultivadas com sorgo no Brasil.

Estudar a composição química em conjunto com outras características agronômicas (como resistência a doenças e tolerância a estresses ambientais) pode permitir o desenvolvimento de genótipos de sorgo adaptados às condições específicas de cultivo de uma região. Isso favorece a produtividade e a qualidade nutricional e possibilita maximizar seu potencial como fonte de alimento nutritivo e sustentável (Botelho *et al.*, 2022). Para maximizar a produtividade e a qualidade do sorgo, atendendo às necessidades de alimentação humana e animal, bem como

para usos industriais, é necessário avaliar suas características agrônômicas e nutricionais.

Dessa forma, o presente estudo objetivou avaliar o desempenho agrônômico e a composição química de genótipos de sorgo com e sem estresse hídrico, bem como correlacionar os principais atributos morfológicos da planta com a composição química dos grãos.

METODOLOGIA

O trabalho foi realizado no período de novembro de 2022 a março de 2023 em área experimental do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (ICA/UFMG), Montes Claros-MG (16°40'59" S e 43°50'20" W e altitude 638 m). O experimento foi instalado em setembro de 2022. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o município de Montes Claros – MG é classificado como Aw, clima tropical com verão quente e chuvoso, e inverno frio e seco. A precipitação média no período que abrangeu as avaliações deste estudo foi de 838,70 mm, com temperatura média de 24,6 °C (Figura 1).

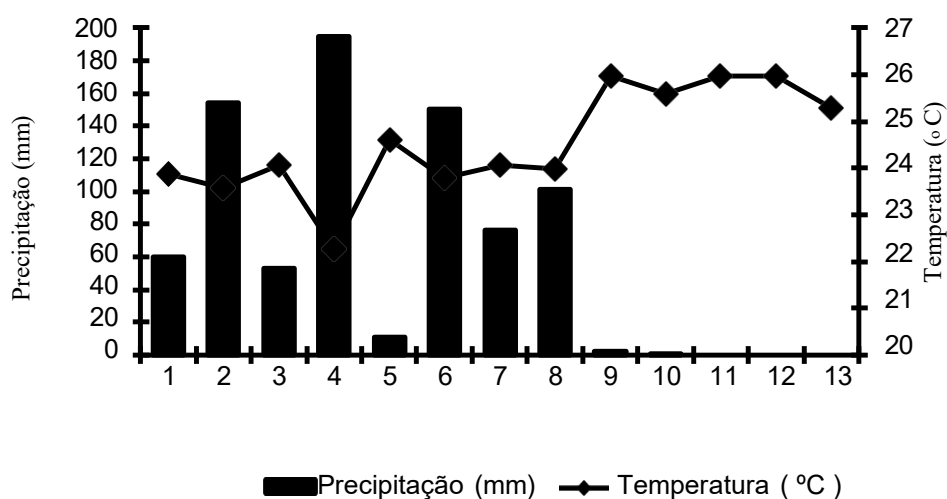


Figura 1: Dados de temperatura média e acúmulo de precipitação pluviométrica por decêndio, em Montes Claros, MG, no período de 15/11/2022 a 15/04/2023. Dados obtidos do Instituto Nacional De Meteorologia (INMET, 2024).

O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico típico (Embrapa, 2018). Para a caracterização dos atributos químicos do solo (Tabela 1), foram

coletadas 20 amostras simples na profundidade de 0 a 20 cm, que foram posteriormente combinadas para formar uma amostra composta.

Tabela 1- Atributos químicos e físicos do solo da área experimental na profundidade de 0-20 cm.

Atributos		
pH (H ₂ O)	6,60	Alto
P Mehlich (mg dm ⁻³)	3,18	Baixo
P rem. (mg L ⁻¹)	36,60	Alto
K (mg dm ⁻³)	108,00	Médio
Ca (cmolc dm ⁻³)	5,17	Bom
Mg (cmolc dm ⁻³)	1,09	Bom
Al (cmolc dm ⁻³)	0,00	Muito Baixo
H+Al (cmolc dm ⁻³)	1,78	Médio
SB (cmolc dm ⁻³)	6,54	Bom
T (cmolc dm ⁻³)	6,54	Bom
M (%)	0,00	Muito Baixo
T (cmolc dm ⁻³)	8,31	Bom
v (%)	78,63	Bom
MO (dag kg ⁻¹)	2,34	Médio
Co (dag kg ⁻¹)	1,36	Médio
Areia (%)	26	Baixo
Silte (%)	40	Alto
Argila (%)	34	Médio à Alto

P, K = (HCL 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹); P disponível (extrator Mehlich-1); Ca, Mg, Al (KCl 1 mol L⁻¹); H+Al (Solução tampão – SMP a pH 7,5); SB = Soma de Bases; CTC = Capacidade de troca catiônica; V Saturação por bases; MO = Matéria Orgânica. Fonte: Laboratório de Análise de solos do ICA/UFMG.

Foram estudados 29 genótipos de sorgo sendo 23 experimentais e nove comerciais (Tabela 2), escolhidas aleatoriamente de um banco de germoplasma pelas empresas produtoras de sementes.

Tabela 2 -Descrição dos genótipos de sorgo utilizados na safra 2022/2023, em MontesClaros-MG.

Genótipos	Base Genética	Empresa
VOLUMAX	Híbrido Simples Comercial	Agroceres
1G233	Híbrido Simples Comercial	BreVant Sementes
50A60	Híbrido Simples Comercial	BreVant Sementes
8B	Linhagem Experimental	BreVant Sementes

PRECIOSO	Híbrido Simples Comercial	CATI
17021	Híbrido Simples Comercial	CATI
BRS658	Híbrido Simples Comercial	Embrapa
K200	Híbrido Simples Comercial	KWS
35B	Híbrido Simples Comercial	LuAI Agropecuária
1B	Híbrido Simples Comercial	LuAI Agropecuária
296/17 ^a	Híbrido Simples Experimental	LuAI Agropecuária
234/35 ^a	Híbrido Simples Experimental	LuAI Agropecuária
234/17 ^a	Híbrido Simples Experimental	LuAI Agropecuária
296/35 ^a	Híbrido Simples Experimental	LuAI Agropecuária
270XX/21A	Híbrido Simples Experimental	LuAI Agropecuária
234/16 ^a	Híbrido Simples Experimental	LuAI Agropecuária
234/21 ^a	Híbrido Simples Experimental	LuAI Agropecuária
16B	Híbrido Simples Experimental	LuAI Agropecuária
43B	Híbrido Simples Experimental	LuAI Agropecuária
17B	Híbrido Simples Experimental	LuAI Agropecuária
234	Híbrido Simples Experimental	LuAI Agropecuária
270XX/35A	Híbrido Simples Experimental	LuAI Agropecuária
7B	Linhagem Experimental	LuAI Agropecuária
270XX	Linhagem Experimental	LuAI Agropecuária
22B	Linhagem Experimental	LuAI Agropecuária
21B	Linhagem Experimental	LuAI Agropecuária
331	Linhagem Experimental	LuAI Agropecuária
296	Linhagem Experimental	LuAI Agropecuária
SUB	Linhagem Experimental	LuAI Agropecuária

Fonte: Empresas produtoras de sementes. A = Linhagens estéreis, não produz pólen. B = linhagem que produz pólen.

Delineamento Experimental

O experimento foi conduzido em dois ambientes: um com irrigação durante todo o ciclo da cultura e outro de sequeiro, irrigado apenas até o início da antese. A irrigação ocorreu a cada dois dias, mantendo o solo na capacidade de campo. O delineamento experimental seguiu o esquema de blocos casualizados, com três repetições e um total de 87 parcelas por ambiente. Cada parcela foi composta por quatro linhas de três metros de comprimento, espaçadas em 0,5 metros (100 mil plantas ha⁻¹), sendo a área útil formada pelas duas linhas centrais. A semeadura foi manual e, posteriormente, realizou-se o desbaste, deixando cinco plantas por metro linear.

Manejo e Adubação

O manejo de plantas daninhas ocorreu por capina manual, conforme a necessidade da cultura ao longo do ciclo, sem aplicação de herbicidas. A adubação seguiu a análise de solo e as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais: 5^a Aproximação

(Alvarez & Ribeiro, 1999). No plantio, foi aplicado o adubo NPK 04-30-10, na dose de 500 kg ha⁻¹. A adubação de cobertura, realizada no estágio vegetativo V6 (seis folhas), consistiu na aplicação de 500 kg ha⁻¹ do adubo NPK 20-05-20. Além disso, a área experimental possuía histórico de incidência de antracnose e pulgão em sorgo e, para proteger as panículas da área útil contra pássaros, elas foram cobertas com sacos de papel Kraft.

Avaliações e Análise de Dados

O florescimento (FLOR) foi determinado pelo número de dias entre a data de semeadura até o estágio de 50% da antese das panículas, para cada genótipo.

A severidade da antracnose (SEV) foi avaliada no momento do FLOR, considerando tanto a severidade da doença nas plantas quanto a infestação de pulgão. Para a SEV, utilizou-se a escala de notas diagramáticas recomendada por Cardwell *et al.* (1989), variando de 1 a 5: Nota 1: ausência de sintomas ou apenas algumas lesões nas folhas inferiores da planta; Nota 2: até 25% das folhas com lesões; Nota 3: 26 a 50% das folhas com lesões; Nota 4: 51 a 75% das folhas com lesões; Nota 5: 76 a 100% das folhas com lesões.

A infestação de pulgão foi avaliada com base nas escalas descritas pela EMBRAPA (2021). Foram selecionadas 10 plantas aleatórias no momento do florescimento, e atribuídas notas de 1 a 5, conforme a porcentagem de infestação da planta: Nota 1: 20% da planta infestada; Nota 2: 40% da planta infestada; Nota 3: 60% da planta infestada; Nota 4: 80% da planta infestada; Nota 5: 100% da planta infestada. Simultaneamente, a injúria das plantas foi avaliada utilizando a seguinte escala de notas: Nota 1: 10% de injúria; Nota 2: 20% de injúria; Nota 3: 40% de injúria; Nota 4: 60% de injúria; Nota 5: 80% de injúria; Nota 6: 100% de injúria (planta morta).

Após a maturidade fisiológica do grão, a altura das plantas foi medida da base, rente ao solo, até a inserção da panícula. Foram avaliadas quatro plantas da área útil por parcela. A produtividade de grãos foi determinada após a debulha, e obtidos por meio do peso de cada parcela. Os valores foram corrigidos para a umidade de 13% e transformados para t ha⁻¹, utilizando a seguinte fórmula:

$P_{13\%} = [PC(1 - U) / 0,87]$, onde:

P_{13%} é a produtividade de grãos (t ha⁻¹) corrigida para a umidade padrão de 13%;

PC é a produtividade de grãos sem a correção;

U representa a umidade dos grãos observada no momento da colheita.

O peso de mil grãos foi determinado por meio da contagem e posterior pesagem, com os grãos sendo secos em estufa a 105°C até atingir peso constante.

A avaliação da composição química dos grãos incluiu a análise de taninos totais, realizada no laboratório de Plantas Medicinais da UFMG, por meio do método de Folin-Denis (Magalhães *et al.*, 1997). A composição centesimal dos grãos foi determinada conforme a metodologia do AOAC (2012).

As CIN foram obtidas após incineração do material em mufla a 550-660°C por seis horas. A proteína bruta foi determinada pelo método de Kjeldahl, enquanto o extrato etéreo foi analisado conforme o método descrito pelo AOAC (2005).

Os carboidratos totais (CT) foram calculados por diferença, utilizando a seguinte fórmula: Carboidratos = 100 - (Água + Proteína bruta + Lipídios + Cinzas + Fibras). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância individual para cada ambiente. Foram realizados testes de aditividade dos dados, normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias. Em seguida, foi realizada a análise de variância conjunta, considerando os dois ambientes. As análises estatísticas foram conduzidas no software Genes (Cruz, 2013), utilizando o teste de médias de Scott-Knott a 5%. As médias foram analisadas por meio de correlação de Pearson (Cruz & Regazzi, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foi observada interação significativa ($p < 0,05$) entre genótipos e ambientes para as características agrônômicas. Embora não tenha ocorrido interação significativa entre os genótipos e os ambientes, as variáveis altura das plantas, produtividade e peso de mil grãos responderam de forma significativa aos efeitos isolados dos genótipos e dos ambientes. Isso reflete a importância desses fatores para o desenvolvimento da cultura. Contudo, a ausência de interação entre os dois fatores sugere que os genótipos são adaptáveis e podem ser cultivados em diferentes condições ambientais sem perdas substanciais em seu desempenho. O florescimento (FLOR), por outro lado, foi influenciado apenas pelos genótipos, indicando que essa característica é predominantemente determinada pelas características genéticas das plantas.

Os genótipos tardios, como o 234/35A e o VOLUMAX, apresentaram florescimento aos 80 e 85 dias, respectivamente, enquanto os genótipos precoces atingiram o florescimento entre 64 e 69 dias (Tabela 3). O FLOR e a sensibilidade ao fotoperíodo no sorgo têm sido amplamente estudados, sendo ambos controlados por fatores genéticos (Von Pinho *et al.*, 2022).

Alelos dominantes em loci específicos contribuem para a floração tardia, com o gene **Ma1** exercendo o maior efeito nessa característica (Hao *et al.*, 2021). A presença de um locus dominante **Ma1** resulta em genótipos sensíveis ao fotoperíodo, independentemente da interação com outros loci (Von Pinho *et al.*, 2022).

O genótipo precoce, embora apresente menores custos de produção em razão da sua fase vegetativa reduzida, geralmente exibe um potencial produtivo inferior quando comparado aos genótipos mais tardios, especialmente sob condições de maior disponibilidade hídrica. Esse comportamento foi observado no presente estudo, no qual o ambiente irrigado apresentou maiores valores de produtividade de grãos ($4,06 \text{ t ha}^{-1}$), peso de mil grãos (22,94 g) e altura de plantas (1,71 m) em comparação ao ambiente de sequeiro. Apesar da ocorrência de veranico, o ambiente de sequeiro ainda contou com 45 milímetros de precipitação (Figura 1), o que favoreceu o desempenho dos genótipos mais tardios, como o 234/35A e o VOLUMAX, destacando seu maior potencial produtivo sob essas condições.

Os genótipos VOLUMAX, K200, 234/17A, 234/21A, 234/35A, 50A60, PRECIOSO e BRS658 apresentaram as maiores produtividades de grãos com 5,62, 5,17, 5,09, 4,85, 4,78, 4,74, 4,63 e 4,57 t há^{-1} respectivamente (Tabela 3). Esse desempenho está associado ao maior tempo disponível para a alocação de fotoassimilados nos grãos e ao porte mais elevado das plantas.

Os genótipos 270XX/35A, 234, 296, 43B, 234/21A, 16B, 234/35A, 7B, 270XX/21A, SUB e 21B apresentaram os maiores valores para o peso de mil grãos com 2,45, 2,43, 2,37, 2,31, 2,31, 2,29, 2,23, 2,23, 2,21, 2,19, 2,18, respectivamente (Tabela 3). Esses mesmos genótipos também foram os mais precoces na floração. Dessa forma, em condições de estresse hídrico, a precocidade pode representar uma vantagem, pois permite que a planta complete seu ciclo dentro do período de disponibilidade hídrica, minimizando os efeitos da limitação de água sobre o crescimento e a produtividade.

Observou-se maior porte para os genótipos 234/35A e 234/21A, com médias de 2,68 e 2,61 metros altura, respectivamente (Tabela 3). Em seguida, destacaram-se os genótipos 234, VOLUMAX e 234/17A, com alturas de 2,20, 2,18 e 2,14 m, respectivamente, apresentando características adequadas para a produção de silagem. Os demais genótipos apresentaram alturas variando de 1,04 a 1,69 m, sendo mais indicados para a produção de grãos.

Tabela 3- Resultados médios para florescimento (dias), produtividade (t ha^{-1}), altura de plantas (m) e peso de mil grãos (PMG) (g) para os diferentes genótipos.

Genótipos	Florescimento	Altura	Produtividade	PMG
7B	69.33 b	1.53 c	4.02 b	2.23 a
296/17 ^a	68.67 c	1.51 c	2.07 d	2.12 b
270XX	70.17 b	1.36 c	3.86 b	2.13 b

22B	71.50 b	1.56 c	3.46 c	2.04 b
21B	71.33 b	1.43 c	2.59 d	2.18 a
234/35 ^a	80.50 a	2.68 a	4.78 a	2.23 a
331	65.17 c	1.65 c	3.68 c	1.44 c
K200	68.00 c	1.25 c	5.17 a	1.98 b
234/17 ^a	68.33 c	2.14 b	5.09 a	2.06 b
296	64.50 c	1.35 c	3.77 b	2.37 a
296/35 ^a	73.50 b	1.52 c	3.80 b	2.09 b
VOLUMAX	85.00 a	2.18 b	5.62 a	1.98 b
BRS658	67.67 c	1.21 c	4.57 a	1.98 b
270XX/21A	67.17 c	1.69 c	1.45 d	2.21 a
SUB	66.67 c	1.41 c	2.48 d	2.19 a
PRECIOSO	72.17 b	1.56 c	4.63 a	2.16 b
234/16 ^a	66.00 c	1.42 c	3.37 c	2.04 b
234/21 ^a	70.67 b	2.61 a	4.85 a	2.31 a
16B	67.50 c	1.36 c	4.03 b	2.29 a
43B	68.67 c	1.54 c	3.41 c	2.31 a
17B	72.50 b	1.46 c	2.46 d	1.44 c
1G233	70.00 b	1.14 c	4.10 b	1.98 b
234	69.83 b	2.20 b	4.32 b	2.43 a
8B	71.33 b	1.47 c	3.52 c	1.97 b
50A60	72.17 b	1.45 c	4.74 a	2.16 b
35B	71.33 b	1.44 c	3.22 c	2.06 b
17021	69.00 c	1.38 c	3.42 c	2.16 b
1B	68.58 c	1.04 c	3.18 c	2.03 b
270XX/35A	69.83 b	1.49 c	3.04 c	2.45 a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não possuem diferença estatística de acordo com o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Genótipos de ciclo precoce são um dos principais objetivos dos programas de melhoramento, pois possibilitam a adoção de sistemas de sucessão de culturas. Além disso, contribuem para a mitigação dos impactos de fatores bióticos e abióticos, como estresse hídrico e pressão de doenças, ao reduzirem o tempo de permanência no campo (Santos, 2023). Nesse contexto, os genótipos experimentais mais precoces e produtivos que se destacaram no presente estudo foram 234/17A, 234/21A e 234.

O sorgo apresenta características fisiológicas que possibilitam a suspensão do crescimento e a redução das atividades metabólicas durante o estresse hídrico, reiniciando o crescimento quando a água se torna disponível (Batista, 2018). Contudo, no presente estudo, essa adaptação não foi observada, visto que o florescimento foi similar nos dois ambientes experimentais. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que a interrupção da irrigação coincidiu com precipitações no local, conforme registrado anteriormente (Figura 1).

Pode-se inferir que a variabilidade observada na altura das plantas e no peso de mil grãos entre os genótipos avaliados reflete a capacidade de adaptação dos diferentes genótipos de sorgo às condições de estresse hídrico e não estressante. Estudos recentes indicam que o comportamento diferencial entre os genótipos sob essas condições está diretamente relacionado à sua eficiência no uso de recursos hídricos e à plasticidade fenotípica (Kamal *et al.*, 2023).

Algumas plantas avaliadas apesar da boa produtividade de grãos tiveram alturas limitantes para colheita mecanizada (maior que 1,70 m) o que dificulta a recomendação desses materiais para uma agricultura moderna com colheitadeiras de grãos. A altura das plantas, especialmente para os genótipos 234/21A e 234/35A, que ultrapassaram 2,60 metros (Tabela 3), pode ser associada a uma maior eficiência na captação de água e nutrientes, o que é crucial para o desenvolvimento sob condições de estresse hídrico. Segundo Borrell *et al.* (2021), genótipos de sorgo mais altos tendem a apresentar maiores taxas de crescimento em condições limitantes de água, pois conseguem maximizar a interceptação da luz e otimizar o uso de água e nutrientes para manutenção de seu crescimento, mesmo em ambientes adversos.

Importante destacar ainda que altura das plantas é uma característica quantitativa que depende de múltiplos genes. A seleção de genótipos com maior porte pode estar relacionada a genes que influenciam a eficiência na captação de luz e no crescimento vegetativo. No entanto, essa característica também pode aumentar a suscetibilidade ao acamamento. Ademais, autores destacam que essa característica está relacionada à regulação hormonal, especialmente ao ácido giberélico, que controla o alongamento celular (Zhang *et al.*, 2020; Singh *et al.*, 2021). Segundo Kebede *et al.* (2020), a variabilidade genética para altura das plantas no sorgo tem sido associada a loci de caracteres quantitativos (QTLs), permitindo o melhoramento de linhagens com maior porte e, conseqüentemente, com maior capacidade de interceptação luminosa e produção de grãos.

A variação observada no peso de mil grãos sugere um importante resposta dos genótipos à disponibilidade hídrica. De acordo com Qi *et al.* (2020), a variabilidade no peso de grãos entre diferentes genótipos está frequentemente associada a mecanismos de tolerância ao estresse hídrico, como maior alocação de assimilados para o enchimento de grãos e uma eficiência no uso de água aumentada. Esse comportamento pode explicar os maiores valores observados em 11 genótipos, enquanto os dois genótipos com menores valores podem não ter sido tão eficientes na alocação de recursos para a formação de grãos em condições de estresse.

A variabilidade genética é um fator fundamental para programas de melhoramento, especialmente em culturas submetidas a condições de estresse hídrico. Linhagens que conseguem manter ou até aumentar o peso dos grãos em tais condições demonstram potencial para serem selecionadas em programas voltados à produção sustentável em ambientes áridos e semiáridos (Gupta *et al.*, 2022; Kamal *et al.*, 2023).

O peso de mil grãos também apresenta uma forte base genética, sendo influenciado por alelos que regulam o enchimento de grãos e a eficiência no uso de assimilados (Zhang *et al.*, 2020

e Singh *et al.*, 2021). O peso dos grãos é determinado por um conjunto de genes que regulam o transporte de fotoassimilados para os grãos, sendo fundamental na determinação da produtividade final (Zhang *et al.*, 2019). Além disso, genes relacionados à tolerância ao estresse hídrico têm sido identificados como influentes no peso de grãos, uma vez que genótipos mais tolerantes conseguem alocar recursos de forma mais eficiente sob condições adversas.

Notou-se para severidade da antracnose efeito significativo para os ambientes e genótipos ($p < 0,01$). Entre os 29 genótipos avaliados, 11 apresentaram maior suscetibilidade à antracnose, enquanto 2 se destacaram por sua resistência, com os demais genótipos ocupando posição intermediária (Tabela 4). Os genótipos 331 e 17B se destacaram entre os mais resistentes.

No ambiente sem estresse hídrico, observou-se maior severidade da doença (2,16) em comparação ao ambiente com estresse (2,04). Em condições de maior disponibilidade hídrica, o microclima das plantas favoreceu o desenvolvimento do patógeno *Colletotrichum sublineolum*, agente causador da antracnose, ao proporcionar umidade relativa elevada e condições ideais para a esporulação e disseminação do fungo. Segundo Singh *et al.* (2021), a incidência de doenças em sorgo aumenta em condições de irrigação ou ambientes com alta umidade. Essa dinâmica justifica a maior SEV (2.16) no ambiente sem estresse hídrico observado no experimento (Tabela 4).

A resistência genética, observada nos genótipos 331 e 17B, representa uma das principais estratégias para o controle da antracnose. Programas de melhoramento genético têm se concentrado na identificação de genes de resistência durável, por meio da detecção de QTLs (loci de caracteres quantitativos), que conferem resistência ao patógeno. Segundo Beshir *et al.* (2020), genótipos resistentes possuem genes que codificam proteínas de defesa que limitam a expansão do patógeno nas folhas. Em relação a infestação e injúria do pulgão (*Melanaphis sorghi*) foram significativos para os efeitos dos genótipos ($p < 0,01$), ou seja, a resistência à infestação de pulgões, como *Melanaphis sorghi*, também é altamente dependente do genótipo.

Segundo Sharma *et al.* (2019), compostos fenólicos estão envolvidos em mecanismos de defesa das plantas contra pragas, como o pulgão por meio de suas propriedades antinutricionais e tóxicas para os insetos. Além disso, a presença de tricomas nas folhas das plantas atua como uma barreira física, dificultando o acesso dos insetos à superfície da folha e, conseqüentemente, limitando a infestação. Da mesma forma, Mittler *et al.* (2020) afirmaram que a produção de compostos secundários, como fenóis e flavonoides, aumenta em plantas sob ataque de insetos, promovendo uma resposta defensiva que reduz o dano causado por herbívoros. Esses compostos funcionam como antioxidantes e também possuem atividades antimicrobianas e antinutricionais, sendo cruciais para a resistência das plantas.

Ao monitorar a infestação do pulgão nos genótipos de sorgo notou-se menores valores para o 234 e 16B. Em contrapartida, a injúria causada pelo inseto foi menor em 16 dos 29 genótipos

avaliados, sendo que, o 16B estava entre os mais comprometidos com a praga apesar da menor infestação (Tabela 4).

Tabela 4- Resultados médios para severidade (1-5), injúria (1-5) e infestação (1-6).

GENÓTIPO	SEVERIDADE	INFESTAÇÃO	INJÚRIA
7B	2,23 a	1,00 a	1,80 e
296/17 ^a	2,12 b	1,05 a	2,05 d
270XX	2,13 b	1,00 a	2,20 c
22B	2,05 b	1,00 a	1,80 e
21B	2,18 a	1,05 a	2,00 d
234/35 ^a	2,23 a	1,00 a	1,80 e
331	1,44 c	0,85 b	1,58 e
K200	1,98 b	1,00 a	2,53 b
234/17 ^a	2,06 b	0,92 b	1,85 e
296	2,37 a	1,00 a	2,88 a
296/35 ^a	2,09 b	1,00 a	2,70 b
VOLUMAX	1,98 b	1,00 a	1,87 e
BRS658	1,98 b	1,02 a	1,78 e
270XX/21A	2,21 a	0,96 b	2,20 c
SUB	2,19 a	1,03 a	1,92 e
PRECIOSO	2,16 b	1,00 a	2,68 b
234/16 ^a	2,05 b	1,00 a	1,80 e
234/21 ^a	2,31 a	1,10 a	1,70 e
16B	2,23 a	0,70 c	2,80 a
43B	2,31 a	1,10 a	1,70 e
17B	1,45 c	1,00 a	1,80 e
1G233	1,98 b	1,00 a	1,70 e
234	2,43 a	0,60 c	2,20 c
8B	1,97 b	0,92 b	2,25 c
50A60	2,15 b	1,08 a	1,72 e
35B	2,06 b	0,92 b	1,85 e
17021	2,16 b	1,00 a	2,13 c
1B	2,03 b	1,00 a	1,80 e
270XX/35A	2,45 a	1,00 a	2.60 b

Medias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não possuem diferença estatística de acordo com o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Apesar da menor infestação, o genótipo 16B pode ser mais suscetível ao dano causado pelo pulgão devido a sua menor capacidade de resposta defensiva ou a uma maior sensibilidade fisiológica aos danos, o que resulta em maiores injúrias mesmo com menor número de insetos. A resistência ao pulgão em sorgo envolve tanto mecanismos de resistência antibiose (onde as plantas afetam negativamente o desenvolvimento ou sobrevivência do inseto) quanto tolerância

(capacidade de suportar o dano sem grandes impactos no crescimento ou produtividade) (Sharma *et al.* 2019). No caso do 16B, pode haver uma resistência por antibiose (menor infestação), mas baixa tolerância, o que explicaria o maior dano observado. Além disso, Pereira *et al.* (2020) destacam que genótipos que apresentam maior capacidade de regeneração após ataques de insetos tendem a sofrer menos injúrias, independentemente da quantidade de pragas presentes. A menor infestação no genótipo 234 pode estar relacionada a características como maior densidade de tricomas ou presença de compostos antinutricionais que reduzem a alimentação dos insetos.

A análise de variância para as características nutricionais: PB, CARB e TAN mostrou significância para o efeito dos genótipos (Tabela 5, Tabela 6 e Tabela 8). Esse resultado indica que essas variáveis são fortemente influenciadas pela genética das plantas de sorgo. A herança genética impacta diretamente a capacidade das plantas de acumular ou sintetizar nutrientes, compostos bioquímicos e metabólitos secundários, como os taninos.

As características PB e CARB também apresentaram significância para a interação genótipo x ambiente (Tabela 5 e Tabela 6). Esse resultado corrobora os achados de Mathew *et al.* (2020), que demonstraram respostas diferenciadas de genótipos de sorgo no acúmulo de proteínas e CARB em função do ambiente de cultivo.

Os resultados indicam médias de 10,93% de proteína (Tabela 5), 74,34% de CARB (Tabela 6), 2,01% de CIN (Tabela 7) e 0,17% de TAN (Tabela 8). Esses valores sugerem que o grão de sorgo estudado possui um perfil nutricional com alta concentração de carboidratos, o que reforça o seu potencial como uma fonte energética. O teor de PB também foi significativo, variando de 10,25 a 12,37, evidenciando que o sorgo, como um volumoso de alta qualidade, desempenha um papel fundamental na alimentação animal, especialmente em regiões onde o consumo de proteínas de origem vegetal é essencial para a dieta.

Houve interação genótipos x ambiente para os teores CIN e TAN (Tabela 7 e Tabela 8). De acordo com Montagnac *et al.* (2021), fatores ambientais, como o estresse hídrico ou a deficiência de nutrientes no solo, podem modificar o conteúdo de TAN nos grãos de sorgo, enquanto a composição de CIN (minerais) é dependente da capacidade do genótipo de absorver nutrientes do solo sob diferentes condições

Nos dois ambientes, o genótipo 17021 obteve maior ($p < 0,05$) média para PB (Tabela 5). Os genótipos 234/17A 1G233e apresentaram os menores valores de PB no ambiente irrigado e sob estresse hídrico, respectivamente.

Os resultados para o genótipo 1G233, que teve os menores valores de PB sob estresse hídrico, e os genótipos 1B e 270XX/35A, que se destacaram na segunda colocação, reforçam a importância da interação genótipo x ambiente. Sob estresse hídrico, a redução na síntese de proteínas pode estar associada a um redirecionamento dos recursos da planta para mecanismos de sobrevivência, como o fechamento estomático e a conservação de água (Pandey *et al.* 2020), que estudaram os impactos do estresse hídrico na qualidade nutricional das culturas.

Segundo Moghaddam *et al.* (2019), genótipos que mantêm altos níveis de PB sob diferentes condições de estresse, tal qual o 17021, são altamente valiosos em regiões sujeitas a estresses ambientais, como déficit hídrico. Isso indica um potencial genético elevado para essa característica, desse genótipo para programas de melhoramento voltados à qualidade nutricional.

Ao compararmos os dois ambientes, entre os 29 genótipos testados, quatro tiveram redução dos teores de PB sob estresse hídrico, nove sem estresse hídrico e 16 não foram afetados pelos ambientes de cultivo indicando uma estabilidade para essa característica (Tabela 5). A estabilidade observada nos genótipos, que não foram afetados pelos diferentes ambientes de cultivo, indica uma resiliência genética, ou seja, esses genótipos são capazes de manter a síntese proteica mesmo sob condições de estresse (Martínez, 2019). Genótipos que mostram essa estabilidade são ideais para cultivo em ambientes variáveis, pois garantem a manutenção da qualidade nutricional, conforme Araus *et al.* (2019), que destaca a importância da resiliência genética no melhoramento de culturas para condições de estresse.

Além disso, os teores de PB, que permaneceram superiores a 10,25%, mesmo em ambiente com estresse hídrico, indicam que o sorgo pode ser uma opção vantajosa para a alimentação de bovinos. Isso pode resultar em uma redução nos custos com suplementos concentrados, dependendo do desempenho esperado na nutrição animal.

Tabela 5- Conteúdo de proteína bruta dos grãos de 29 genótipos de sorgo em dois ambientes de cultivo.

GENÓTIPOS	Irrigado	Sequeiro
7B	10,97 bA	10,92 eA
296/17A	11,01 bA	11,01 dA
270XX	10,28 hB	11,72 bA
22B	11,00 bA	11,30 cA
21B	11,02 bA	11,02 dA
234/35A	11,02 bA	10,72 fA
331	10,34 fB	12,00 bA
K200	10,57 dB	11,42 bA
234/17A	10,19 jB	10,72 fA
296	10,51 eB	11,66 bA
296/35A	10,90 bA	10,98 eA
VOLUMAX	11,38 bA	10,86 eB
BRS658	10,74 bA	10,53 hA
270XX/21A	10,25 iA	10,21 kA
SUB	10,78 bA	10,87 eA

PRECIOSO	10,70 cA	11,00 dA
234/16A	11,27 bA	10,40 iB
234/21A	10,52 dA	10,56 gA
16B	10,25 iA	10,28 jA
43B	11,16 bA	10,38 iB
17B	11,19 bA	11,18 cA
1G233	10,69 cA	10,16 IB
234	10,82 bA	11,16 cA
8B	10,84 bB	11,28 cA
50A60	10,33 gA	10,25 jA
35B	11,00 bA	11,23 cA
17021	12,37 aB	12,89 aA
1B	10,57 bB	11,77 bA
270XX/35A	10,95 bB	11,67 bA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não possuem diferença estatística de acordo com o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

O ambiente sob estresse hídrico apresentou-se com maiores teores de extrato etéreo (3,43%), quando comparado ao sem estresse hídrico.

Os genótipos 270XX, 21B, 331, K200, 234/17A, 296, 296/35A, VOLUMAX, BRS658, 270XX/21A, SUB, PRECIOSO, 234/21A, 16B, 17B, 1G233, 234, 8B, 50A60 e 35B obtiveram maior ($p < 0,05$) teor de CT nos grãos no ambiente sem estresse hídrico (Tabela 6), já no sob estresse, os genótipos com maiores ($p < 0,5$) teores de CT foram 7B, 296/17A, 270XX, 21B, 234/35A, 234/17A, 296/35A, VOLUMAX, BRS658, 270XX/21A, SUB, PRECIOSO, 234/16A, 234/21A, 16B, 43B, 17B, 1G233, 234, 8B, 50A60 e 35 B.

Tabela 6- Conteúdo de CT (%) de genótipos de sorgo em dois ambientes de cultivo.

GENÓTIPOS	Irrigado	Sequeiro
7B	74,10 bA	73,92 aA
296/17A	74,12 bA	74,27 aA
270XX	77,79 aA	74,05 aA
22B	73,88 bA	72,91 cA
21B	74,33 aA	74,33 aA
234/35A	73,73 bA	74,00 aA
331	74,57 aA	72,66 cB
K200	74,65 aA	72,70 cB

234/17A	75,22 aA	74,14 aA
296	75,32 aA	72,73 cB
296/35A	74,87 aA	73,56 aB
VOLUMAX	74,45 aA	73,97 aA
BRS658	74,94 aA	74,60 aA
270XX/21A	78,75 aA	79,40 aA
SUB	74,80 aA	74,55 aA
PRECIOSO	75,04 aA	74,19 aA
234/16A	73,88 bB	75,42 aA
234/21A	74,46 aA	74,49 aA
16B	74,87 aA	74,58 aA
43B	74,12 bB	75,31 aA
17B	74,45 aA	74,45 aA
1G233	74,34 aA	75,22 aA
234	75,00 aA	73,88 aA
8B	74,78 aA	74,10 aA
50A60	76,34 aA	75,39 aA
35B	76,36 aA	74,14 aB
17021	72,33 cA	71,59 dA
1B	86,12 aA	73,40 bB
270XX/35A	74,11 Ba	73,62 aA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não possuem diferença estatística de acordo com o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os resultados que indicam maior teor de CT nos genótipos de sorgo em ambientes sem estresse hídrico confirmam que a disponibilidade de água influencia diretamente o acúmulo de CARB nas plantas. A produção e o acúmulo de CARB dependem da fotossíntese, que é influenciada pela disponibilidade de água e luz. Genótipos com maiores teores de CT em condições sem estresse hídrico apresentam vias metabólicas mais eficientes quando há disponibilidade adequada de água. Nos grãos de sorgo, a maior parte do CT é composta por amido, uma fonte essencial de carboidratos não fibrosos (CNF) para ruminantes. Essa relação foi demonstrada por Ferrari *et al.* (2019), ao analisarem o acúmulo de reservas energéticas em sorgo sob diferentes condições ambientais.

No entanto, os genótipos que mantêm níveis elevados de CT mesmo sob estresse hídrico, como 7B, 296/17A, 270XX e outros, mostram um potencial de adaptação ao estresse hídrico, possivelmente por meio de mecanismos de tolerância, como maior eficiência no uso de água e maior capacidade de manter a fotossíntese ativa em condições de seca moderada. Estudos de Blum

et al. (2020) apontaram que essas características são desejáveis em programas de melhoramento genético, já que o acúmulo de CARB sob estresse hídrico é fundamental para a sobrevivência e manutenção da produção de grãos.

Ao analisar a estabilidade entre os ambientes, a ausência de diferença no teor de CT em genótipos como 7B, 296/17A, 270XX e outros reforça a ideia de que esses genótipos são estáveis e adaptados a variações ambientais, apresentando uma robusta capacidade de manter a produtividade em diferentes condições. Segundo Silva *et al.* (2021), essa estabilidade pode ser explicada pela presença de alelos que conferem resiliência ao metabolismo de CARB, mesmo em situações de estresse.

O genótipo 270XX/35A obteve maior teor de CIN no sistema irrigado, seguido do 234/21A e do 17021. Já no sequeiro o genótipo com maior concentração de cinzas foi o 331, 296, 296/35A, VOLUMAX e 17021 seguidos do genótipo 22B, K200, SUB, 234, B, 296 e Volumax (Tabela 7). Quando comparado os dois ambientes, os genótipos 296/17A, 21B, 234/35A, Volumax, BRS658, 43B, 17B, 8B, e 1B não se diferenciaram ($p < 0,05$).

Tabela 7- Conteúdo de cinzas (%) de genótipos de sorgo em dois ambientes de cultivo.

GENÓTIPOS	Sem Estresse hídrico	Com Estresse hídrico
7B	2,00 dA	1,90 gB
296/17A	1,92 gA	1,92 fA
270XX	1,91 gB	2,01 cA
22B	1,98 eB	2,09 bA
21B	2,02 dA	2,02 cA
234/35A	2,02 dA	2,01 cA
331	1,87 gB	2,17 aA
K200	1,89 gB	2,06 bA
234/17A	1,70 kB	1,94 eA
296	1,79 hB	2,21 aA
296/35A	2,01 dB	2,31 aA
VOLUMAX	2,15 cA	2,16 aA
BRS658	2,01 dA	1,97 dA
270XX/21A	1,93 gA	1,99 cA
SUB	2,12 dA	2,10 bA
Precioso	2,13 dA	1,92 fB
234/16A	1,97 fA	1,87 hB
234/21A	2,37 bA	2,00 cB
16B	2,00 dA	1,87 hB
43B	1,94 gA	1,89 gA

17B	1,95 fA	1,95 dA
1G233	1,97 fA	1,76 jB
234	1,73 jB	2,11 bA
8B	1,76 iA	1,75 jA
50A60	1,85 gA	1,85 hA
35B	1,92 gA	1,84 iA
17021	2,32 bA	2,34 aA
1B	2,17 cA	2,12 bA
270XX/35A	3,21 aA	2,00 cB

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não possuem diferença estatística de acordo com o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os genótipos que apresentaram maior teor de CIN no sistema de sequeiro, como 331, 296, 296/35A e VOLUMAX. Em condições de estresse hídrico, as plantas ativam mecanismos adaptativos que melhoram a absorção e retenção de nutrientes essenciais à sobrevivência. Blum *et al.* (2020) observaram que diferentes genótipos de sorgo apresentam variações significativas na capacidade de absorção de minerais sob limitação de água, evidenciando a influência da genética na resposta ao estresse hídrico. A ausência de diferença entre os ambientes para genótipos como 296/17A, VOLUMAX, BRS658, 43B, entre outros, sugere uma estabilidade genética em relação à absorção de minerais. Esses genótipos provavelmente possuem mecanismos que permitem uma absorção de minerais eficiente, independentemente das condições hídricas. Genótipos estáveis quanto ao teor de CIN são valiosos para sistemas de produção em regiões com variabilidade ambiental, conforme demonstrado por Zhang *et al.* (2021), que destacam a importância de genótipos que mantenham a composição mineral estável sob diferentes condições de estresse.

O teor de TAN totais nos grãos no ambiente sem estresse hídrico, os genótipos 234/35A e 234/21A tiveram maiores ($p < 0,05$) valores, seguido do 22B, 234/17A, 296 e 234 (Tabela 8).. Já no ambiente sem estresse hídrico, o genótipo com maior concentração de tanino foi o 296 seguido do genótipo 234/35A, 234/17A e 234/21A (Tabela 8).

Tabela 8- Resultados médios para TAN em função dos dois ambientes de cultivo.

GENÓTIPOS	Sem Estresse hídrico	Com Estresse hídrico
7B	0,13 gB	0,17 dA
296/17A	0,12 gA	0,12 fA
270XX	0,17 eA	0,14 fA
22B	0,27 bA	0,22 cB

21B	0,13 gA	0,13 fA
234/35A	0,40 aA	0,34 bB
331	0,22 cA	0,22 dA
K200	0,13 gB	0,17 dA
234/17A	0,27 bA	0,29 bA
296	0,31 bB	0,46 aA
296/35A	0,09 iA	0,08 iA
VOLUMAX	0,14 fA	0,10 hB
BRS658	0,17 eA	0,15 eA
270XX/21A	0,14 fA	0,13 fA
SUB	0,13 gA	0,13 fA
Precioso	0,14 fB	0,18 dA
234/16A	0,08 jA	0,09 iA
234/21A	0,38 aA	0,35 bB
16B	0,11gB	0,15 eA
43B	0,20 dA	0,18 dA
17B	0,12 gA	0,12 dA
1G233	0,10 hA	0,12 fA
234	0,29 bA	0,22 cB
8B	0,12 gA	0,13 fA
50A60	0,10 iA	0,10 gA
35B	0,11 gA	0,14 fA
17021	0,16 eA	0,16 dA
1B	0,13 gA	0,14 fA
270XX/35A	0,15 fA	0,15 fA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não possuem diferença estatística de acordo com o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os resultados indicam que o teor de TAN nos grãos de sorgo varia de acordo com o ambiente, sendo maior em alguns genótipos quando cultivados sem estresse hídrico, como 234/35A, 234/21A, 22B, 234/17A, 296 e 234. Isso sugere que esses genótipos podem apresentar uma maior produção de taninos em condições mais favoráveis, como alta disponibilidade de água. O TAN é um composto fenólico que pode atuar como mecanismo de defesa da planta contra estresses bióticos, como ataques de pragas, mas também pode ser produzido em resposta a estresses abióticos. Segundo Tan *et al.* (2020), a produção de taninos pode ser modulada pelo ambiente, com maiores concentrações observadas em condições onde a planta está menos sujeita ao estresse hídrico.

No ambiente de estresse hídrico, o genótipo 296 se destacou com maior ($p < 0,05$) concentração de tanino, seguido por 234/35A, 234/17A e 234/21A (Tabela 8). Isso pode ser explicado pelo fato de que, sob condições de estresse, algumas plantas aumentam a produção de compostos secundários como forma de proteção, mesmo que isso comprometa outros processos metabólicos, conforme discutido por Montagnac *et al.* (2021).

A comparação entre os ambientes revelou que a maioria dos genótipos, (como exemplo: 296/17A, 270XX, 21B, 331), manteve teores estáveis de tanino, o que indica uma menor influência das condições ambientais, característica desejável em programas de melhoramento. Por outro lado, os genótipos 7B, K200, 296, PRECIOSO e 16B apresentaram redução nos teores de tanino no ambiente sem estresse hídrico (Tabela 8), indicando uma resposta adaptativa às variações ambientais, diminuindo a síntese de TAN em condições favoráveis.

Esses resultados são consistentes com o estudo de Ferrari *et al.* (2019), que relataram que a interação entre genótipo e ambiente pode influenciar significativamente a concentração de compostos fenólicos como os TAN em grãos de sorgo.

Os teores de PB e CT apresentaram maior correlação fenotípica entre as variáveis deste estudo (Tabela 9). A correlação negativa significativa entre PB e CARB ($-0,82^{**}$) indica que genótipos com maior teor de PB tendem a acumular menos CARB, o que pode estar relacionado à alocação de recursos para diferentes vias metabólicas (Tabela 9). Esse comportamento é esperado em plantas, conforme discutido por Gupta *et al.* (2022), que destacam a associação entre diferentes compostos nutricionais.

As correlações fenotípicas são cruciais para guiar programas de melhoramento genético, especialmente quando se busca maximizar múltiplas características simultaneamente, como produtividade, resistência a doenças, e qualidade nutricional (Tabela 9).

Tabela 9- Correlações de Pearson entre as características de proteína bruta (PB), cinzas (CIN), mil grãos (MIL), carboidratos (CARB), tanino (TAN), florescimento (FLOR), produtividade (PROD), altura de plantas (AP), severidade da antracnose (SEV), infestação do pulgão (INFES), e injúria pelo pulgão (INJ) dos diferentes genótipos em dois ambientes de avaliação.

	CIN	LIP	MIL	CARB	TAN	FLOR	PROD	AP	SEVE	INFES	INJU
PB	0,51 **	0,18 ns	-0,04 ns	-0,82 **	-0,02 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,11 ns	0,05 ^{ns}	0,06 ^{ns}
CIN		0,15 ns	0,17 ns	-0,51 **	0,03 ^{ns}	0,12 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,23 ^{ns}
LIP			0,21 ns	-0,49 **	0,16 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,24 ns
MIL				0,01 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,31 ^{ns}	-0,05 ns
CARB					-0,23 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,00 ^{ns}	-0,14 ns

TAN	0,00 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,63**	0,27 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	-0,00 ^{ns}
FLOR		0,40*	0,51**	-0,03 ^{ns}	0,13 ^{ns}	-0,14 ^{ns}
PROD			0,39*	0,05 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-
AP				0,20 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	0,00 ^{ns}
SEVE					-0,00 ^{ns}	0,38*
INFES						-0,27 ^{ns}

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t. * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. ^{ns} Não significativo.

A correlação negativa entre CIN e CARB (-0,51**) sugere que genótipos com maior conteúdo de minerais tendem a apresentar menores teores de CT. Isso pode ocorrer porque o aumento na absorção de minerais pode impactar a alocação de fotoassimilados para o acúmulo de CARB.

Observou-se uma correlação significativa e positiva entre o teor de TAN e a altura da planta (0,63**), o que sugere que genótipos com maior concentração de taninos tendem a apresentar plantas mais altas. Dessa forma, a associação entre maior teor de taninos e maior altura pode refletir um mecanismo adaptativo, no qual plantas mais altas, ao possuírem uma maior quantidade desses compostos, conseguem se proteger melhor contra adversidades, como pragas, enquanto mantêm um bom desempenho agrônomico, conforme indicado por Montagnac *et al.* (2021).

A correlação positiva entre FLOR e AP (0,51**) e produtividade e AP (0,39**) indicam que genótipos mais altos tendem a ser mais precoces e mais produtivos. Essa relação positiva é comumente observada em plantas de sorgo, onde o tempo de FLOR pode ser uma característica crucial para adaptação a diferentes ambientes, como sugerido por Zhang *et al.* (2021).

A correlação positiva entre SEV e injúrias sofrida por pulgões (0,38*) sugere que genótipos que apresentam maior severidade da doença também tendem a sofrer mais com a presença dos pulgões. Isso pode estar relacionado a um enfraquecimento das defesas das plantas, tornando-as mais suscetíveis a ataques de pragas. Apesar do valor baixo dessa correlação, deve ser interpretada considerando sua significância e contexto biológico, como discutido por Zhang *et al.* (2021), que destaca a relevância de correlações fracas na melhoria de características complexas em plantas. Essas informações podem ser aplicadas para otimizar o desempenho agrônomico de genótipos de sorgo em diferentes ambientes, considerando as interações entre características nutricionais e de resistência a pragas e doenças.

A correlação negativa observada entre lipídios e CARB (-0,49**) sugere que genótipos com maior teor de lipídios tendem a apresentar menores concentrações de CARB.

Isso pode ocorrer porque, em algumas condições, os fotoassimilados podem ser alocados preferencialmente para a síntese de lipídios, em detrimento do acúmulo de CARB. Além disso, a absorção de minerais e outros nutrientes essenciais pode influenciar esse processo, uma vez que esses compostos competem por recursos limitados, impactando a alocação de fotoassimilados. Esse equilíbrio metabólico foi discutido por Zhang *et al.* (2019), que destacam como o acúmulo de lipídios pode interferir na formação de CARB nos genótipos analisados.

5. CONCLUSÃO

Os genótipos tardios floresceram entre 80 e 85 dias, enquanto os precoces entre 64 e 69 dias. A produtividade foi maior no ambiente irrigado (4,06 t/ha).

A antracnose foi mais severa sem estresse hídrico, com 331 e 17B mais resistentes. Os genótipos 234 e 16B tiveram menor infestação de pulgões, mas 16B mostrou maior suscetibilidade ao dano.

A PB variou de 10,25 a 12,37%, indicando o potencial do sorgo na alimentação animal. Houve correlação negativa entre proteína e CARB (-0,82**), indicando que genótipos mais proteicos acumulam menos energia. O teor de TAN foi maior em alguns genótipos sem estresse hídrico, e sua correlação positiva com a altura das plantas (0,63**) sugere defesa na defesa contra pragas, o que pode afetar a digestibilidade.

Os genótipos mais promissores em ambiente sem estresse hídrico foram VOLUMAX, K200 e 234/17A, devido à alta produtividade, bom peso de mil grãos e composição química equilibrada. Já no ambiente sequeiro, destacaram-se os genótipos precoces, como 234/21A e 270XX/35A.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEMIG (Fundação de amparo a pesquisa de Minas Gerais) pelo apoio financeiro na aquisição dos equipamentos e reagentes utilizados no projeto aprovado no EDITAL FAPEMIG 001/2017 DEMANDA UNIVERSAL Processo: APQ-02077-17.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, C. J. B. *et al.* Produção de grãos em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 43, p. 24, 2023.
- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 18. ed. Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists, 2005. Método 981.10: Nitrogen (total) in milk - Kjeldahl method.
- AOAC INTERNATIONAL. **Official methods of analysis of AOAC International**. 19th ed. Maryland, USA: AOAC International, 2012.
- ARAUS, J. L. *et al.* Phenotyping for drought tolerance in cereals: progress and challenges. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 45, p. 89-97, 2019. DOI: 10.1016/j.pbi.2019.01.003. Acesso em: 07 out. 2024.
- BALAKRISHNA, D. *et al.* Tissue culture and genetic transformation in *Sorghum bicolor*. In: Breeding sorghum for diverse end uses. Woodhead Publishing, 2019. p. 115-130.
- BATISTA, R. C. (2018). **Tolerância ao estresse hídrico e adaptação de plantas de sorgo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 22(7), 499-506. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v.22, n.7p499-506.
- BLUM, A. *et al.* Sorghum yield and carbohydrate content under water stress: The role of genetics and environment. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 133, p. 1181-1192, 2020. DOI: 10.1007/s00122-020-03571-4. Acesso em: 07 out. 2024.
- BORRELL, A. K. *et al.* Revisiting the role of leaf area in dryland sorghum yield formation. **Field Crops Research**, v. 262, p. 107802, 2021. DOI: 10.1016/j.fcr.2020.107802. Acesso em: 07 out. 2024.
- BOTELHO, J. P. *et al.* Desenvolvimento e composição química de genótipos de sorgo em diferentes condições climáticas. **Plant Science Today**, v. 8, n. 2, p. 140-148, 2022. DOI: 10.14719/pst.2022.8.2.1376. Acesso em: 07 out. 2024.
- BESHIR, A. *et al.* Genomic selection and QTL mapping for resistance to anthracnose in *sorghum*. **Molecular Breeding**, v. 40, n. 12, p. 1-12, 2020. DOI: 10.1007/s11032-020-01113-y. Acesso em: 07 out. 2024.
- CARDWELL, K. F.; HEPPERLY, P. R.; FREDERIKSEN, R. A. Pathotypes of *Colletotrichum graminicola* and transmission of sorghum anthracnose. **Plant Disease**, v. 73, p. 255-257, 1989.
- CARVALHO, L.S.S.; AMBRÓSIO, A.; SILVA, J.H.V.; RIBEIRO, B.R.; SILVA, M.A.N.; LIMA, C.G. Sorgo grão inteiro ou moído em substituição ao milho em rações de frangos de corte. **Enciclopédia Biosfera**, v.11, n.21, p.2015.
- CIURESCU, I.; PANAIT, T. D.; CRISTINA, D.; BUNEA, A. Effects of corn replacement by sorghum in broiler chicken diets on growth performance, nutrient digestibility, and intestinal microbiota. **Italian Journal of Animal Science**, v. 22, n. 1, p. 1-10, 2023. DOI: 10.1080/1828051x.2023.2212695. Acesso em: 07 out. 2024.
- CRUZ, C. D. **GENES: software para análise de dados em estatística experimental e em genética quantitativa**. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 35, p. 271-276, 2013.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 1997. v. 1, 390 p.
- EMBRAPA. **Manejo do pulgão da cana-de-açúcar (*Melanaphis sacchari / sorghii*) na cultura do sorgo**. Comunicado Técnico, n. 249, Sete Lagoas, MG, 2021.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

FERRARI, G. *et al.* Carbohydrate accumulation in sorghum under drought conditions. **Journal of Cereal Science**, v. 90, p. 102362, 2019. DOI: 10.1016/j.jcs.2019.102362. Acesso em: 07 out. 2024.

GUPTA, S. K. *et al.* Genetic dissection of drought tolerance in sorghum for sustainable production under changing climate. **Molecular Breeding**, v. 42, n. 2, p. 1-12, 2022. DOI: 10.1007/s11032-021-01240-w. Acesso em: 07 out. 2024.

HADEBE, S. T.; MABHAUDHI, T.; MODI, A. T. Water productivity of selected sorghum genotypes under rainfed conditions. **International Journal of Plant Production**, v. 1, p. 259- 272, 2020. DOI: 10.3389/fpls.2020.00758. Acesso em: 21 out. 2024.

HAO, H. *et al.* Sorghum breeding in the genomic era: opportunities and challenges. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 134, p. 1899-1924, 2021.

IBGE. Em setembro, IBGE prevê safra de 295,1 milhões de toneladas para 2024. **Agência de Notícias IBGE**, 2023. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br>. Acesso em: 19 fev. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Dados históricos. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 07 out. 2024.

JAVORSKI, M.; CICERO, S. M. Utilização de raios X na avaliação da morfologia interna de sementes de sorgo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, p. 310-318, 2017.

KAMAL *et al.* Genetic variation for grain nutritional profile and yield potential in sorghum and the possibility of selection for drought tolerance under irrigated conditions. **BMC Genomics**, v. 24, p. 515, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12864-023-09613-w>. Acesso em: 07 out. 2024.

KEBEDE, F. H. *et al.* The genetic architecture of plant height in sorghum (*Sorghum bicolor*): insights from QTL mapping and GWAS. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 458, 2020. DOI: 10.3389/fpls.2020.00458. Acesso em: 07 out. 2024.

MAGALHÃES, P. C. *et al.* Tanino nos grãos de sorgo: bases fisiológicas e métodos de determinação. EMBRAPA - CNPMS, Circular Técnica, n. 27, 1997. 26 p.

MARTÍNEZ, C. M., *et al.* (2019). Genetic resilience to environmental stress: implicatio

Nsf for crop improvement. **Field Crops Research**, 234, 78-91. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.05.012>

MATHEW, D. *et al.* Impact of environmental stress on sorghum nutritional quality. **Plant Science**, v. 299, p. 110307, 2020. DOI: 10.1016/j.plantsci.2020.110307. Acesso em: 07 out. 2024.

MENEZES, J. R. *et al.* Perspectivas para a cultura do sorgo no Brasil. **Revista Científica de Agronomia**, v. 7, n. 2, p. 233-240, 2020. DOI: 10.13140/RG.2.2.23387. Acesso em: 07 out. 2024.

MITTLER, R. *et al.* Antioxidants and plant defense responses to insects. **Journal of Experimental Botany**, v. 71, n. 16, p. 524-536, 2020. DOI: 10.1093/jxb/erz524. Acesso em: 07 out. 2024.

MNISI, C. M.; THERON, L.; TSHABALALA, P. A.; TSHWENE, C. Sorghum, millet and cassava as alternative dietary energy sources for sustainable quail production: **A review. Frontiers in Animal Science**, v. 4, p. 1066388, 2023. DOI: 10.3389/fanim.2023.1066388. Acesso em: 07 out. 2024.

MOGHADDAM, M. *et al.* Genetic basis of protein content stability in sorghum under environmental stress. **Plant Science**, v. 288, p. 110318, 2019. DOI: 10.1016/j.plantsci.2019.110318. Acesso em: 07 out. 2024.

MONTAGNAC, J. A. *et al.* Genotype-environment interactions affect nutritional composition and anti-nutritional factors in sorghum. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 752363, 2021. DOI: 10.3389/fpls.2021.752363. Acesso em: 07 out. 2024.

OLIVEIRA, J. M.; SANTOS, P. R.; SILVA, L. F.; COSTA, A. C.; MENEZES, J. P.; ALMEIDA, M. A.; RAMOS, T. A. Uso do sorgo na alimentação de suínos: uma alternativa econômica e sustentável. **Journal of Animal Nutrition**, v. 15, n. 4, p. 210-220, 2022. DOI: 10.1016/j.jan.2022.06.004. Acesso em: 07 out. 2024.

PALÁCIOS, L. G. *et al.* Mercado e potencial nutricional do sorgo: uma revisão atualizada. **Cereal Chemistry**, v. 98, p. 250-260, 2021. DOI: 10.1002/cche.2021.98. Acesso em: 07 out. 2024.

PANDEY, P. *et al.* Drought tolerance in cereals: a focus on sorghum physiology and gene expression under stress. **Molecular Breeding**, v. 40, p. 12, 2020. DOI: 10.1007/s11032-020-01120-y. Acesso em: 07 out. 2024.

PEREIRA, L. F. *et al.* Role of morphological traits and secondary metabolites in resistance to sorghum aphid. **Pest Management Science**, v. 76, n. 7, p. 2073-2080, 2020. DOI: 10.1016/j.pest.2020.01.003. Acesso em: 07 out. 2024.

QI, Y. *et al.* Genotypic variation in drought tolerance of sorghum: water use, photosynthesis, and yield response. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 758, 2020. DOI: 10.3389/fpls.2020.00758. Acesso em: 07 out. 2024.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

SANTOS, J.F.S. (2023). **Seleção de genótipos de milho e respostas fisiológicas ao déficit hídrico em região semiárida**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Sergipe. Disponível em: https://ri.ufs.br/jspui/bitstream/riufs/18502/2/JACILENE_FRANCISCA_SOUZA_SANTOS.pdf Acesso em: 19/02/2024.

SILVA, J. P. A. *et al.* A estabilidade dos genótipos de sorgo em condições de estresse hídrico pode ser explicada pela presença de alelos que conferem resiliência ao metabolismo de carboidratos. **Journal of Plant Breeding**, v. 42, p. 67-78, 2021. DOI: 10.1007/s11032-021-01267-z. Acesso em: 07 out. 2024.

SINGH, S. *et al.* Genetic dissection of height and GA responsiveness in sorghum. **Molecular Breeding**, v. 41, n. 6, p. 1-10, 2021. DOI: 10.1007/s11032-021-01205-z. Acesso em: 07 out. 2024

SHARMA, R. *et al.* Inheritance of resistance to *Melanaphis sorghi* (sorghum aphid) in sorghum. **Journal of Pest Science**, v. 92, n. 3, p. 803-812, 2019. DOI: 10.1007/s10340-019-01167-w. Acesso em: 07 out. 2024.

TAN, L. *et al.* Changes in sorghum tannins during growth and development and their impact on grain quality. **Food Chemistry**, v. 331, p. 126881, 2020. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.126881. Acesso em: 07 out. 2024.

VON PINHO, R. G. *et al.* Breeding sorghum for grain, forage and bioenergy in Brazil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 21, e1275, 2022.

WANISKA, R. D. *et al.* Impact of whole sorghum grains in poultry feed. **Journal of Animal Feed Science**, v. 29, p. 120-129, 2020. DOI: 10.22358/jafs.2020.29.2.14. Acesso em: 07 out. 2024.

ZHANG, Q. *et al.* Genetic analysis of grain yield and its components in sorghum using a recombinant inbred line population. **Journal of Experimental Botany**, v. 70, n. 13, p. 3589-3601, 2019. DOI: 10.1093/jxb/erz246. Acesso em: 07 out. 2024.

ZHANG, X. *et al.* Role of gibberellins in plant growth regulation and adaptation to stress environments. **Plant Science**, v. 298, p. 110658, 2020. DOI: 10.1016/j.plantsci.2020.110658. Acesso em: 07 out. 2024.

ZHANG, Y. *et al.* Genotype by environment interaction for grain nutritional quality traits in sorghum. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 664982, 2021. DOI: 10.3389/fpls.2021.664982

