



DIONATAS ALEX GARCIA

**MELHORAMENTO GENÉTICO DE ARROZ DE TERRAS
ALTAS PARA CONDIÇÕES DE BAIXAS TEMPERATURAS,
VISANDO O CULTIVO EM SEGUNDA SAFRA**

**LAVRAS-MG
2023**

DIONATAS ALEX GARCIA

**MELHORAMENTO GENÉTICO DE ARROZ DE TERRAS ALTAS PARA
CONDIÇÕES DE BAIXAS TEMPERATURAS, VISANDO O CULTIVO EM
SEGUNDA SAFRA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

Profa. Dra. Flávia Barbosa Silva Botelho
Orientadora

Profa. Dra. Heloisa Oliveira dos Santos
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2023**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Garcia, Dionatas Alex.

Melhoramento Genético de Arroz de Terras Altas Para
Condições de Baixas Temperaturas, Visando o Cultivo em Segunda
Safr / Dionatas Alex Garcia. - 2023.

68 p. : il.

Orientador(a): Flávia Barbosa Silva Botelho.

Coorientador(a): Heloisa Oliveira dos Santos.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. *Oryza sativa* L. 2. Sistema de produção. 3. Estádio
reprodutivo. I. Botelho, Flávia Barbosa Silva. II. Santos, Heloisa
Oliveira dos. III. Título.

DIONATAS ALEX GARCIA

**MELHORAMENTO GENÉTICO DE ARROZ DE TERRAS ALTAS PARA
CONDIÇÕES DE BAIXAS TEMPERATURAS, VISANDO O CULTIVO EM
SEGUNDA SAFRA**

**GENETIC IMPROVEMENT OF UPLAND RICE FOR LOW TEMPERATURE
CONDITIONS, AIMING AT SECOND CROP CULTIVATION**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

APROVADO em 17 de julho de 2023

Dr. Alexandre Alves de Carvalho
Dra. Flavia Barbosa Silva Botelho
Dra. Heloisa Oliveira dos Santos
Dra. Sindynara Ferreira

UFLA
UFLA
UFLA
IFSULDEMINAS

Profa. Dra. Flávia Barbosa Silva Botelho
Orientadora
Profa. Dra. Heloisa Oliveira dos Santos
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2023**

*Primeiramente à Deus, meu guia.
A minha mãe Eliana e ao meu pai Carlos, por todo apoio, amor, carinho e confiança durante
toda minha trajetória.*

*A minha companheira Rita Paraiso, pelo amor e auxílio nos momentos mais difíceis.
Aos meus irmãos Diego e Douglas, amigos, docentes e colegas que acreditaram e me deram
incentivo em toda minha caminhada.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar à DEUS, por ter me concedido a vida, a sabedoria e, me dando forças nos momentos mais difíceis dessa minha caminhada até aqui, além de ser meu guia de todos os dias.

A minha companheira Rita Paraiso e enteada Gabriela Paraiso, por todo amor, apoio, incentivo, paciência, respeito e compreensão ao longo dessa caminhada, vocês fazem parte desta conquista.

A minha mãe e ao meu Pai, por me concederem amor, educação, respeito e princípios éticos, que levarei por toda minha vida, além do amor, carinho e, apoio nos momentos mais difíceis ao longo da minha jornada.

Ao meu colega Felipe Cardoso, por todo auxílio nas análises estatística realizadas.

Aos meus amigos, irmãos e colegas da Universidade Federal de Lavras em especial ao Arsênio Daniel Ivo Mulhanga, Luciano Junior, João Mathias, Arthur Franco, Kleyton Godoy, Ivan Zevo, Júlio Miguel, Domingos Jeque, Marcelo Ferraz, Felipe Cardoso, Marcos Pereira, pelo companheirismo e apoio prestado durante minha formação.

Aos meus irmãos: Diego Fernando Garcia e Douglas da Silva Garcia, e a todos meus avós, pela ajuda e confiança em mim.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), especialmente ao Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia, pela oportunidade da realização de um dos meus sonhos o Mestrado.

Ao laboratório Central de Pesquisa em Sementes (LCPS), em especial à minha coorientadora pertencente ao setor Prof.^a Dra. Heloisa dos Santos e, aos Técnicos responsáveis pelo mesmo, na pessoa de Geraldo e Jaqueline, meu muito obrigado pelo espaço concedido no laboratório para condução da pesquisa.

A todos servidores do Departamento de Agricultura (DAG), em especial à secretária Marli dos Santos Túlio, pelo carinho, auxílio e, amizade ao logo desta trajetória e, aos técnicos do setor de grandes culturas.

À minha orientadora Prof.^a Dra. Flávia Barbosa Silva Botelho, agradeço por todos conselhos, apoio nos momentos de ansiedade, incentivo, confiança, oportunidades e ensinamentos transmitidos. Foi uma pessoa fundamental no desenvolvimento deste trabalho.

Aos demais docentes do Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal de Lavras pelos conhecimentos transmitidos.

Aos colegas da equipe do Grupo de pesquisa e Melhoramento de arroz de terras altas da UFLA (MelhorArroz) que me auxiliaram na condução do meu experimento, por toda troca de conhecimento, oportunidades de crescimento pessoal e profissional e, amizade.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de pós-graduação concedida, sem ela não seria possível a realização da pesquisa.

A todos outros que direta ou indiretamente contribuíram para a minha formação.

MUITO OBRIGADO!

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”. (Marthin Luther King)

RESUMO

O arroz é considerado um alimento de extrema relevância na alimentação humana, pelo fato de ser consumido pela metade da população mundial. À medida que a população mundial cresce, o consumo do cereal, também, aumenta proporcionalmente e, diante desse fato, cada vez mais haverá maior demanda de pesquisa e novas descobertas acerca da planta de arroz. Um sistema de produção promissor é a inserção do arroz de terras altas em sucessão com soja, na segunda safra. No entanto, em segunda safra, o arroz irá passar por um período de frio que poderá acarretar sérios problemas, como atraso do CICLO, aumento das taxas de esterilização das espiguetas e, como consequência, queda na produção, sendo agravado no sistema de cultivo em terras altas. Diante do exposto, a pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho fenotípico de linhagens elites de arroz de terras altas sob diferentes condições de temperatura durante a fase de emborrachamento. Os tratamentos utilizados foram: oito linhagens elites de arroz de Terras Altas obtidas do valor de cultivo e uso (VCU) e seis diferentes condições de temperatura, sendo de 12, 17, 20, 25, 29 e 32 °C, totalizando 48 tratamentos. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC) com três repetições. O experimento foi conduzido em casa de vegetação e em BODs (Biochemical Oxygen Demand) do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA). As variáveis avaliadas foram: número de dias para o florescimento (NDFL), CICLO, altura de planta (ALT), número de perfilhos (NP), número de panículas (NPA), número de espiguetas por panícula (NEPA), esterilidade de espiguetas e, massa fresca (MFA) e seca da parte aérea (PMSA). Para as variáveis NDFL, CICLO, ALT e NEPA, verificou-se interação genótipos x temperaturas, nas demais variáveis a interação não foi significativa. Em geral, os resultados apontam que os genótipos não toleraram as baixas temperaturas de 12 e 17 °C, causando baixo desempenho nos componentes de rendimento e 100% de esterilidade de grãos. As temperaturas de 25 e 29 °C apresentaram a menor taxa de esterilização das espiguetas. Os genótipos CNAx20665-B-6Trat.81EO, CNAx20658-B-12Trat.73EO, P85-15-CNAx18874-B-5-6Trat.17 do Preliminar e a cultivar BRSMG Caçula merecem destaque por apresentarem uma alta precocidade na faixa de temperatura de 20 a 32 °C. Embora os genótipos não se apresentem tolerantes às baixas temperaturas de 12 e 17 °C, as características avaliadas nas demais temperaturas servem como indicadores para escolha do melhor genótipo e, possibilitar o melhorista a inseri-lo em programa de hibridação.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L. Sistema de produção. Estádio reprodutivo. Esterilidade.

ABSTRACT

The rice is considered a food of extreme relevance in human nutrition, because it is consumed by half the world's population. As the world's population grows, the consumption of this cereal also increases proportionally and given this fact, there will be an increasing demand for research and new discoveries about the rice plant. A promising production system is the insertion of upland rice in succession with soybeans, in the second crop. However, in the second harvest, rice will go through a cold period that can lead to serious problems, such as delayed cycle, increased sterilization rates of the spikelets and, consequently, a drop in production, which is aggravated in the upland cultivation system. Given the above, the research aimed to evaluate the phenotypic performance of highland rice elite lines under different temperature conditions during the rubbery phase. The treatments used were: eight Highland rice elites lines obtained from the Value of Cultivation and Use (VCU) and six different temperature conditions, being 12, 17, 20, 25, 29 and 32°C, totaling 48 treatments. The experimental design was entirely randomized (DIC) with three replicates. The experiment was conducted in a greenhouse and in BODs (Biochemical Oxygen Demand) of the Agriculture Department of the Federal University of Lavras (UFLA). The variables evaluated were: number of days to flowering (NDFL), cycle, plant height (ALT), number of tillers (NP), number of panicles (NPA), number of spikelets per panicle (NEPA), spikelet sterility, and dry (PMSA) fresh (MFA) and mass. For the variables NDFL, cycle, ALT and NEPA, there was a genotypes x temperatures interaction, for the other variables the interaction was not significant. In general, the results showed that the genotypes did not tolerate the low temperatures of 12 and 17 °C, causing low performance in yield components and 100% grain sterility. The temperatures of 25 and 29 °C showed the lowest rate of spikelet sterilization. The genotypes CNAx20665-B-6 Trat.81EO, CNAx20658-B-12Trat.73EO, P85-15-CNAx18874-B-5-6Trat.17 from Preliminary and BRSMG Caçula deserve to be highlighted for presenting a high precocity in the temperature range of 20 to 32 °C. Although the genotypes are not tolerant to the low temperatures of 12 and 17 °C, the characteristics evaluated at the other temperatures serve as a parameter for choosing the best genotype and enabling the improver to insert it in a hybridization program.

Keywords: *Oryza sativa* L. Production system. Reproductive stage. Sterility.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Interação genótipos x temperaturas da característica número de dias para o florescimento (NDFL) de linhagens elites de arroz de terras altas.41
- Figura 2** – Interação genótipos x temperaturas da variável CICLO de linhagens elites de arroz de terras altas.41
- Figura 3** – Interação genótipos x temperaturas da variável altura de planta de linhagens elites de arroz de terras altas.46
- Figura 4** – Interação genótipos x temperaturas da variável número de espiguetas por panícula (NEPA) de linhagens elites de arroz de terras altas.49

LISTA DE QUADROS

- Quadro 1** – Escala de desenvolvimento fenológico do arroz, com as características morfológicas de cada fase, associado ao estágio.20
- Quadro 2** – Linhagens pertencentes ao Ensaio de Valor de Cultivo e Uso do programa de melhoramento de arroz de terras altas - UFLA.25

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Área colhida (milhões de ha), produção (milhões de t) e produtividade média (kg) de arroz nos principais países produtores.15
- Tabela 2** – Área plantada, produtividade e produção de arroz na safra 22/23 nas regiões do Brasil.17
- Tabela 3** – Composição química do solo da mistura resultante de latossolo vermelho distrófico, substrato comercial e areia.26
- Tabela 4** – Resumo da análise de variância referente ao número de dias para o florescimento (NDFL), CICLO, altura de planta (ALT), número de perfilhos (NP), número de panículas (NPA), Esterilidade (EST.), número de espiguetas por panícula (NEPA), massa fresca aérea (MFA) e porcentagem de massa seca aérea (PMSA) de arroz de terras altas.31

Tabela 5 – Valores médios obtidos em cada temperatura do número de perfilhos (NP), esterilidade (EST.), número de panículas (NPA), massa fresca aérea (MFA), porcentagem de massa seca aérea (PMSA), número de dias para o florescimento (NDFL), CICLO, altura de planta (ALT) e número de espiguetas por panícula (NEPA) de oito linhagens elites de arroz de terras altas.	33
Tabela 6 – Valores obtidos do número de panículas (NPA) e massa fresca aérea (MFA), porcentagem de massa seca aérea (PMSA), esterilidade (EST.), número de perfilhos (NP), número de dias para o florescimento (NDFL), CICLO, altura de planta (ALT) e número de espiguetas por panícula (NEPA) dos genótipos de arroz de terras altas, na média das seis temperaturas avaliadas.	35
Tabela 7 – Valores médios obtidos na interação genótipos x temperaturas da característica número de dias para o florescimento (NDFL) de linhagens elites de arroz de terras altas.....	37
Tabela 8 – Valores médios obtidos na interação genótipos x temperaturas da variável CICLO em dias de linhagens elites de arroz de terras altas.	39
Tabela 9 – Valores médios obtidos na interação genótipos x temperaturas da característica altura de planta (cm) de linhagens elites de arroz de terras altas.....	43
Tabela 10 – Valores médios obtidos na interação genótipos x temperaturas da variável número de espiguetas por panícula (NEPA) de linhagens elites de arroz de terras altas.	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	A cultura do arroz	14
2.1.1	Produção e consumo de arroz no Brasil	16
2.2	Desenvolvimento fenológico da planta de arroz	17
2.3	Condições climáticas	21
2.3.1	Temperatura	22
2.3.1.1	Estratégias visando minimizar o efeito das baixas temperaturas no arroz de terras altas	23
3	MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1	Condução dos experimentos	26
3.2	Características agronômicas avaliadas	27
3.2.1	Número de dias para o florescimento (NDFL)	27
3.2.2	Ciclo da cultura (CICLO)	27
3.2.3	Altura de planta (ALT)	27
3.2.4	Número de perfilhos (NP)	28
3.2.5	Número de panículas (NPA)	28
3.2.6	Número de espiguetas por panícula (NEPA)	28
3.2.7	Esterilidade de espiguetas (EST.)	28
3.2.8	Massa fresca da parte aérea (MFA)	28
3.2.9	Porcentagem de massa seca da parte aérea (PMSA)	29
3.3	Análise de dados	29
4	RESULTADOS	30
5	DISCUSSÃO	50
6	CONCLUSÕES	55
	REFERÊNCIAS	56
	APÊNDICES	66

1 INTRODUÇÃO

A população mundial vem sofrendo ao longo dos anos, com a distribuição dos alimentos de forma não igualitária. Muitas pessoas não possuem acesso fácil aos alimentos ou por muitas vezes esses alimentos, considerados essenciais para seu desenvolvimento, são encontrados com um preço muito elevado pelo consumidor (FUJIMORI *et al.*, 2022). Uma das maneiras de diminuir o valor do produto final, é a redução do custo de produção, atrelado à elevação da produtividade de grãos. Objetivo esse, alcançado por meio de pesquisas direcionadas às práticas de manejo e ao melhoramento genético de plantas (VICENTE, 2022).

Uma das culturas com maior potencial de aumento de produção e possivelmente auxílio no combate à fome no mundo (PRASAD, 2019) é o arroz (*Oryza sativa* L.). O arroz é considerado um alimento com maior balanceamento nutricional, composto por 75 a 80% de amido, 7% de proteína e, ainda é constituído por minerais essenciais para o crescimento e desenvolvimento do corpo humano como: magnésio, fósforo, cálcio, ferro, zinco, cobre e manganês (KOWSALYA; SHARANYAKANTH; MAHENDRAN, 2022).

A maioria dos cultivos de arroz é concentrado em um único tipo de sistema: o irrigado, este sistema, contribui anualmente de forma negativa com a emissão de gases de efeito estufa e, também utiliza um grande volume de água durante todo seu cultivo, esses impactos ambientais de médio a longo prazo, podem trazer sérios problemas ao meio ambiente (YUAN *et al.*, 2021; PATHAK, 2022).

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento - Conab (2023), a área total plantada estimada no Brasil de arroz na safra 2022/23 foi de 1.467.700 ha, sendo 1.176.800 ha no sistema irrigado e apenas 290.900 ha no sistema de sequeiro, ou seja, o sistema irrigado representa 80,18% de toda área cultivada de arroz e apenas 19,82% no sistema de sequeiro, isso demonstra a extrema concentração de cultivo no sistema irrigado, tornando ainda mais essencial a elevação do plantio em terras altas.

Para garantir a competitividade do arroz de terras altas no sistema de produção, é imprescindível alcançar novos posicionamentos da cultura em diferentes ambientes. Uma janela de plantio promissora no país é a sucessão com a cultura da soja (*Glycine max* L.), no qual considera-se a leguminosa como cultura principal e o arroz como secundário, essa sucessão, segundo alguns autores traz diversos benefícios a nível econômico e social (FURTINI; BRESEGHELLO; CASTROI, 2019; QUEVEDO *et al.*, 2022). Por outro lado, existem alguns desafios acerca da inserção da cultura do arroz em segunda safra, pois a fase de florescimento

considerada mais sensível da cultura poderá coincidir com os efeitos ambientais indesejáveis como ocorrência de baixas temperaturas (STEINMETZ; DEIBLER; SILVA, 2013).

As baixas temperaturas durante as fases de desenvolvimento inicial da planta, floração e pré-floração mais precisamente no estágio (R2), ocasionam diversos danos à cultura como: atraso de CICLO e principalmente perdas expressivas na produtividade, resultado da alta ocorrência da esterilidade de espiguetas (HAYASE *et al.*, 1969; UNAN; GENCTAN; PEDROSO, 2022).

Uma das ferramentas capaz de suprir as necessidades da inserção da cultura do arroz em sistema de produção com outras culturas é o melhoramento genético. Esse melhoramento vem sendo realizado com objetivo de desenvolver linhagens resilientes com ampla adaptação às diversidades climáticas em diferentes ambientes de cultivo, com o objetivo de diminuir os estresses ocorridos na cultura, garantindo assim a inserção da cultura em segunda safra no sistema de terras altas (SOARES; MILANESI, 2019).

Diante do exposto, a pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho fenotípico de linhagens elites de arroz de terras altas sob diferentes condições de temperatura durante a fase de emborrachamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura do arroz

O arroz (*Oryza sativa* L.) é considerado um alimento de extrema relevância na alimentação humana, pelo fato de ser consumido por mais da metade da população mundial (STRECK *et al.*, 2020). Sua ingestão diária é capaz de fornecer 20% de energia e 15% de proteína per capita necessária ao homem. Além disso, a cultura possui ampla capacidade de adaptação de cultivo, sendo a espécie com maior potencial de aumento de produção e possivelmente auxiliar no combate à fome no mundo. Em conjunto com as características nutricionais, a espécie arroz cada vez mais deve ser enfocada acerca de questões de segurança alimentar (SANTOS; STONE; VIEIRA, 2006; SANTOS *et al.*, 2021).

O cereal é produzido principalmente no continente asiático, sendo que, aproximadamente 89,9% da produção mundial se encontra nesse continente e, o restante é distribuído entre as Américas (4,8%), África (4,7%), Europa (0,5%) e uma pequena representatividade na Oceania (0,1%) (Organização das Nações Unidas para Alimentação e

Agricultura - FAO, 2021). O grão é cultivado por mais de 100 países, no qual os principais países produtores estão localizados no continente asiático (WANDER, 2015). O Brasil é o 10º produtor mundial e o primeiro fora da Ásia, sendo responsável por menos de 2% da produção no mundo (Tabela 1).

Tabela 1 – Área colhida (milhões de ha), produção (milhões de t) e produtividade média (kg) de arroz nos principais países produtores.

Ordem	País	Área colhida (Milhões de ha)	Produção (Milhões de t)	Produtividade média (Kg ha ⁻¹)	Participação na produção mundial (%)
1	China	30,1	214,4	7.112	27,20
2	Índia	46,4	195,4	4.213	24,79
3	Bangladesh	11,7	56,9	4.866	7,22
4	Indonésia	10,4	54,4	5.226	6,90
5	Vietnã	7,2	43,9	6.074	5,57
6	Tailândia	11,2	33,6	2.986	4,26
7	Myanmar	6,5	24,9	3.810	3,16
8	Filipinas	4,8	20,0	4.154	2,54
9	Paquistão	3,5	14,0	3.953	1,77
10	Brasil	1,7	11,7	6.903	1,48
	Demais 103 países	32	119,1	3.722	15,11
	Total mundial	165,5	788,3	4.763	100

Fonte: FAO (2021).

A grande parte do arroz produzido, é destinado ao consumo interno dos países, uma pequena fração do cereal é exportado. Os principais países exportadores do grão são: Índia, Tailândia, Vietnã, Paquistão, Burma, China, EUA, Brasil e Uruguai. Dentre os principais importadores, estão: China, Filipinas, União Europeia, Nigéria, Iraque, Indonésia, Costa do Marfim, Arábia Saudita e EUA (United States Department of Agriculture - USDA, 2023).

O continente asiático é o principal importador e exportador do cereal, mas em levantamentos de dados realizados no período de 1961 a 2006, mostrou que a Europa apresentou maior crescimento nas exportações de arroz e assegurou sua segunda maior taxa de importação. Já com relação a importação, no mesmo período, o continente americano, africano e a Oceania obtiveram taxas anuais de crescimento superior a 7,0% (SOUZA *et al.*, 2010).

Acerca do consumo de arroz no mundo, os maiores consumidores do alimento estão localizados em países asiáticos, como Camboja, Laos e Bangladesh, os quais possuem um consumo médio diário per capita estimado em 0,644 kg, 0,490 kg e 0,426 kg, respectivamente (MISHRA *et al.*, 2018; LAMPAYAN; XANGSAYASANE; BUENO, 2019; CHAKROVORTY *et al.*, 2020).

2.1.1 Produção e consumo de arroz no Brasil

A base na alimentação de praticamente todos os brasileiros é o arroz, que é considerado um dos alimentos essenciais na dieta dos consumidores do país. A produção nacional fica bem próxima do que é consumido. Em algumas safras, o que é excedente da produção é exportado, majoritariamente, para países africanos (WANDER, 2015).

No período compreendido de 2015 a 2021, o Brasil, teve uma produção média de 11,39 milhões de toneladas de arroz em casca, colhidos em uma área total de 1,8 milhões de hectares, com produtividade de 6.249 kg ha⁻¹ (CONAB, 2022).

Dentre as regiões produtoras de arroz no Brasil, destaca-se a região Sul, principalmente no sistema irrigado, com uma produção média de 9,5 milhões de t, em 1,3 milhões de ha, com uma produtividade de 7.573 kg ha⁻¹, representando aproximadamente 81,4% de toda produção nacional e 64,2% de toda área total colhida (WANDER; SILVA; FERREIRA, 2021).

Na Tabela 2, estão representadas a área plantada, produtividade e a produção das regiões produtoras de arroz no Brasil. Tratando-se de produtividade a região Sul é a que aparece em primeiro lugar, seguida de Sudeste, Norte, Centro-Oeste e Nordeste. Esses dados indicam a importância nacional da produção do arroz, no qual é produzido de Norte a Sul no Brasil.

Tabela 2 – Área plantada, produtividade e produção de arroz na safra 22/23 nas regiões do Brasil.

Região	Área (Em mil ha)	Produtividade (Em kg ha ⁻¹)	Produção (Em mil t)
Norte	175,4	4.868	853,8
Nordeste	154,3	2.284	352,5
Centro-Oeste	96,3	4.149	399,5
Sudeste	11,3	5.521	62,4
Sul	1.030,4	8.028	8.272,2

Fonte: Adaptado de Conab (2023).

O arroz é produzido principalmente em dois sistemas de cultivo, irrigado e terras altas (sequeiro), no qual o irrigado detém a maior parte da produção nacional.

A área total plantada estimada de arroz na safra 2022/23 foi de 1.467.700 ha, sendo 1.176.800 ha no sistema irrigado e apenas 290.900 ha no sistema de sequeiro, esses valores evidenciam que o sistema irrigado representa 80,18% de toda área cultivada de arroz e, apenas 19,82% no sistema de sequeiro. Isso demonstra a extrema concentração de cultivo no sistema irrigado, tornando ainda mais essencial a elevação do plantio em terras altas (CONAB, 2023).

No Brasil, o consumo médio anual de arroz per capita é de 26,50 kg, sendo o consumo diário de 72,60 g, esses dados revelam que o grão é o principal alimento no prato dos consumidores brasileiros (PANIZ *et al.*, 2023).

Diante do exposto, é indispensável, incentivo e subsídio aos produtores, para que não falte o alimento no país, visto que o arroz é um produto de segurança alimentar (FAGUNDES *et al.*, 2021).

2.2 Desenvolvimento fenológico da planta de arroz

As fases de crescimento da planta de arroz, passam por um processo fisiológico, considerado contínuo, no qual engloba um CICLO completo, iniciado na germinação e finalizado na maturação dos grãos. O crescimento possui um padrão comum no tempo, podendo variar um pouco, por causa da influência ambiental e das características genéticas do genótipo.

O CICLO da planta de arroz está compreendido na maioria dos casos de 100 a 200 dias. O crescimento é dividido em duas principais fases, a vegetativa (germinação, crescimento da plântula e perfilhamento) e reprodutiva (emissão da panícula, floração e maturação do fruto) (ABREU; OLIVEIRA, 2015).

- **Fase vegetativa**

Essa fase está compreendida desde a germinação da semente até o início da formação do primórdio floral. A fase vegetativa de um cultivar de 130 a 135 dias de CICLO, em condições de clima tropical, geralmente dura 65 a 70 dias sendo a fase mais variável. Caracteriza-se pelo perfilhamento ativo (capacidade de emitir colmos laterais), aumento lento em altura e emergência de folhas. O perfilhamento dá início no estágio vegetativo de V4 (4 folhas) ou V5 (5 folhas), esse fenômeno vai depender da cultivar e das condições ambientais. Em cultivares de CICLO curto o perfilhamento máximo coincide com o início da diferenciação das panículas, já em cultivares de CICLO longo prolonga-se pela fase reprodutiva. O início do perfilhamento independe do ambiente, mas o seu desenvolvimento em si é fortemente influenciado por fatores como radiação solar, temperatura e nutrição (GUIMARÃES; FAGERIA; BARBOSA FILHO, 2002).

- **Fase reprodutiva**

A fase reprodutiva da planta de arroz, prolonga-se da iniciação do primórdio floral até o florescimento propriamente dito. Sua duração é relativamente constante, levando em torno de 35 dias nas condições tropicais de cultivo (VERGARA, 1970; GUIMARÃES; FAGERIA; BARBOSA FILHO, 2002).

O primórdio da panícula torna-se visível a olho nu, 11 dias depois do ponto máximo de crescimento, apresentando uma estrutura cônica, plumosa, com dimensões de 0,5 a 1,5 mm de comprimento, esse fenômeno marca o fim da etapa da iniciação do primórdio (FERNÁNDEZ *et al.*, 1985).

A emissão da panícula caracteriza o início do florescimento, no qual ocorrem os processos de abertura das flores, polinização e fertilização. Ao longo da fase reprodutiva é determinado o número de espiguetas e o tamanho potencial do dreno da planta de arroz (VERGARA, 1991; GUIMARÃES; FAGERIA; BARBOSA FILHO, 2002). O arroz, nesta fase de desenvolvimento, é muito sensível a estresses abióticos, como déficit hídrico; deficiência nutricional, principalmente de nitrogênio; radiação solar e variações extremas de temperatura,

tanto baixa quanto alta (CHANDRARATNA, 1964; YOSHIDA, 1978; VERGARA, 1991; SIDDIK *et al.*, 2019).

Por fim a fase de maturação, prolonga-se do florescimento à maturação completa do grão. A fase de maturação de grãos, é dividida em três: grão leitoso, pastoso e maduro (COUNCE; KEISLING; MITCHELL, 2000; ABREU; OLIVEIRA, 2015).

No Quadro 1, pode-se visualizar as fases do desenvolvimento fenológico da cultura do arroz, com as características morfológicas de cada etapa.

Quadro 1 – Escala de desenvolvimento fenológico do arroz, com as características morfológicas de cada fase, associado ao estágio.

Fase de desenvolvimento	Estádio	Marcador morfofisiológico
Plântula	S ₀	Semente seca
	S ₁	Emergência do coleóptilo ou radícula
	S ₂	Emergência do coleóptilo e radícula
	S ₃	Emergência do prófalo a partir do coleóptilo
Fase vegetativa	V ₁	Formação do colar da 1 ^a folha no colmo principal
	V ₂	Formação do colar da 2 ^a folha no colmo principal
	V ₃	Formação do colar da 3 ^a folha no colmo principal. Início do perfilhamento
	V ₄	Formação do colar da 4 ^a folha no colmo principal
	V _n	Formação da última folha (folha-bandeira) no colmo principal

Continua...

Quadro 1 – Cont.

Fase de desenvolvimento	Estádio	Marcador morfofisiológico
Fase reprodutiva	R0	Início do desenvolvimento da panícula
	R1	Diferenciação da panícula
	R2	Formação do colar da folha bandeira, Emborrachamento
	R3	Emissão (exerção) da panícula na bainha; ponta da panícula acima do colar da folha bandeira
	R4	Antese: uma ou mais flores da panícula em antese
	R5	Expansão do grão em comprimento e largura: ao menos uma cariopse da panícula do colmo principal apresenta alongamento
	R6	Expansão do grão em espessura: preenchimento de pelo menos uma cariopse da panícula do colmo principal (estádio de grão leitoso)
	R7	Desidratação do grão: ao menos um grão do colmo principal apresenta-se com casca (lema e pálea) amarela (estádio de grão pastoso)
	R8	Maturação do grão: ao menos um grão do colmo principal apresenta-se com casca marrom (grãos secos)
	R9	Completa maturidade da panícula; todos os grãos apresentam-se com casca marrom

Fonte: COUNCE; KEISLING; MITCHELL (2000); ABREU; OLIVEIRA (2015).

2.3 Condições climáticas

A cultura do arroz é considerada sensível às variações climáticas. De modo geral, se as condições de clima forem favoráveis ao longo de toda fase da cultura, principalmente no estágio reprodutivo, serão obtidos excelentes níveis de produtividade. Por outro lado, se essas

condições não forem favoráveis, poderão ocorrer frustrações de safras, sendo determinada pela duração e à intensidade das condições meteorológicas (STEINMETZ; DEIBLER; SILVA, 2013; SILVA; STEINMETZ; HEINEMANN, 2015).

As alterações climáticas poderão influenciar de maneira positiva a cultura do arroz, como no aumento de sua produção em algumas regiões do mundo, entretanto, outras regiões passarão por efeitos negativos na produção do grão, esses acontecimentos irão ser desafiadores para a segurança alimentar a nível global (SINGH *et al.*, 2021). Estimativas apontam que aproximadamente 4,2% de perda no rendimento de arroz a nível mundial, entre os anos de 1961 a 2017, seja oriunda do aquecimento global (ZHANG *et al.*, 2023).

Diante do exposto, é de extrema importância conhecer as condições climáticas ideais para um bom desempenho da planta de arroz. Dentre essas condições, destaca-se a temperatura da atmosfera, que é um dos fatores climáticos de maior relevância, causando influências positivas ou negativas, ao longo de todas as fases de desenvolvimento do arroz (GAO *et al.*, 1992; LAGO *et al.*, 2009).

2.3.1 Temperatura

O arroz é muito exigente a temperaturas relativamente altas ao longo de toda fase de desenvolvimento, desde a germinação até a maturação. Os níveis ótimos de temperatura variam de 20 a 35 °C para germinação, 25 a 31 °C para o perfilhamento, 30 a 33 °C para floração e de 20 a 25 °C para maturação (YOSHIDA, 1981). A planta não tolera temperaturas extremamente baixas nem extremamente altas. O impacto desses extremos irá refletir negativamente na cultura, e esses impactos podem ser agravados, dependendo da fase de desenvolvimento afetada (SILVA; STEINMETZ; HEINEMANN, 2015; HUSSAIN *et al.*, 2019).

Temperaturas diurnas acima de 33,7 °C, principalmente na fase reprodutiva do arroz podem causar queda na produtividade, devido ao aumento na taxa de esterilidade das espiguetas, ou seja, prejudica a fertilidade das mesmas (XU; HENRY; SREENIVASULU, 2020).

Temperaturas iguais ou inferiores a 15 °C durante as fases de desenvolvimento inicial da planta, floração e pré-floração mais precisamente no estágio (R2), também podem ocasionar em perdas expressivas na produtividade, resultado da alta ocorrência da esterilidade de espiguetas (HAYASE *et al.*, 1969; UNAN; GENCTAN; PEDROSO, 2022).

O período de 7 a 14 dias antes da emissão das panículas, comumente conhecido como emborrachamento (R2), é considerado como o mais sensível às baixas temperaturas. A segunda fase mais sensível é a floração (YOSHIDA, 1981; PROMCHOTE *et al.*, 2022).

Em experimento realizado sob condições climáticas do Cerrado, utilizando 2 cultivares de arroz, sob condições de sequeiro, os resultados apontaram que, o plantio realizado entre fevereiro e setembro, ocasionou alongamento no CICLO, diminuição da planta, menor índice de área foliar e queda na produção, principalmente pela ocorrência de baixas temperaturas (LOBATO; SILVA, 1995).

Em estudo realizado por Souza *et al.* (2017), utilizando genótipos de arroz submetidos a diferentes temperaturas na fase de microsporogênese, verificaram que as baixas temperaturas, mais precisamente 9 e 12 °C, ocasionaram mais esterilidades de espiguetas, consequentemente uma queda expressiva na produtividade.

2.3.1.1 Estratégias visando minimizar o efeito das baixas temperaturas no arroz de terras altas

A medida que a população mundial cresce, o consumo de arroz também aumenta proporcionalmente e, diante desse fato, cada vez mais haverá maior demanda de pesquisa e novas descobertas acerca da planta de arroz. Visando principalmente o desenvolvimento de cultivares com alto potencial produtivo e com tolerância aos estresses bióticos e abióticos, por meio dos programas de melhoramento genético (STRECK *et al.*, 2020). Dentre as alternativas para diminuir os impactos ambientais decorrentes do sistema inundado do arroz, como a liberação do gás metano na atmosfera e o elevado consumo de água no sistema, é aumentar o seu cultivo no sistema de terras altas. Para alcançar esse objetivo, há a necessidade de desenvolver cultivares específicas a serem implantadas no sistema, onde de curto a longo prazo possa obter plantas com alto potencial produtivo, chegando próximo às produtividades encontradas no sistema irrigado (NASCENTE; CRUSCIOL; COBUCCI, 2013).

Uma das características a ser melhorada é a tolerância da cultura a baixas temperaturas, uma vez que este fator é um problema para o arroz pelo fato de a cultura ser caracterizada como de verão (STRECK *et al.*, 2020). A produtividade de grãos é fortemente influenciada em virtude da ocorrência de variações climáticas como as baixas temperaturas, principalmente durante o estágio reprodutivo de pré-floração e floração, pois irá influenciar no número de espiguetas estéreis (STEINMETZ; DEIBLER; SILVA, 2013; TEFERA; ARAGAW; MOLLA, 2023).

Para garantir a competitividade do arroz de terras altas no sistema de produção, é imprescindível o desenvolvimento de plantas que possuem as seguintes características: precocidade em conjunto com a capacidade produtiva. Essas duas características só serão alcançadas por meio da interação de outros fatores como tolerâncias ao déficit hídrico, resistência a brusone e às baixas temperaturas que poderão acometer a cultura ao longo do seu CICLO reprodutivo (FURTINI; BRESEGHELLO; CASTROI, 2019), principalmente em arroz semeado fora de janela, logo após a safra de outras culturas.

Outro fator importante a se considerar é a constante mudança no manejo e no sistema de produção. No caso do arroz, um dos sistemas empregados é a sucessão com a cultura da soja, sendo que, neste sistema, considera a soja como a principal e o arroz secundário. Devido a esse fato, a semeadura do arroz ocorrerá depois da colheita da soja e inevitavelmente a cultura irá passar por um período de frio que poderá acarretar em perdas de rendimento de grãos (STEINMETZ; DEIBLER; SILVA, 2013). Uma estratégia promissora com intuito de auxiliar no bom funcionamento desse sistema é o cultivo de materiais precoces de ambas culturas, evitando a ocorrência principalmente de estresses ambientais (RIBAS *et al.*, 2021).

Outra estratégia que vem ganhando espaço nos últimos anos é a utilização de técnicas consideradas modernas e robusta da genética molecular, como a seleção assistida por marcadores moleculares, melhoramento por mutação, silenciamento de genes induzido por vírus, lesões locais induzidas no genoma (HUSSAIN *et al.*, 2020) e mais recente a técnica de edição no genoma denominada de CRISPR/Cas-9 (MUNAWAR *et al.*, 2020). Todas visando o melhoramento da resistência das culturas aos estresses bióticos e abióticos, especialmente no arroz (NAZIR *et al.*, 2022).

Em pesquisa realizada por Nawaz *et al.* (2019), verificaram que a técnica de CRISPR/Cas9 foi eficaz na supressão no gene OsPRP1 responsável pela tolerância do arroz ao frio. Os resultados do estudo apontaram que as plantas mutantes com o gene suprimido foram altamente afetadas pelo frio em comparação com a planta selvagem. Os autores ainda ressaltaram a importância de estudar mais o gene OsPRP1 para melhorar a tolerância ao frio no arroz. Zeng *et al.* (2020) avaliaram a resposta de mutantes de arroz submetidos a técnica CRISPR/Cas9 para editar três genes sendo um deles com tolerância ao frio (OsMYB30) e verificaram que alguns mutantes obtiveram maior tolerância sob baixa temperatura, os autores afirmaram que seus estudos provaram que a edição gênica por CRISPR-Cas9 é uma excelente ferramenta para melhorar os caracteres agronômicos do arroz.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em casa de vegetação com temperatura controlada e no Laboratório Central de Pesquisa em Sementes (LCPS), localizados no Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), situados no município de Lavras-Minas Gerais, no período de fevereiro 2022 a abril de 2023.

Foram utilizados 48 tratamentos sendo: oito linhagens de arroz, sendo uma cultivar, pertencentes ao Ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU) do programa de melhoramento de arroz de terras altas da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em convênio com a Embrapa Arroz e Feijão e a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) (Quadro 2), e seis temperaturas (12, 17, 20, 25, 29 e 32 ° C), em esquema fatorial simples.

Quadro 2 – Linhagens pertencentes ao Ensaio de Valor de Cultivo e Uso do programa de melhoramento de arroz de terras altas - UFLA.

Nome da cultivar/linhagem	Origem
1- BRSMG Caçula	EMBRAPA/UFLA/EPAMIG
2- CMG ERF 81-2	EMBRAPA/UFLA/EPAMIG
3- CNAx20665-B-6 Trat. 81 EO	UFLA/EPAMIG
4- CNAx20658-B-12 Trat. 73 EO	UFLA/EPAMIG
5- 1 P 95-8 CNAx18360-B-3-B-B	UFLA/EPAMIG
6- OBS1819-126-9 Trat. 7 do Preliminar	UFLA/EPAMIG
7- P85-15-CNAx18874-B-5-6 Trat. 17 do Preliminar	UFLA/EPAMIG
8- CNAx20663-B-14 Trat. 78 EO	UFLA/EPAMIG

Fonte: Melhor Arroz (2023).

O critério de escolha das linhagens foi com base na maior precocidade do material. Já as temperaturas foram selecionadas com auxílio de trabalhos realizados, e as temperaturas médias anuais ocorridas no município de Lavras/MG.

O solo utilizado no experimento foi obtido por meio de uma mistura contendo latossolo vermelho distrófico, substrato comercial (Carolina Soil) e areia, na proporção de 2:1:1/2, respectivamente. Mistura essa que foi obtida com o auxílio de uma betoneira.

Antes da instalação do experimento foi realizada uma amostragem e análise química do solo, essa análise serviu para indicar quais as características químicas se encontravam na mistura (Tabela 3).

Tabela 3 – Composição química do solo da mistura resultante de latossolo vermelho distrófico, substrato comercial e areia.

pH	K	P	Ca	Mg	Al	MO
	mg/dm ³		cmole/dm ³			dag/kg
6,4	156,08	3,47	3,40	3,76	0,10	2,57

pH em água= potencial hidrogeniônico; K= potássio; P= fosforo; Ca= Calcio; Mg= Magnésio; MO= matéria orgânica.

Fonte: Laboratório de Análise de solo da UFLA (2022).

3.1 Condução dos experimentos

No Setor de Sementes do DAG/UFLA foi realizado o enchimento de vasos plásticos de volume total de 1,69 L cada. Após o enchimento, eles foram levados para a casa de vegetação para a semeadura de arroz (Apêndice A)

Na casa de vegetação foi realizado o cultivo das plantas de arroz por meio da semeadura direta nos vasos. Na adubação de plantio com nitrogênio, fósforo e potássio, utilizou-se 300 kg ha⁻¹ do adubo formulado 08-28-16, em que cada vaso recebeu 1,20 g do adubo (Apêndice A).

Cada parcela foi constituída por um vaso, com uma planta. O delineamento utilizado no experimento foi o inteiramente casualizado (DIC) disposto em esquema fatorial com 8 genótipos (Quadro 2) x 6 temperaturas (12, 17, 20, 25, 29 e 32 ° C), com 3 repetições totalizando 144 vasos, conduzido de forma escalonada. A adubação de cobertura foi realizada no estádio V₃, em que se utilizou a recomendação de 100 kg ha⁻¹ de ureia e, cada vaso recebeu 0,40 g do fertilizante.

As plantas foram mantidas na casa de vegetação até o estádio reprodutivo R2, em seguida, os vasos foram levados para as BODs (Apêndice B) onde foi realizado o tratamento com a temperatura constante e, fotoperíodo de 10h. As plantas ficaram nas BODs até seu pleno

florescimento (R4) (Adaptado de CRUZ *et al.*, 2006). Após o estágio R4, as plantas retornavam para casa de vegetação, para que completassem seu CICLO, para posterior colheita (Apêndice C).

Durante toda condução do experimento, os vasos foram mantidos em bandejas plásticas com água a todo tempo. Cada bandeja acondicionava um total de 3 vasos, e quando levados para as BODs cada bandeja era ocupada com 6 vasos.

No início da implantação da pesquisa, mais precisamente na semeadura à emergência das plântulas do arroz, foi realizada irrigação com a mangueira por cima dos vasos, até que atingiam o estágio V₂, em que a irrigação passou a ser por meio do enchimento das bandejas, até o final do CICLO das plantas.

3.2 Características agronômicas avaliadas

Foram avaliadas as seguintes características, conforme procedimentos apresentados a seguir:

3.2.1 Número de dias para o florescimento (NDFL)

Foi determinado o NDFL, por meio da avaliação fenotípica da planta em sua parcela útil (vaso), anotando o número de dias decorridos entre a semeadura até quando 50% dos perfilhos da planta encontravam-se no estágio R4.

3.2.2 Ciclo da cultura (CICLO)

O CICLO da planta foi determinado a partir do momento da semeadura até o ponto de colheita R9 (maturação fisiológica).

3.2.3 Altura de planta (ALT)

Para a determinação da altura de planta, foi obtido a medida compreendida entre a superfície do solo até a extremidade da panícula mais alta, na parcela útil (Adaptado de JORDÃO *et al.*, 2017).

3.2.4 Número de perfilhos (NP)

O número de perfilhos, foi obtido por meio da contagem do número totais de perfilhos na parcela útil.

3.2.5 Número de panículas (NPA)

Para a determinação do número de panículas, foi realizado a contagem de todas as panículas que foram formadas na planta em cada parcela útil, mesmo se as panículas não estivessem fora da borracha (R2), como ocorreu principalmente na temperatura de 12 °C, elas foram contadas.

3.2.6 Número de espiguetas por panícula (NEPA)

O número de espiguetas por panícula, foi obtido por meio da contagem de todas as espiguetas da planta avaliada e, em seguida dividiu-se esse total de espiguetas pelo total de panículas colhidas, encontrando assim a média final.

3.2.7 Esterilidade de espiguetas (EST.)

O número de espiguetas estéreis foi obtido por meio da divisão do número total de espiguetas vazias pelo total de espiguetas e, o resultado multiplicado por 100, pois para determinar o nível de esterilidade foi considerado a porcentagem (Adaptado de CRUZ *et al.*, 2006).

3.2.8 Massa fresca da parte aérea (MFA)

A obtenção da massa fresca da parte aérea foi obtida por meio da pesagem da parte aérea da planta no momento da colheita, sem a presença das panículas, em seguida, anotou-se seus respectivos pesos.

3.2.9 Porcentagem de massa seca da parte aérea (PMSA)

A obtenção da porcentagem de massa seca da parte aérea foi obtida por meio dos seguintes passos: a partir da obtenção da MFA, a planta avaliada foi acondicionada em sacos de papel e levados em estufa de circulação forçada de ar a uma temperatura 66 °C por 72 h, após esse período as plantas foram pesadas novamente e o valor anotado, em seguida, dividia-se o peso seco pelo peso fresco e o resultado multiplicado por 100, obtendo PMSA (Adaptado de MOE *et al.*, 2019).

3.3 Análise de dados

A análise de variância (ANOVA) de cada variável avaliada, foi realizada por meio do ambiente computacional R (R Core Team 2022), e os demais testes com o auxílio do pacote ExpDes: An R Package for ANOVA and Experimental Designs (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2014).

O modelo estatístico utilizado para realização das análises foi com base no experimento em fatorial simples, instalado conforme o DIC e contendo três repetições. Esse modelo estatístico foi representado por:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_k + (\alpha\beta)_{(ik)} + \varepsilon_{ijk}$$

em que:

y_{ijk} é o valor observado para a variável em estudo referente a j-ésima repetição da combinação do i-ésimo nível do fator A (genótipo) com o k-ésimo nível do fator B (temperatura);

μ é o efeito da média geral;

α_i indica o efeito do i-ésimo nível do fator genótipo na variável resposta;

β_k indica o efeito do k-ésimo nível do fator temperatura na variável resposta;

$(\alpha\beta)_{(ik)}$ indica o efeito da interação do i-ésimo nível do fator genótipo com o k-ésimo nível do fator temperatura;

ε_{ijk} é o erro experimental da parcela ijk , representando todas as demais variáveis que não foram controladas e influenciam na variável resposta.

As esperanças dos quadrados médios foram utilizadas para determinar as significâncias para o teste F, em seguida, realizou-se o agrupamento e comparação das médias pelo teste de Scott e Knott (1974) à 5% de probabilidade.

Quando houve interação significativa entre os fatores genótipo e temperatura, foi realizado o seu desdobramento para o estudo detalhado do efeito dos níveis de um fator dentro do outro.

Foi determinado também a precisão experimental por meio do coeficiente de variação experimental (CV%).

4 RESULTADOS

Para cada variável resposta analisada, foi obtido o coeficiente de variação (CV%), objetivando mensurar a precisão experimental e realizada a análise de variância (ANOVA), com os respectivos quadrados médios (Tabela 4).

Tabela 4 – Resumo da análise de variância referente ao número de dias para o florescimento (NDFL), CICLO, altura de planta (ALT), número de perfilhos (NP), número de panículas (NPA), Esterilidade (EST.), número de espiguetas por panícula (NEPA), massa fresca aérea (MFA) e porcentagem de massa seca aérea (PMSA) de arroz de terras altas.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio								
		NDFL	CICLO	ALT	NP	NPA	EST.	NEPA	MFA	PMSA
Gen.	7	1.173,66*	269,39*	1.383,34*	6,46ns	4,78*	0,02ns	3.269,57*	431,21*	47,66*
Temp.	5	34.595,94*	47.153,01*	11.594,18*	33,84*	53,17*	2,74*	4.543,56*	3.191,86*	207,32*
Gen. x Temp.	35	422,26*	87,64*	114,70*	2,94ns	1,49ns	0,03ns	490,67*	86,74ns	7,34ns
Resíduo	96	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	143	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	5,53	4,63	9,98	29,87	33,30	23,28	24,83	31,20	30,86

GL: grau de liberdade; Gen.: genótipos; Temp.: temperaturas; *significativo pelo teste F à 5% de probabilidade; ns.: não significativo pelo teste F à 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2023).

Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, 2023.

O coeficiente de variação (CV%) das variáveis NDFL, CICLO e ALT ficaram abaixo de 10%, indicando que o experimento teve uma alta precisão experimental (GOMES, 2009).

As variáveis NP, esterilidade e NEPA obtiveram valores de CV de 20 a 30%, por serem características influenciadas por vários fatores, os CVs obtidos foram classificados como de boa precisão (LEI *et al.*, 2017; GUPTA *et al.*, 2022).

Para as características NPA, MFA e PMSA, o CV% foi $> 30\%$, isso provavelmente ocorreu pela influência das baixas temperaturas que obtiveram valores muito baixo na avaliação dessas variáveis, mesmo assim a precisão experimental foi considerada boa para essas características.

Com relação aos resultados da ANOVA mostrou diferenças significativas ($p \leq 0,05$), para a interação genótipos x temperaturas em algumas variáveis resposta. Também houve diferenças significativas para as fontes de variações individuais do fator genótipo e temperatura.

Para as características NP, esterilidade e PMSA, não houve significância para a interação, a diferença estatística foi apenas para o efeito individual das temperaturas. Nas variáveis NPA e MFA, também verificou-se diferenças significativas apenas nos níveis dos fatores individuais, tanto para genótipos quanto para temperaturas. Para as variáveis NDFL, CICLO, ALT e NEPA, a interação entre genótipos x temperaturas foi significativa. Diante das médias obtidas em cada temperatura nas variáveis NP, esterilidade, NPA, MFA e PMSA foram agrupadas, posteriormente realizou-se a comparação das médias (Tabela 5).

Tabela 5 – Valores médios obtidos em cada temperatura do número de perfilhos (NP), esterilidade (EST.), número de panículas (NPA), massa fresca aérea (MFA), porcentagem de massa seca aérea (PMSA), número de dias para o florescimento (NDFL), CICLO, altura de planta (ALT) e número de espiguetas por panícula (NEPA) de oito linhagens elites de arroz de terras altas.

Temperaturas	Características								
	NP	EST. (%)	NPA	MFA (g)	PMSA (%)	NDFL	CICLO (dias)	ALT (cm)	NEPA
12 °C	6b	100d	1c	14,23e	42,03a	167a	200a	38a	63a
17 °C	8a	100d	4b	21,13d	30,15b	139a	189a	69a	50a
20 °C	7a	55b	6a	46,71a	28,58b	105a	140a	94a	82a
25 °C	6b	24a	5a	31,89b	27,42b	84a	114a	93a	70a
29 °C	5b	31a	4b	36,75b	28,22b	81a	108a	92a	88a
32 °C	6b	85c	4b	26,74c	28,14b	70a	95a	72a	66a
Média	6,33	65,83	4	29,58	30,76	107,67	141	76,33	69,83

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não se diferenciam entre si pelo teste de Scott e Knott (1974) à 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2023).

Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, 2023.

Analisando a característica NP, as temperaturas que proporcionaram estatisticamente o maior número de perfilhos foram 17 e 20 °C, com valores de 8 e 7 perfilhos, respectivamente.

Na característica esterilidade, pode inferir estatisticamente que, as temperaturas que causaram as menores taxas de esterilidade de espiguetas foram 25 e 29 °C, com os respectivos valores de 24 e 31% de esterilidade, sendo consideradas ideais para um bom desempenho dessa variável em estudo. Outra observação importante a se ressaltar, é que nas temperaturas de 12 e 17 °C verificou-se 100% de esterilidade de espiguetas.

Para a característica NPA, as temperaturas que influenciaram de maneira positiva, resultando estatisticamente em um maior número de panículas foram: 20 e 25 °C, seguidas das temperaturas de 17, 29 e 32 °C, já a temperatura de 12 °C foi a pior temperatura para o desenvolvimento de panícula. Para variável MFA a temperatura 20 °C resultou em maior massa fresca seguida das temperaturas de 25 e 29 °C. Na variável PMSA apenas a temperatura de 12 °C resultou estatisticamente o melhor desempenho nessa variável com 42,03%.

Diante dos resultados, é possível verificar a grande influência das diferentes temperaturas nas características avaliadas. Em que cada variável se comportou de maneira distinta, mas de modo geral os efeitos das temperaturas baixas, mais precisamente 12 e 17 °C propiciaram um baixo desempenho na maioria das características desejadas por um melhorista. Principalmente no NPA e esterilidade, características essas pertencentes aos componentes de produtividade da cultura do arroz. Outra observação importante a ser feita, é que, em geral pode-se destacar a temperatura de 25 °C, que resultou em um maior número de panículas e uma baixa esterilidade de espiguetas, junto a um bom desempenho nas características MFA e PSMA.

As médias obtidas dos genótipos nas variáveis NPA, MFA e PMSA foram agrupadas, posteriormente comparadas pelo teste de média, com o intuito de verificar a variabilidade genética existente entre os diferentes genótipos nas diferentes características (Tabela 6).

Tabela 6 – Valores obtidos do número de panículas (NPA) e massa fresca aérea (MFA), porcentagem de massa seca aérea (PMSA), esterilidade (EST.), número de perfilhos (NP), número de dias para o florescimento (NDFL), CICLO, altura de planta (ALT) e número de espiguetas por panícula (NEPA) dos genótipos de arroz de terras altas, na média das seis temperaturas avaliadas.

Genótipos	Características								
	NPA	MFA (g)	PMSA (%)	EST. (%)	NP	NDFL	CICLO (dias)	ALT (cm)	NEPA
BRSMG Caçula	5a	25,77b	33,31a	68,64a	7a	94a	133a	90a	50a
CMG ERF 81-2	4b	29,63b	29,56b	63,05a	6a	100a	140a	83a	86a
CNAx20665-B-6 Trat. 81 EO	4b	28,09b	30,65b	65,72a	6a	117a	145a	74a	78a
CNAx20658-B-12 Trat. 73 EO	4b	31,77b	29,78b	67,67a	7a	111a	142a	78a	63a
1P 95-8 CNAx18360-B-3-B-B	5a	40,14a	30,82b	63,57a	7a	118a	145a	79a	64a
OBS1819-126-9 Trat. 7 do Preliminar	4b	25,88b	29,93b	69,07a	6a	104a	140a	68a	58a
P85-15-CNAx18874-B-5-6 Trat. 17 do Preliminar	4b	30,24b	32,03a	60,71a	5a	107a	141a	77a	86a
CNAx20663-B-14 Trat. 78 EO	4b	25,06b	29,95b	68,80a	6a	111a	141a	62a	75a
Média	4,25	29,57	30,75a	65,90	6,25	107,75	140,87	76,37	70

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não se diferenciam entre si pelo teste de Scott e Knott (1974) à 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2023).

Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, 2023.

Analisando a característica NPA, pode-se inferir estatisticamente que os genótipos com maior desempenho nessa variável foram o BRSMG Caçula e 1 P 95-8 CNAx18360-B-3-B-B, ambas obtiveram um número total de 5 panículas. Essa característica é de extrema importância, pois a mesma possui influência direta na produtividade final da cultura do arroz.

Na característica MFA, o genótipo 1P 95-8 CNAx18360-B-3-B-B apresentou um bom desempenho em relação aos demais, já na variável PMSA os genótipos que destacaram foram BRSMG Caçula e P85-15-CNAx18874-B-5-6Trat.17 do Preliminar.

Com base nos resultados, o genótipo 1P 95-8 CNAx18360-B-3-B-B merece destaque, pois o desempenho tanto na característica NPA e MFA foi maior em relação aos demais genótipos avaliados. Com base nesse resultado, esse genótipo tem um grande potencial para ser recomendado e cultivado no sistema de terras altas.

Com base nas médias obtidas da característica NDFL, realizou-se o desdobramento da interação genótipos x temperaturas, onde as médias foram agrupadas e testadas, com o objetivo de verificar o efeito dessa interação na variável avaliada (Tabela 7).

Tabela 7 – Valores médios obtidos na interação genótipos x temperaturas da característica número de dias para o florescimento (NDFL) de linhagens elites de arroz de terras altas.

Genótipos	Temperaturas						Média
	12 °C	17 °C	20 °C	25 °C	29 °C	32 °C	
BRSMG Caçula	130aC	133aC	101aB	72aA	69aA	61aA	94,33
CMG ERF 81-2	138bD	135aD	101aC	81aB	80bB	64aA	99,83
CNAx20665-B-6 Trat. 81 EO	210eD	140aC	105aB	85aA	82bA	75bA	116,17
CNAx20658-B-12 Trat. 73 EO	183dD	143aC	103aB	82aA	81bA	73bA	110,83
1P 95-8 CNAx18360-B-3-B- B	210eE	141aD	111aC	92aB	86bB	70bA	118,33
OBS1819-126-9 Trat. 7 do Preliminar	144bD	139aD	104aC	82aB	83bB	70bA	103,67
P85-15-CNAx18874- B-5-6 Trat. 17 do Preliminar	158cD	139aC	108aB	84aA	79bA	72bA	106,67
CNAx20663-B-14 Trat. 78 EO	160cE	145aD	105aC	92aB	85bA	77bA	110,67
Média	166,63	139,38	104,75	83,75	80,63	70,25	-

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não se diferem entre si pelo teste de Scott e Knott (1974) à 5% de probabilidade; médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha são estatisticamente iguais pelo teste Scott e Knott (1974) à 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2023).

Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, 2023.

A partir dos resultados do teste de média, pode-se inferir estatisticamente as seguintes afirmativas do desdobramento de genótipos dentro de cada nível de temperatura: nas temperaturas de 17, 20 e 25 °C, não houve diferença estatística entre os genótipos, ou seja, todos os genótipos apresentaram o mesmo desempenho na variável NDFL. Na temperatura de 12 °C,

o genótipo que se destacou em relação aos demais foi o BRSMG Caçula, onde precisou de 130 dias para florescer. Os genótipos que também merecem destaque em relação aos demais são CMG ERF 81-2 e OBS1819-126-9 Trat. 7 do Preliminar, que necessitaram de 138 e 144 dias, respectivamente, para o florescimento. Na temperatura de 29 °C, apenas um genótipo obteve o melhor desempenho na variável NDFL, o genótipo que se destacou foi o BRSMG Caçula, levando 69 dias para o florescimento. Com relação a temperatura de 32 °C, os genótipos que precisaram de menos dias para florescer foram BRSMG Caçula e CMG ERF 81-2 com 61 e 64 dias, respectivamente.

Os resultados evidenciaram que os genótipos possuem variabilidade genética entre eles, onde dependendo da temperatura alguns apresentam uma melhor performance na característica NDFL. O NDFL é uma característica de extrema importância no melhoramento genético de arroz de terras altas, uma vez que, quanto menor o dia para o florescimento, mais precoce é o genótipo, conseqüentemente menos dias ficará no campo. Outra questão a se levantar é a respeito das baixas temperaturas de 12 e 17 °C, no qual, os genótipos apresentaram um longo NDFL, mostrando que nessa faixa de temperatura esses genótipos não devem ser cultivados.

Com relação ao desdobramento de temperaturas dentro de cada nível do genótipo, pode-se destacar estatisticamente as seguintes afirmativas: para os genótipos BRSMG Caçula, CNAX20665-B-6Trat.81EO, CNAX20658-B-12 Trat.73EO e P85-15-CNAX18874-B-5-6 Trat.17 do Preliminar, as melhores temperaturas que resultaram em um menor NDFL em relação aos demais foram 25, 29 e 32 °C. Para os genótipos CMG ERF 81-2, 1P95-8CNAX18360-B-3-B-B, OBS1819-126-9Trat. 7 do Preliminar a temperatura considerada ideal no desempenho desses genótipos na variável NDFL foi de 32 °C. Acerca do genótipo CNAX20663-B-14Trat.78EO, verificou-se duas temperaturas que causaram um melhor desempenho em relação aos demais no NDFL, sendo de 29 e 32 °C.

Diante desses resultados nota-se que o desempenho de determinado genótipo na característica NDFL, vai depender de qual temperatura exercerá sobre ele, mas em um todo as temperaturas consideradas mais quentes, a partir de 25 °C diminuirá significativamente o tempo de florescimento do genótipo, tornando-o mais precoce.

Diante das médias obtidas na variável CICLO, procedeu-se o desdobramento da interação genótipos x temperaturas, onde as médias foram agrupadas e testadas, visando verificar o efeito dessa interação na variável avaliada (Tabela 8).

Tabela 8 – Valores médios obtidos na interação genótipos x temperaturas da variável CICLO em dias de linhagens elites de arroz de terras altas.

Genótipos	Temperaturas						Média
	12 °C	17 °C	20 °C	25 °C	29 °C	32 °C	
BRSMG Caçula	172aD	183aD	139aC	113aB	96aA	93aA	132,67
CMG ERF 81-2	195bD	187aD	144aC	113aB	109aB	93aA	140,17
CNAx20665-B-6 Trat. 81 EO	210cE	194bD	142aC	115aB	109aB	98aA	144,67
CNAx20658-B-12 Trat. 73 EO	210cE	194bD	135aC	115aB	106aB	95aA	142,50
1P 95-8 CNAx18360-B-3-B- B	211cE	194bD	142aC	116aB	111aB	98aA	145,33
OBS1819-126-9 Trat. 7 do Preliminar	200bE	183aD	140aC	113aB	111aB	93aA	140
P85-15- CNAx18874-B-5-6 Trat. 17 do Preliminar	208cE	186aD	138aC	113aB	109aB	95aA	141,50
CNAx20663-B-14 Trat. 78 EO	195bD	194bD	139aC	116aB	111aB	92aA	141,17
Média	200,13	189,38	139,88	114,25	107,75	94,63	-

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não se diferem entre si pelo teste de Scott e Knott (1974) à 5% de probabilidade; médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha são estatisticamente iguais pelo teste Scott e Knott (1974) à 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2023).

Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, 2023.

Com base nos resultados obtidos, pode-se inferir estatisticamente as seguintes afirmativas do desdobramento de genótipos dentro de cada nível de temperatura: verificou-se diferença significativa dos genótipos apenas nas temperaturas de 12 e 17 °C, nas demais temperaturas os genótipos apresentaram o mesmo desempenho. Na temperatura de 12 °C, apenas o genótipo BRSMG Caçula obteve o melhor desempenho em relação aos demais na variável CICLO, com 172 dias. Outros genótipos que merecem destaque em comparação aos

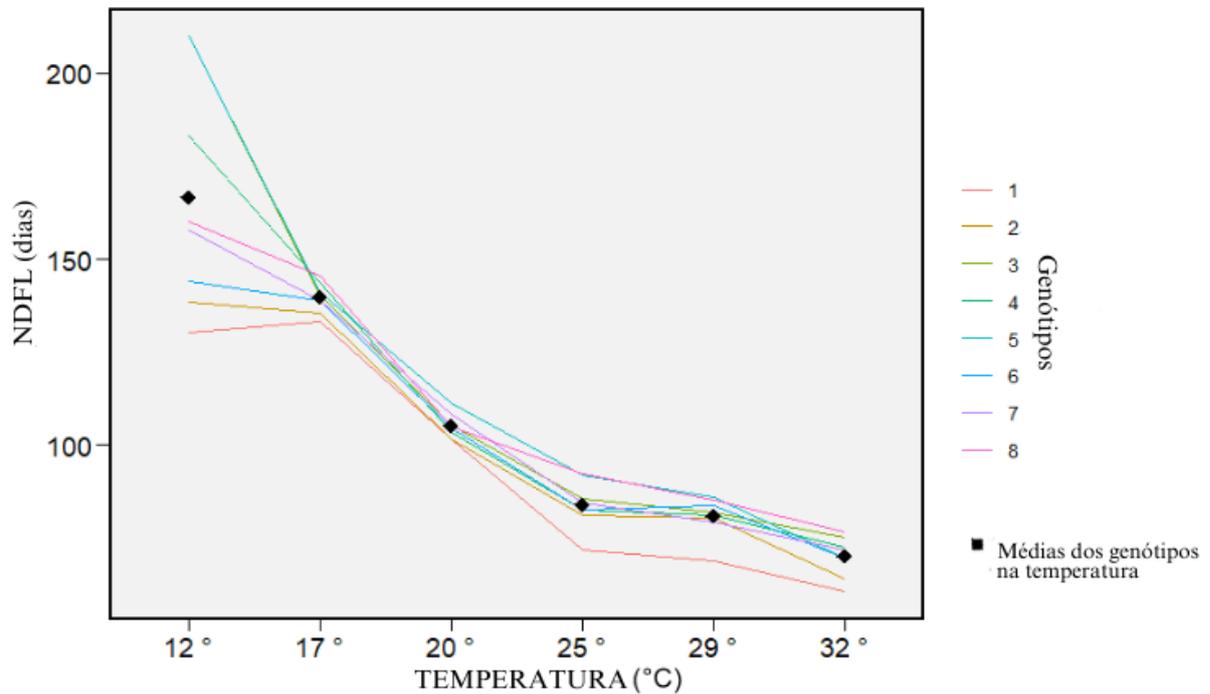
demais são CMG ERF 81-2, OBS1819-126-9Trat.7 do Preliminar e CNAx20663-14Trat.78EO, com os respectivos valores de 195, 200 e 195 dias. Com relação a temperatura de 17 °C, os genótipos BRSMG Caçula, CMG ERF 81-2, OBS1819-126-9Trat.7 do Preliminar e P85-15-CNAX18874-B-5-6Trat.17 do Preliminar, resultaram em um menor CICLO em relação aos demais com 183, 187, 183 e 186 dias.

Esses resultados demonstram que nas baixas temperaturas, alguns genótipos conseguiram reduzir seu CICLO em relação aos demais, evidenciando a variabilidade existentes entre esses materiais genéticos. Mas vale ressaltar que mesmo reduzindo o CICLO de alguns genótipos, o CICLO ainda ficou longo. Outra observação importante a se fazer é que as baixas temperaturas aumentam drasticamente o CICLO da cultura, deste modo não se deve recomendar o cultivo de arroz nas temperaturas de 12 e 17 °C.

Com relação ao desdobramento de temperaturas dentro de cada nível do genótipo, pode-se realizar estatisticamente as seguintes considerações: as melhores temperaturas em relação as demais que resultaram em um menor CICLO no genótipo BRSMG Caçula foram de 29 e 32 °C com 96 e 93 dias, respectivamente. Nos demais genótipos a temperatura que gerou um menor CICLO em comparação as demais foi de 32 °C, seguida de 25 e 29 °C. De modo geral todos os genótipos reduziram seu CICLO de maneira significativa, ao longo do aumento da temperatura e, ainda a partir da temperatura de 25 °C houve uma diminuição de maneira expressiva no CICLO da cultura.

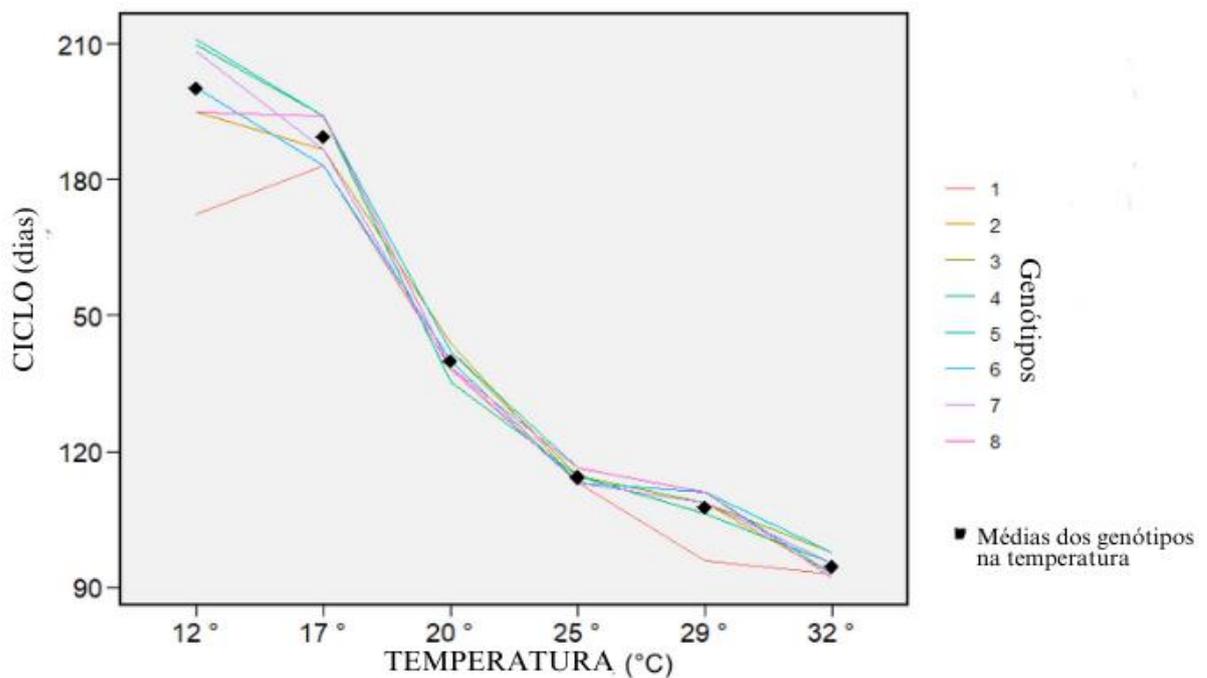
Além do agrupamento e teste de médias realizado para as características NDFL e CICLO, criou-se também o gráfico do efeito da interação dos fatores genótipos x temperaturas (Figura 1 e 2).

Figura 1 – Interação genótipos x temperaturas da característica número de dias para o florescimento (NDFL) de linhagens elites de arroz de terras altas.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 2 – Interação genótipos x temperaturas da variável CICLO de linhagens elites de arroz de terras altas.



Fonte: Do autor (2023).

Diante dos gráficos, nota-se que da mesma maneira que ocorreu na característica NDFL, onde com o aumento da temperatura diminuiu o número de dias para o florescimento, para a variável CICLO, nota-se também que, ao longo do aumento da temperatura há uma redução expressiva do CICLO da cultura e, ainda é bem provável que temperaturas acima de 32 °C o CICLO continuará a reduzir. Esses resultados evidenciam a grande influência negativa causada pelas baixas temperaturas nas linhagens de arroz nesse caso de 12 e 17 °C, elevando e muito o tempo de colheita da cultura, além dos outros efeitos negativos causados nas outras características.

Diante das médias obtidas na característica altura de planta, efetuou-se o desdobramento da interação genótipos x temperaturas, onde as médias foram agrupadas e testadas, com o intuito de verificar o efeito dessa interação (Tabela 9).

Tabela 9 – Valores médios obtidos na interação genótipos x temperaturas da característica altura de planta (cm) de linhagens elites de arroz de terras altas.

Genótipos	Temperaturas						Média
	12 °C	17 °C	20 °C	25 °C	29 °C	32 °C	
BRSMG Caçula	39aC	88aB	102,67aA	108,67aA	110aA	93,67aB	90,33
CMG ERF 81- 2	42,73aC	71,50bB	99,33aA	94aA	99,33aA	90,33aA	82,87
CNAx20665- B-6 Trat. 81 EO	32,50aC	65,33bB	94aA	94aA	92,67aA	64,33bB	73,80
CNAx20658- B-12 Trat. 73 EO	40,58aC	67,27bB	104,33aA	97,67aA	96aA	63,00bB	78,14
1P 95-8 CNAx18360- B-3-B-B	40,63aD	70bC	101aA	85bB	97,33aA	82,67aB	79,44
OBS1819- 126-9 Trat. 7 do Preliminar	31,57aC	61,67bB	82,67bA	89bA	77bA	66,33bB	68,04
P85-15- CNAx18874- B-5-6 Trat. 17 do Preliminar	40,72aC	70,17bB	94,33aA	96,33aA	95,33aA	62,67bB	76,59
CNAx20663- B-14 Trat. 78 EO	34aC	55,50bB	75bA	78bA	72bA	56,33bB	61,80
Média	37,72	68,68	94,17	92,83	92,46	72,42	-

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não se diferem entre si pelo teste de Scott e Knott (1974) à 5% de probabilidade; médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha são estatisticamente iguais pelo teste Scott e Knott (1974) à 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2023).

Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, 2023.

Diante dos resultados obtidos da altura de planta, estatisticamente é possível realizar as seguintes observações do desdobramento de genótipos dentro de cada nível de temperatura: na

temperatura de 12 °C, todos os genótipos obtiveram o mesmo desempenho na variável altura de planta e ainda, as plantas ficaram com a altura bem reduzida abaixo de 50 cm. Para a temperatura de 17 °C, apenas um genótipo teve um melhor desempenho em relação aos demais na altura de planta, sendo o BRSMG Caçula com 88 cm. Os genótipos que obtiveram o melhor desempenho de altura de planta na temperatura de 20 °C foram BRSMG Caçula, CMG ERF81-2, CNAx20665-B-6Trat.81EO, CNAx20658-B-12 Trat.73EO, 1P 95-8 CNAx18360-B-3-B-B e P85-15-CNAx18874-B-5-6Trat.17 do Preliminar, com uma amplitude de altura variando de 94 a 104,33 cm. Os genótipos OBS1819-126-9Trat. 7 do Preliminar e CNAx20663-B-14 Trat. 78 EO não apresentaram um bom desempenho nessa temperatura em relação aos demais, com altura de 82,67 e 75 cm, respectivamente. Com relação a temperatura de 25 °C, os genótipos que desempenharam uma maior altura de planta em relação aos demais foram BRSMG Caçula, CMG ERF81-2, CNAx20665-B-6Trat. 81EO, CNAx20658-B-12Trat.73EO e P85-15-CNAx18874-B-5-6Trat. 17 do Preliminar, com uma amplitude média de 94 a 108,67 cm. Na temperatura de 29 °C, os genótipos que apresentaram as maiores altura em relação aos demais foram BRSMG Caçula, CMG ERF81-2, CNAx20665-B-6Trat.81EO, CNAx20658-B-12Trat.73EO, 1P95-8CNAx18360-B-3-B-B e P85-15-CNAx18874-B-5-6Trat.17 do Preliminar, com uma variação média de 92,67 a 110 cm. Os genótipos OBS1819-126-9Trat.7 do Preliminar e CNAx20663-B-14Trat.78EO não apresentaram um bom desempenho nessa temperatura com médias de 77 e 72 cm, respectivamente. Para a temperatura de 32 °C, os genótipos com melhor desempenho na variável altura em relação aos demais foram BRSMG Caçula, CMG ERF81-2 e 1P 95-8 CNAx18360-B-3-B-B obtendo respectivamente 93,67; 90,33 e 82,67 cm.

Com base nos resultados apresentados, é de extrema importância ressaltar a grande influência das temperaturas no desempenho dos genótipos na variável altura de planta, outra questão importante a ser observada é a variabilidade genética existente entre as linhagens, com destaque para cultivar BRSMG Caçula que em todas as temperaturas foi a que apresentou maior altura em relação as demais linhagens. Na seleção de genótipos em um programa de melhoramento genético de arroz de terras altas, vale ressaltar a importância do porte da planta a ser selecionada, pois plantas que ultrapassem 100 cm de altura podem favorecer o acamamento. Evento esse não desejável no cultivo de arroz, mas também não se deve recomendar plantas com porte muito baixo < 60 cm, pois pode prejudicar principalmente no

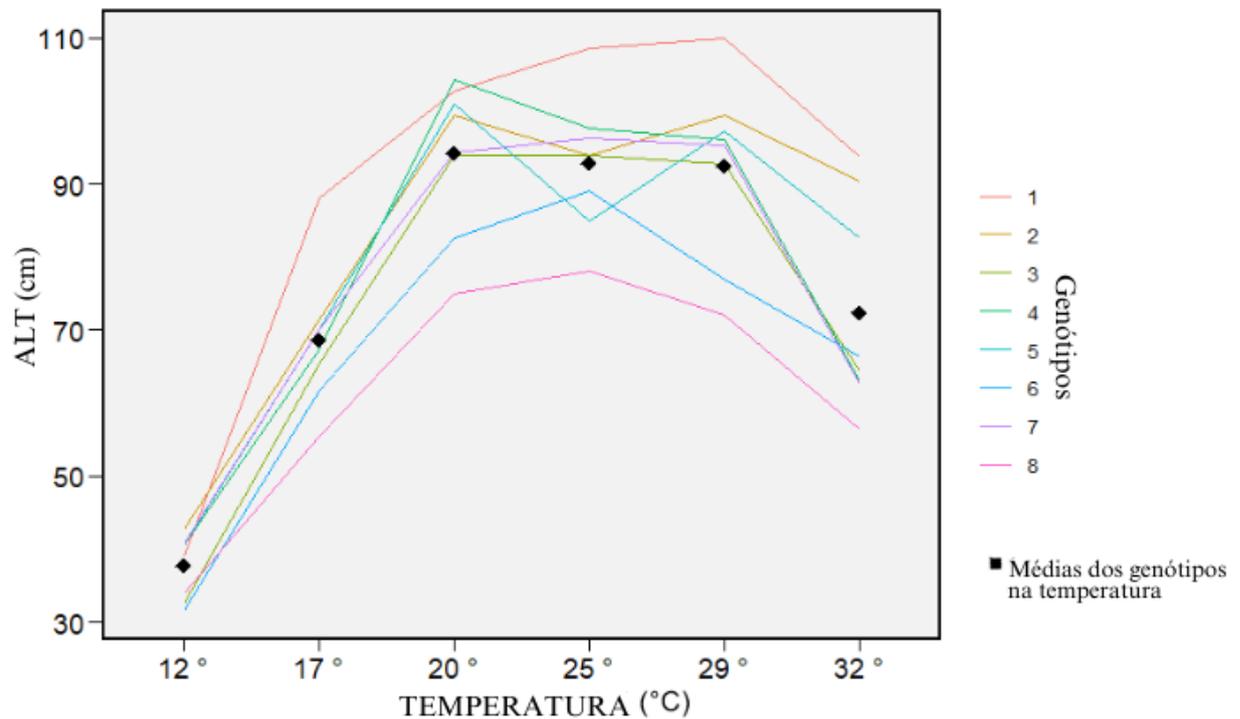
momento da colheita mecanizada e podendo influenciar no tamanho da panícula resultando em baixas produtividades.

Com relação ao desdobramento de temperaturas dentro de cada nível do genótipo na variável altura de planta, é possível realizar as seguintes afirmações: as temperaturas de 20, 25 e 29 °C, se destacaram em relação as demais causando melhor desempenho para os genótipos BRSMG Caçula, CNAx20665-B-6Trat.81EO, CNAx20658-B-12Trat.73EO, OBS1819-126-9Trat.7 do Preliminar, CNAx20663-B-14Trat. 78EO e P85-15-CNAx18874-B-5-6Trat.17 do Preliminar. Nas temperaturas de 20, 25, 29 e 32 °C, a linhagem CMG ERF 81-2 apresentou maior altura em relação a temperatura de 12 e 17 °C. As maiores médias de altura encontradas no genótipo 1P95-8CNAx18360-B-3-B-B, foram nas temperaturas de 20 °C e 29 °C com 101 e 97,33 cm, respectivamente.

Nota-se a enorme influência da temperatura no desempenho de cada genótipo, evidenciado a dependência entre os níveis dos fatores no desempenho da variável altura de planta, sendo necessário selecionar os genótipos com base nas temperaturas que conseguiu expressar seu máximo potencial genético. Em geral as temperaturas consideradas baixas de 12 e 17 °C são desfavoráveis para todas essas linhagens avaliadas, em relação a característica agrônômica altura de planta.

Na Figura 3, pode ser notado o gráfico do efeito da interação dos fatores na variável altura de planta (Figura 3).

Figura 3 – Interação genótipos x temperaturas da variável altura de planta de linhagens elites de arroz de terras altas.



Fonte: Do autor (2023).

No gráfico é possível observar a grande variabilidade genética existente entre os genótipos nas diferentes temperaturas, é bem notório o baixo desempenho dos genótipos nas temperaturas amenas de 12 °C e 17 °C. Também é possível visualizar que nas temperaturas de 20 °C 25 °C e 29 °C a maioria dos genótipos expressaram seu maior potencial na característica altura de planta.

Na Tabela 10 estão representados os valores médios da variável NEPA, de acordo com o desdobramento da interação genótipos x temperaturas.

Tabela 10 – Valores médios obtidos na interação genótipos x temperaturas da variável número de espiguetas por panícula (NEPA) de linhagens elites de arroz de terras altas.

Genótipos	Temperaturas						Média
	12 °C	17 °C	20 °C	25 °C	29 °C	32 °C	
BRSMG Caçula	43bA	33aA	53bA	54bA	64bA	50aA	49,50
CMG ERF 81- 2	86aA	66aA	91aA	71bA	109aA	93aA	86
CNAx20665- B-6 Trat. 81 EO	49bB	61aB	100aA	92aA	102aA	67aB	78,50
CNAx20658- B-12 Trat. 73 EO	65aB	43aB	82aA	53bB	89bA	46aB	63
1P 95-8 CNAx18360- B-3-B-B	54bA	46aA	78aA	57bA	66bA	83aA	64
OBS1819- 126-9 Trat. 7 do Preliminar	40bB	46aB	46bB	64bA	81bA	69aA	57,67
P85-15- CNAx18874- B-5-6 Trat. 17 do Preliminar	76aB	59aB	115aA	96aA	114aA	55aB	85,83
CNAx20663- B-14 Trat. 78 EO	88aA	47aA	90aA	77aA	82bA	66aA	75
Média	62,63	50,12	81,88	70,50	88,38	66,13	-

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não se diferem entre si pelo teste de Scott e Knott (1974) à 5% de probabilidade; médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha são estatisticamente iguais pelo teste Scott e Knott (1974) à 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2023).

Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, 2023.

Com base nos resultados atingidos na variável número de espiguetas por panícula, pode-se inferir estatisticamente as seguintes afirmativas em relação ao desdobramento de genótipos

dentro de cada nível de temperatura: na temperatura de 12 °C, os genótipos que possuíram maiores valores na variável NEPA em relação aos demais foram CMG ERF81-2, CNAx20658-B-12Trat.73EO, P85-15-CNAx18874-B-5-6Trat.17 do Preliminar e CNAx20663-B-14Trat.78EO com uma variação média de 65 a 88 espiguetas por panícula. Com relação a temperatura de 20 °C, os melhores genótipos em relação aos demais foram CMG ERF81-2, CNAx20665-B-6Trat.81EO, CNAx20658-B-12Trat.73EO, 1P95-8 CNAx18360-B-3-B-B, P85-15-CNAx18874-B-5-6Trat.17 do Preliminar e CNAx20663-B-14 Trat.78EO. As linhagens BRSMG Caçula e OBS1819-126-9 Trat. 7 do Preliminar apresentaram um baixo desempenho em relação as demais nessa temperatura com valores obtidos de 53 e 46 espiguetas, respectivamente. As linhagens CNAx20665-B-6Trat.81EO, P85-15-CNAx18874-B-5-6Trat.17 do Preliminar e CNAx20663-B-14 Trat. 78 EO se destacaram em relação as demais na temperatura de 25 °C com 92; 96 e 77 espiguetas, respectivamente. Para a temperatura de 29 °C, as linhagens que apresentaram melhores desempenhos em relação as demais foram CMG ERF81-2, CNAx20665-B-6Trat.81EO e P85-15-CNAx18874-B-5-6Trat.17 do Preliminar com 109; 102 e 114 espiguetas, respectivamente. Não houve nenhuma diferença estatística entre os genótipos nas temperaturas de 17 °C e 32 °C no número de espiguetas por panícula. Diante desses resultados, nota-se a variabilidade existente entre as diferentes linhagens e, o desempenho de cada uma sendo dependente da temperatura exercida sobre elas.

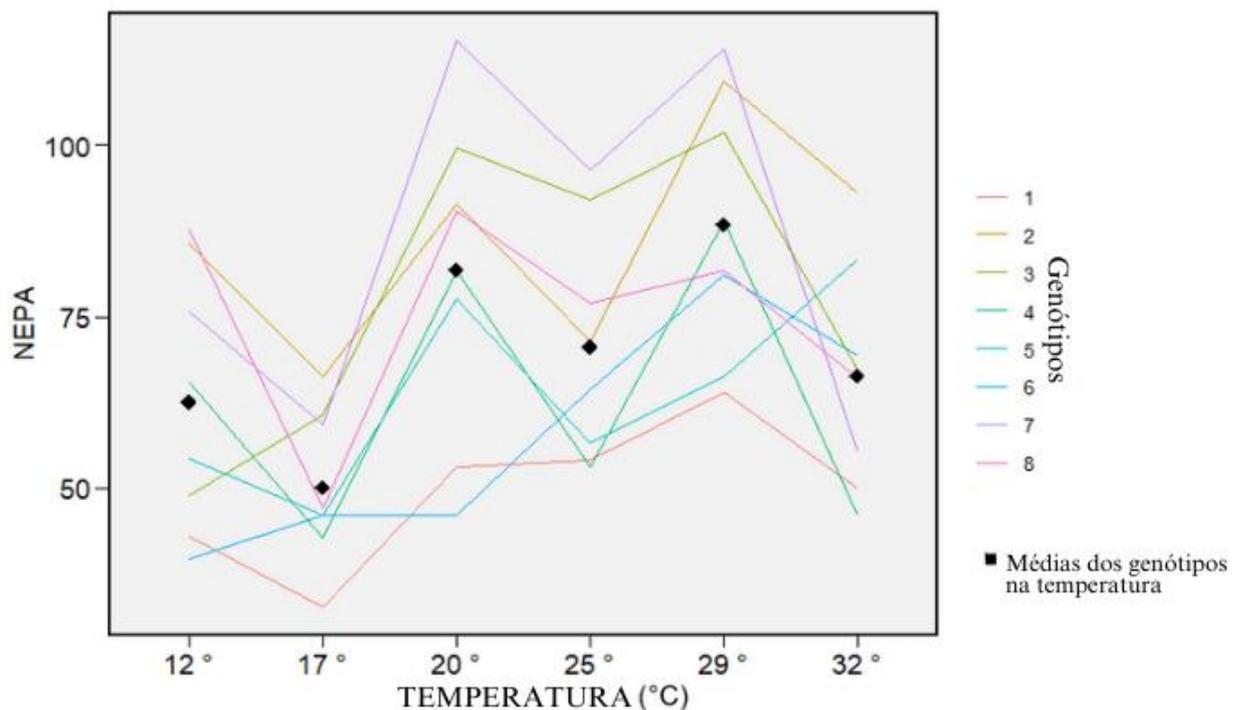
A variável NEPA também merece destaque em um programa de melhoramento de arroz, pelo fato dessa característica estar diretamente relacionada com a produtividade final da cultura, podendo classificar essa característica com uma das principais no momento da seleção pelo melhorista.

Acerca do desdobramento de temperaturas dentro de cada nível do genótipo na variável NEPA, é possível inferir estatisticamente as seguintes observações: para os genótipos BRSMG Caçula, CMG ERF81-2, 1P95-8CNAx18360-B-3-B-B, CNAx20663-B-14 Trat. 78 EO, todas as temperaturas avaliadas foram estatisticamente iguais entre elas no desempenho dessas linhagens na variável NEPA. Para as linhagens CNAx20665-B-6Trat.81EO e P85-15-CNAx18874-B-5-6Trat.17 do Preliminar, as temperaturas que causaram um maior desempenho em relação as demais na variável NEPA foram de 20 °C, 25 °C e 29 °C. Com relação a linhagem CNAx20658-B-12Trat.73EO, as melhores temperaturas em relação as demais são de 20 °C e 29 °C com 82 e 89 espiguetas, respectivamente. Para o genótipo OBS1819-126-9Trat.7 do

Preliminar, as melhores temperaturas comparadas as demais com efeito no NEPA foram de 25 °C e 29 °C com os respectivos valores de 64; 81 e 69 espiguetas.

Com base nesse resultado, pode-se verificar estatisticamente que o desempenho de alguns genótipos é influenciado de maneira positiva ou negativa pela variação de temperatura, por outro lado alguns genótipos apresentam o mesmo desempenho na variável NEPA ao longo da variação de temperatura. O comportamento da interação genótipo x temperatura na variável NEPA, pode ser visualizado na Figura 4.

Figura 4 – Interação genótipos x temperaturas da variável número de espiguetas por panícula (NEPA) de linhagens elites de arroz de terras altas.



Fonte: Do autor (2023).

Ao visualizar o gráfico dessa interação, perceber-se a dependência entre os níveis dos fatores genótipo e temperatura, demonstrando também a grande variabilidade genética existente entre as linhagens avaliadas para característica NEPA.

5 DISCUSSÃO

A precisão experimental com base no coeficiente de variação (CV%) é dependente do tipo de experimento e da variável resposta em estudo, a exemplo, valores de produção de grãos expressam maior variabilidade do que valores de altura de planta. Em geral, existem vários modelos de classificação da precisão com base no CV%, por exemplo, quando o CV é $\leq 10\%$ indica ótima precisão, $> 10\%$ e $\leq 20\%$ de média precisão, $> 20\%$ e $\leq 30\%$ de baixa precisão, enquanto, maior $> 30\%$ classificado como muito baixa precisão (GOMES, 2009).

Os maiores coeficientes de variação encontrados principalmente nas variáveis NP, NPA, MFA e PMSA em comparação a NDFL, CICLO e ALT (Tabela 4), pode ser explicado pelo fato de estarem sujeitos a grande variabilidade em decorrência da influência de diversos fatores, como os materiais genéticos e tratamentos utilizados, o método de avaliação, entre outros (LEI *et al.*, 2017; GUPTA *et al.*, 2022). Em experimento realizado por Mendes *et al.* (2021), avaliando o efeito e comportamento de linhagens de arroz de terras altas sob condições de déficit hídrico, encontraram valores de CV% acima de 38% para as variáveis inserção de panícula e porcentagem de espiguetas estéreis.

O rendimento final de grãos em um dado ambiente é determinado por componentes de rendimento desenvolvidos em diferentes fenofase da cultura, esses componentes são influenciados pelas condições ambientais que a planta experimenta durante suas respectivas fases (SHRESTHA *et al.*, 2012), dentre os componentes estão o número de panículas (número de perfilhos reprodutivos), número de espiguetas por panícula, esterilidade, e peso de 100 grãos (MOE *et al.*, 2019).

O número de perfilhos (NP) é afetado pelas alterações ambientais exercidas sobre a planta de arroz como as variações de temperatura e umidade no meio em que se encontra (HAYATI *et al.*, 2023). No presente estudo o NP foi influenciado pelas diferentes condições de temperatura, no qual, as temperaturas de 17 e 20 °C apresentaram o maior número de perfilhos. Em estudo realizado por Islam e Hasan (2021), avaliando diferentes genótipos sob condição de três temperaturas de 28, 30 e 32 °C, verificaram diferença significativa no número total de perfilhos entre os genótipos avaliados. Em pesquisa analisando as alterações fisiológicas e agrônômicas de variedades elites de arroz visando adaptação as altas temperaturas, verificou-se que, em condições de estresse térmico com temperaturas variando de 35 a 39 °C, o número de perfilhos foi alterado em comparação as condições normais de temperatura variando de 25 a 30 °C (EZIN *et al.*, 2022).

Temperaturas abaixo de 17 °C causam efeitos negativos nos componentes de rendimento do arroz, dentre os efeitos, ocorre a má execução da panícula, deformação nos ápices das panículas e emissão considerada relativamente lenta (CRUZ; MILACH; FEDERIZZI, 2006). Em experimento conduzido por Soda *et al.* (2018), verificaram que o número de panículas foi 35% inferior junto a um rendimento total menor de 86% por planta sob condições de estresse térmico de 40 °C dia/35 °C noite durante 15 dias de tratamento do que a 28 °C.

Diante das pesquisas citadas, os resultados obtidos (Tabela 5), sugerem que o número de panículas (NPA) é fortemente influenciado pela variação de temperatura tanto baixas quanto altas, pelo fato de os resultados apontarem que nas temperaturas de 12 e 17 °C consideradas baixas e, 29 e 32 °C consideradas como altas, o número de panícula reduziu em comparação as temperaturas de 20 e 25 °C que apresentaram o maior desempenho nessa variável. Além disso houve variabilidade genética entre os genótipos avaliados, mostrando que a depender do material genético a ser cultivado o número de panículas também sofrerá alterações, com base nos resultados, dois genótipos se destacaram nessa variável o BRSMG Caçula e 1P95-8CNAX18360-B-3-B-B. Diante desses resultados, no momento da seleção o melhorista deve-se atentar nas condições ambientais da região, selecionando os melhores materiais na condições ideais para o cultivo, de forma, alcançar o maior número de perfilhos reprodutivos e consequentemente maiores produtividades.

Com relação a esterilidade de espiguetas, os resultados obtidos evidenciaram uma grande influência das temperaturas sob essa característica (Tabela 5). Observou-se 100% de esterilidade, ou seja, não houve nenhum enchimento de grãos nas temperaturas baixas de 12 e 17 °C, vale ressaltar também o alto valor de esterilidade ocorrido na temperatura alta de 32 °C com 85% de esterilidade.

A ocorrência de baixas temperaturas principalmente na fase reprodutiva do arroz, causa sérios danos na produção, pelo fato de induzir altas taxas de esterilidade de espiguetas (HAYASE; SATAKE; NISHIYAMA, 1969; MARTINS *et al.*, 2007; SHIMONO; KANDA, 2008). Estudos evidenciaram uma redução do grão de pólen do arroz e uma diminuição na porcentagem de pólen fértil sob condições de baixas temperaturas comparadas as condições normais de temperatura (JIA *et al.*, 2022), explicação essa, em consonância com o observado no comportamento fenotípico das linhagens estudadas.

As altas temperaturas também ocasionam altas esterilidade de espiguetas, influenciando assim na produção final do arroz (NGUYEN *et al.*, 2014; CHIDAMBARANATHAN *et al.*,

2021). Em pesquisa realizada por Jagadish, Craufurd, Wheeler (2007) constataram que a fertilidade das espiguetas foi reduzida em 7% por cada aumento de um grau acima de 30 °C em uma variedade de arroz denominada de IR64.

A interação significativa existente entre genótipos e temperaturas, verificada nas variáveis NEPA, ALT, NDFL e CICLO (Tabela 4), e pode ser explicado pelo fato de essas características serem quantitativas (QTL's) (YAN *et al.*, 1998), ou seja, o desenvolvimento das características morfológicas ocorrem através das ações e interações de muitos genes, que podem comportar de diferentes maneiras com grande influencia ambiental (SINGH *et al.*, 2022).

A variável NEPA foi fortemente influenciada pelas variações de temperaturas exercida sobre os diferentes genótipos, evidenciando assim a variabilidade genética existente entre os materiais utilizados.

Em estudos realizados por Yoshida, já destacava em 1973, avaliando os efeitos de diferentes temperaturas na variedade IR8, uma diminuição no número de espiguetas por panícula ao longo do aumento das temperaturas, com valores de 272, 227, 207 e 157 nas respectivas temperaturas de 22, 25, 28 e 31 °C, o qual não corroborou com os resultados aqui obtidos, isso pode ser explicado pelos diferentes genótipos utilizados no experimento em relação ao desempenho de apenas um genótipo avaliado na pesquisa do autor, mostrando assim a diversidade genética existentes entre os genótipos melhorados.

Experimento utilizando três diferentes épocas de semeadura (30 de março; 18 de maio, e 5 de julho) junto a diferentes genótipos, realizado na Universidade Agrícola de Huazhong, Wuhan na China, dentre os componentes avaliados o número de espiguetas por panícula foi fortemente influenciado pelas diferentes temperaturas durante as diferentes épocas, no qual a temperatura elevada aumentou e a baixa diminuiu o número de espiguetas por panícula, evidenciou-se também interação genótipo x ambiente nessa variável (KOVI *et al.*, 2011).

Com relação a característica ALT é recomendado que as plantas no sistema de terras altas não ultrapassem 100 cm de altura (SAITO *et al.*, 2018; CASTRO *et al.*, 2019), essa recomendação é feita pelo fato de plantas muito altas correrem um grande risco da ocorrência do acamamento.

Os resultados apresentados (Tabela 9), indicam que a altura da maioria dos genótipos nas diferentes temperaturas ficou abaixo de 100 cm, embora os genótipos BRSMG Caçula, CNAX20658-B-12Trat. 73EO e 1P 95-8CNAX18360-B-3-B-B terem obtidos valores > 100 cm em algumas temperaturas, mesmo assim esses valores são considerados adequados, sendo o

maior valor de 110 cm para o genótipos BRSMG Caçula na temperatura de 29 °C. A variação da altura abaixo da recomendada verificada na maioria dos genótipos pode ser explicado pelo fato de trabalhar com genótipos elites do programa MelhorArroz, no qual durante o processo de seleção até chegar no valor de cultivo e uso (VCU) essa adequação de altura < 100 cm foi selecionada.

Os valores médios de NDFL obtidos (Tabela 7), apresentaram uma grande variação desses valores apresentados pelos genótipos nas diferentes temperaturas, pode-se destacar que em todas as temperaturas o BRSMG Caçula mostrou-se superior aos outros genótipos com média final nas temperaturas de aproximadamente 94 dias, vale resaltar que as temperaturas de 12 e 17 °C elevaram muito o NDFL, influenciando na média final de todos os materiais.

A precocidade de um cultivar de arroz é determinada principalmente pelo número de dias até o florescimento, por ser considerado um indicador mais preciso que a época de colheita, deste modo, genótipos considerados precoces são aqueles que florescem em até 90 dias (CASTRO *et al.*, 2019). A maioria dos genótipos avaliados a partir da temperatura de 25 °C, podem ser classificados como de CICLO precoce, embora na temperatura de 25 °C os genótipos 1P95-8CNAX18360-B-3-BB e CNAX20663-B-14Trat.78EO, ambos apresentarem 92 dias de NDFL.

Nas temperaturas de 20, 25, 29 e 32 °C, a média geral dos genótipos foram aproximadamente de 104, 84, 81 e 70 dias, respectivamente, evidenciando o efeito do aumento da temperatura na diminuição do NDFL.

A faixa de temperatura que ocasionaram um bom desempenho dos materiais avaliados foi de 20 a 32 °C, sugerindo a seleção para a característica NDFL nessa faixa, ressaltando-se a importância de verificar o desempenho de outros componentes nessas temperaturas, garantindo maior assertividade do melhorista no momento da seleção do genótipo.

A transição da fase vegetativa para a fase reprodutiva é considerada um evento crítico no ciclo de vida de uma planta, o período de floração é extremamente influenciado pelas condições externas ambientais como seca e temperatura (SHIM; JANG, 2020). De acordo com Soares *et al.* (2005), com base na distribuição de chuvas no período de safra no Estado de Minas Gerais, de modo geral os cultivares mais precoces apresentaram melhor desempenho em produtividade do que os mais tardios, podendo ser explicado pelo fato de coincidir com a época de maior precipitação pluvial e temperatura adequada para o cultivo na região. A obtenção de genótipos de arroz de terras altas mais precoces é considerada imprescindível, uma vez que,

essa característica viabiliza a inserção da cultura em sistemas de produção (MORAIS *et al.*, 2014).

Pesquisas evidenciam que as baixas temperaturas, além de causar esterilidade na cultura do arroz, causam, também, o retardamento do florescimento (YOSHIDA, 1981; CRUZ; MILACH, 2000). Como no caso do cultivar IR8 insensível ao fotoperíodo, o dia para o florescimento desse material em regiões frias como a Califórnia leva em torno 140 dias, enquanto nas regiões quentes como nas Filipinas seu CICLO de florescimento é por volta de 90 dias (CARNAHAN; ERICKSON; MASTENBROEK, 1972). Mukamuhirwa *et al.* (2019) avaliando 7 cultivares de arroz, verificaram que no tratamento com temperaturas diurnas/noturnas de 26/23 °C, as plantas apresentaram um prolongamento no florescimento comparadas as temperaturas consideradas altas diurna/noturna de 30/27 °C, onde a média geral do NDFL obtida das 7 cultivares foi de 120,50 dias para a baixa temperatura e 90,30 dias para alta temperatura.

Ao visualizar os resultados obtidos na variável CICLO da cultura (Figura 2), nota-se que as médias dos genótipos ao longo do aumento dos graus de temperatura vão diminuindo, o mesmo ocorre para o NDFL (Figura 1), confirmando que o menor dia para o NDFL está diretamente relacionado com um menor CICLO da cultura, percebe-se uma similaridade.

Com relação a PMSA, a ocorrência das baixas temperaturas, pode influenciar no acúmulo de massa seca em diferentes fases do crescimento e desenvolvimento da planta de arroz (JACOBS; PEARSON, 1994). Os dados obtidos no experimento foram significativos apenas para o fator temperatura (Tabela 4), analisando os resultados das médias (Tabela 5), a maior PMSA foi encontrada na temperatura mais baixa de 12 °C, junto a um maior CICLO em relação as demais. Esse resultado poder ser explicado pelo fato do prolongamento do CICLO na planta de arroz causa maior produção de matéria seca e maior mobilização dos fotoassimilados (NTANOS; KOUTROUBAS, 2002; FALQUETO *et al.*, 2009).

Para variável MFA, houve significância para ambos os fatores individuais genótipo e temperatura, no caso da temperatura a maior produção de MFA foi registrada na temperatura de 20 °C, esse resultado pode ter sido influenciado pelo número de perfilhos e a altura de planta. Já o genótipo com melhor desempenho na variável foi o 1P 95-8CNAX18360-B-3-B-B.

Embora os genótipos não sejam tolerantes as baixas temperaturas, as características avaliadas nas outras temperaturas servem como indicadores para escolha do melhor genótipo e, possibilitar o melhorista a inseri-lo em programa de hibridação.

6 CONCLUSÕES

Os genótipos estudados não toleram baixas temperaturas como de 12 e 17 °C, principalmente por causarem baixo desempenho nos componentes de rendimento e ocasionarem 100% de esterilidade de grãos.

As temperaturas de 25 e 29 °C são consideradas ideais para o cultivo por causarem a menor esterilidade de espiguetas.

Os genótipos CNAx20665-B-6Trat.81EO, CNAx20658-B-12Trat.73EO, P85-15-CNAX18874-B-5-6Trat.17 do Preliminar e a cultivar BRSMG Caçula merecem destaque por apresentarem uma alta precocidade na faixa de temperatura de 20 a 32 °C, podendo utilizá-los em janelas de plantio mais cedo, garantindo temperatura e maior precipitação pluvial, principalmente na fase de florescimento.

REFERÊNCIAS

- ABREU, A. G.; OLIVEIRA, J. P. Botânica e desenvolvimento fenológico da planta. In: BOREM, A.; RANGEL, P. H. N. (ed.). **Arroz: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. p. 27-42.
- CARNAHAN, H.L., ERICKSON, J.R., MASTENBROEK, J.J. Tolerance of rice to cool temperatures – USA. **Rice breeding**. Los Baños: International Rice Research Institute, p.535-540, 1972.
- CASTRO, D. G.; FERNANDES, M. C. N.; FÉLIX, M. R.; CAZASSA, R. S.; TOMÉ, L. M.; BOTELHO, F. B. S. Estimativas de associação entre caracteres agronômicos na seleção de genótipos de arroz de terras altas. **MAGISTRA**, [S. l.], v. 30, p. 359–367, 2019. Disponível em: <https://www3.ufrb.edu.br/magistra/index.php/magistra/article/view/812>.
- CHAKROVORTY, R. S.; ROY, R.; FORHAD, H. M.; ALAM, R.; ZINNAH, M. A.; MONIRUZZAMAN, M.; SAHA, B. Modification of conventional rice parboiling boiler to enhance efficiency and achieve sustainability in the rice parboiling industries of Bangladesh. **Process Safety and Environmental Protection**, [S.L.], v. 139, p. 114-123, jul. 2020. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2020.04.024>
- CHANDRARATNA, M. F. **Genetics and breeding of rice**. London: Longmans, 1964. 389p.
- CHIDAMBARANATHAN, P.; BALASUBRAMANIASAI, C.; BEHURA, N.; PURTY, M.; SAMANTARAY, S.; SUBUDHI, H.; NGANGKHAM, U.; DEVANNA, B. N.; KATARA, J. L.; KUMAR, A.; BEHERA, L. Effects of high temperature on spikelet sterility in rice (*Oryza sativa* L.): association between molecular markers and allelic phenotypic effect in field condition. **Genetic Resources And Crop Evolution**, [S.L.], v. 68, n. 5, p. 1923-1935, 13 fev. 2021. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10722-021-01106-7>
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira - grãos: 7º levantamento**, abril 2023 – safra 2022/23. Brasília: 2023. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos> >.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira - grãos: 6º levantamento**, março 2022 – safra 2021/2022. Brasília: 2022. Disponível em: < https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/41379_f737bf1c32e3b400126505b7e1e4055b >.
- COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A Uniform, Objective, and Adaptive System for Expressing Rice Development. **Crop Science**, [S.L.], v. 40, n. 2, p. 436-443, mar. 2000. Wiley. DOI: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2000.402436x>.

CRUZ, R. P. da; MILACH, S. C. K. Melhoramento genético para tolerância ao frio em arroz irrigado. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 30, n. 5, p. 909-917, out. 2000. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782000000500031>

CRUZ, R. P.; MILACH, S. C. K.; FEDERIZZI, L. C. Rice cold tolerance at the reproductive stage in a controlled environment. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 3, p. 255–261, 2006. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-90162006000300007>

EZIN, V.; AHANCHEDE, W. W.; AYENAN, M. A. T.; AHANCHEDE, A. Physiological and agronomical evaluation of elite rice varieties for adaptation to heat stress. **Bmc Plant Biology**, [S.L.], v. 22, n. 1, 10 maio 2022. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s12870-022-03604-x>

FAGUNDES, T.; SIQUEIRA, T. R.; GREGORI, R. XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 2021, [S. I.]. **Análise de retorno financeiro de lavouras de arroz nos anos de 2019 e 2020 em três municípios do RS**. [S. I.]: Associação Brasileira de Custos, 2021. 16 p. <Disponível em: <https://anaiscbc.abcustos.org.br/anais/article/view/4873/4887>>.

FALQUETO, A.R.; CASSOL, D.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de; OLIVEIRA, A. C. de; BACARIN, M. A. Crescimento e partição de assimilados em cultivares de arroz diferindo no potencial de produtividade de grãos. **Bragantia**, [S.L.], v. 68, n. 3, p. 563-571, set. 2009. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87052009000300002>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - (FAO). **Fao stat database**. 2021. Disponível em: < <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes: an r package for anova and experimental designs. **Applied Mathematics**, [S.L.], v. 05, n. 19, p. 2952-2958, 2014. Scientific Research Publishing, Inc. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/am.2014.519280>.

FERNÁNDEZ, F.; VERGARA, B. S.; YAPIT, N.; GARCIA, O. Crescimento y etapas de desarrollo de la planta de arroz. In: TASCÓN, E.; GARCIA DURÁN, E. (ed.). **Arroz: Investigación y producción: Referencia de los cursos de capacitación sobre arroz dictados por el Centro Internacional de Agricultura Tropical**. 1985. p. 83-101. Disponível em: < http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/SB191.R5_A7_C3_Arroz_Investigaci%C3%B3n_y_producci%C3%B3n_Referencia_de_los_cursos_de_capacitaci%C3%B3n_sobre_ar.pdf#page=93>.

FUJIMORI, S.; WU, W.; DOELMAN, J.; FRANK, S.; HRISTOV, J.; KYLE, P.; SANDS, R.; VAN ZEIST, W.-J.; HAVLIK, P.; DOMÍNGUEZ, I. P.; SAHOO, A.; STEHFEST, E.; TABEAU, A.; VALIN, H.; MEIJL, H. V.; HASEGAWA, T.; TAKAHASHI. Land-based climate change mitigation measures can affect agricultural markets and food security. **Nature Food**, [S.L.], v. 3, n. 2, p. 110-121, 24 fev. 2022. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s43016-022-00464-4>

FURTINI, I. V.; BRESEGHELLO, F.; CASTROI, A. P. . D. Melhoramento de arroz de terras altas em Mato Grosso. In: **Embrapa Agrossilvipastoril**. Brasília: 2019.: Embrapa, 2019. p. 825p.

GAO, L.; JIN, Z.; HUANG, Y.; ZHANG, L. Rice clock model—a computer model to simulate rice development. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 60, n. 1-2, p. 1-16, 1992. Elsevier BV. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0168-1923\(92\)90071-b](http://dx.doi.org/10.1016/0168-1923(92)90071-b).

GOMES, P. F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: Degaspari, 2009. 451 p.

GUIMARÃES, C. M.; FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. Como a planta de arroz se desenvolve. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 13, n. 99, p. 12, 2002.

GUPTA, H.; PURUSHOTTAM; YADAV, G.; YADAV, S. K.; SINGH, S.; KUMAR, S. Genetic variability, heritability and genetic advance for yield and its related traits in rainfed upland rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. **The Pharmac Innov J**, v. 11, n. 2, p. 2520-2524, 2022.

HAYASE, H.; SATAKE, T.; NISHIYAMA, I.; ITO, N. Male sterility caused by cooling treatment at the meiotic stage in rice plants: II. The most sensitive stage to cooling and the fertilizing ability of pistils. **Japanese journal of crop science**, v. 38, n. 4, p. 706-711, 1969.

HAYATI, P. K. D.; ABIDAH, P. A.; JUNIARTI; SYARIF, A. Cogon grass (*Imperata cylindrica* L.) mulch effect on microclimate, weed management and yield of upland rice. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, [S.L.], v. 1160, n. 1, p. 012003, 1 abr. 2023. IOP Publishing. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/1160/1/012003>

HUSSAIN, S.; HUANG, J.; HUANG, J.; AHMAD, S.; NANDA, S.; ANWAR, S.; SHAKOOR, A.; ZHU, C.; ZHU, L.; CAO, X.; JIN, Q.; ZHANG, J. Rice Production Under Climate Change: adaptations and mitigating strategies. **Environment, Climate, Plant And Vegetation Growth**, [S.L.], p. 659-686, 2020. Springer International Publishing. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-49732-3_26

HUSSAIN, S.; KHALIQ, A.; ALI, B.; HUSSAIN, H. A.; QADIR, T.; HUSSAIN, S. Temperature Extremes: impact on rice growth and development. **Plant Abiotic Stress Tolerance**, [S.L.], p. 153-171, 2019. Springer International Publishing. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-06118-0_6

ISLAM, S. S.; HASAN, A. K. Simulating upland rice yield at diverse temperatures using DSSAT4.7-CERES-Rice crop model under changing climatic conditions in southern Thailand. **Journal Of Cereal Research**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 62-69, 7 maio 2021. Society for Advancement of Wheat and Barley Research. DOI: <http://dx.doi.org/10.25174/2582-2675/2021/109954>

JACOBS, B. C.; PEARSON, C. J. Cold damage and development of rice: a conceptual model. **Australian Journal Of Experimental Agriculture**, [S.L.], v. 34, n. 7, p. 917, 1994. CSIRO Publishing. DOI: <http://dx.doi.org/10.1071/ea9940917>

JAGADISH, S. V. K.; CRAUFURD, P. Q.; WHEELER, T. R. High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). **Journal Of Experimental Botany**, [S.L.], v. 58, n. 7, p. 1627-1635, 12 abr. 2007. Oxford University Press (OUP). DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erm003>

JIA, Y.; LIU, H.; WANG, H.; ZOU, D.; QU, Z.; WANG, J.; ZHENG, H.; WANG, J.; YANG, L.; MEI, Y.; ZHAO, H. Effects of root characteristics on panicle formation in japonica rice under low temperature water stress at the reproductive stage. **Field Crops Research**, [S.L.], v. 277, p. 108395, mar. 2022. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108395>

JORDÃO, H. W. C.; RADMANN, V.; CAMPOS, M. C. C.; SILVA, D. M. P. da; RAMOS, R. J. L.; MANTOVANELLI, B. C. Características agrônômicas de arroz de terras altas cultivado na Amazônia Ocidental. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 60, n. 4, p. 307–314, 2017. Tikinet Edicao Ltda. - EPP. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2464>

KOVI, M. R.; BAI, X.; MAO, D.; XING, Y. Impact of seasonal changes on spikelets per panicle, panicle length and plant height in rice (*Oryza sativa* L.). **Euphytica**, [S.L.], v. 179, n. 2, p. 319-331, 12 jan. 2011. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10681-010-0332-7>

KOWSALYA, P.; SHARANYAKANTH, P. S.; MAHENDRAN, R. Traditional rice varieties: a comprehensive review on its nutritional, medicinal, therapeutic and health benefit potential. **Journal Of Food Composition and Analysis**, [S.L.], v. 114, p. 1-11, 6 jul. 2022. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104742>

LAGO, I.; STRECK, N. A.; CARVALHO, P. M.; KLEIN, F. L.; MOIANO, P. G.; LOPES, S. J. Estimativa da temperatura base do subperíodo emergência-diferenciação da panícula em arroz cultivado e arroz vermelho. **Revista Ceres**, v. 56, n. 3, p. 288-295, 2009.

LAMPAYAN, R.; XANGSAYASANE, P.; BUENO, C. Crop Performance and Water Productivity of Transplanted Rice as Affected by Seedling Age and Seedling Density under Alternate Wetting and Drying Conditions in Lao PDR. **Water**, [S.L.], v. 11, n. 9, p. 1816, 31 ago. 2019. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w11091816>

LEI, Q.; ZHOU, J.; ZHANG, W.; LUO, J.; WU, K.; LONG, C. Morphological diversity of panicle traits in Kam fragrant glutinous rice (*Oryza sativa*). **Genetic Resources And Crop Evolution**, [S.L.], v. 65, n. 3, p. 775-786, 17 out. 2017. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10722-017-0570-9>

LOBATO, E. J. V.; SILVA, S. C. Parâmetros meteorológicos, fenologia e produtividade do arroz de sequeiro sob condições de cerrado. **Embrapa Arroz e Feijão-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 1995.

MARTINS, A. F.; VIEIRA, E. A.; KOPP, M. M.; LUZ, V. K. da; CARVALHO, M. F. de; BRANCO, J. S. C.; CRUZ, R. P. da; CARVALHO, F. I. F. de; OLIVEIRA, A. C. de. Caracterização de famílias mutantes de arroz para tolerância ao frio nos períodos vegetativo e reprodutivo. **Bragantia**, [S.L.], v. 66, n. 2, p. 227-233, 2007. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87052007000200006>

MENDES, G. V.; ROSÁRIO NETO, A.; BOTELHO, F. B. S.; LIMA, I. P. de; CASTRO, A. P. de; CASTRO, D. G. Water use efficiency: behavior of upland rice lines under water deficit. **Journal Of Plant Breeding And Crop Science**, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 115-122, 31 ago. 2021. Academic Journals. DOI: <http://dx.doi.org/10.5897/jpbcs2020.0930>

MISHRA, A. K.; BAIRAGI, S.; VELASCO, M. L.; MOHANTY, S. Impact of access to capital and abiotic stress on production efficiency: evidence from rice farming in cambodia. **Land Use Policy**, [S.L.], v. 79, p. 215-222, dez. 2018. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.08.016>

MOE, K.; HTWE, A. Z.; THU, T. T. P.; KAJIHARA, Y.; YAMAKAWA, T. Effects on NPK Status, Growth, Dry Matter and Yield of Rice (*Oryza sativa*) by Organic Fertilizers Applied in Field Condition. **Agriculture**, [S.L.], v. 9, n. 5, p. 109, 22 maio 2019. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture9050109>

MOE, K.; MOH, S. M.; HTWE, A. Z.; KAJIHARA, Y.; YAMAKAWA, T. Effects of Integrated Organic and Inorganic Fertilizers on Yield and Growth Parameters of Rice Varieties. **Rice Science**, [S.L.], v. 26, n. 5, p. 309-318, set. 2019. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsci.2019.08.005>

MORAIS, O. P. de; SOARES, A. A.; CASTRO, A. P. de; REIS, M. de S.; UTUMI, M. M.; CORDEIRO, A. C. C. **BRSMG 355**: Primeira cultivar brasileira superprecoce de arroz de terras altas obtida por seleção recorrente. Comunicado Técnico 218, Embrapa – Santo Antônio de Goiás-GO, set., 2014.

MUKAMUHIRWA, A.; HOVMALM, H. P.; BOLINSSON, H.; ORTIZ, R.; NYAMANGYOKU, O.; JOHANSSON, E. Concurrent Drought and Temperature Stress in Rice—A Possible Result of the Predicted Climate Change: effects on yield attributes, eating characteristics, and health promoting compounds. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, [S.L.], v. 16, n. 6, p. 1043, 22 mar. 2019. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph16061043>

MUNAWAR, S.; QAMAR, M. T. U.; MUSTAFA, G.; KHAN, M. S.; JOYIA, F. A. Role of Biotechnology in Climate Resilient Agriculture. **Environment, Climate, Plant And Vegetation Growth**, [S.L.], p. 339-365, 2020. Springer International Publishing. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-49732-3_14

NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; COBUCCI, T. The no-tillage system and cover crops-Alternatives to increase upland rice yields. **European Journal of Agronomy**, v. 45, p. 124–131, 2013. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2012.09.004>

NAWAZ, G.; HAN, Y.; USMAN, B.; LIU, F.; QIN, B.; LI, R. Knockout of OsPRP1, a gene encoding proline-rich protein, confers enhanced cold sensitivity in rice (*Oryza sativa* L.) at the seedling stage. **3 Biotech**, [S.L.], v. 9, n. 7, p. 254, 7 jun. 2019. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s13205-019-1787-4>

- NAZIR, R.; MANDAL, S.; MITRA, S.; GHORAI, M.; DAS, N.; JHA, N. K.; MAJUMDER, M.; PANDEY, D. K.; DEY, A. Clustered regularly interspaced short palindromic repeats (CRISPR)/CRISPR-associated genome-editing toolkit to enhance salt stress tolerance in rice and wheat. **Physiologia Plantarum**, [S.L.], v. 174, n. 2, p. 13642, mar. 2022. Wiley. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/ppl.13642>
- NGUYEN, D.-N.; LEE, K.-J.; KIM, D.-I.; ANH, N. T.; LEE, B.-W.. Modeling and validation of high-temperature induced spikelet sterility in rice. **Field Crops Research**, [S.L.], v. 156, p. 293-302, fev. 2014. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2013.11.009>
- NTANOS, D. A; KOUTROUBAS, S. D. Dry matter and N accumulation and translocation for indica and Japonica rice under Mediterranean conditions. **Field Crops Research**, [S.L.], v. 74, n. 1, p. 93-101, fev. 2002. Elsevier BV. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s0378-4290\(01\)00203-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0378-4290(01)00203-9)
- PANIZ, F. P.; PEDRON, T.; PROCÓPIO, V. A.; LANGE, C. N.; FREIRE, B. M.; BATISTA, B. L. Selenium Biofortification Enhanced Grain Yield and Alleviated the Risk of Arsenic and Cadmium Toxicity in Rice for Human Consumption. **Toxics**, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 362, 11 abr. 2023. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/toxics11040362>.
- PATHAK, H. Impact, adaptation, and mitigation of climate change in Indian agriculture. **Environmental Monitoring And Assessment**, [S.L.], v. 195, n. 1, p. 52, 1 nov. 2022. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-022-10537-3>
- PRASAD, R. Agricultural Science in India and Struggle against Famine, Hunger and Malnutrition. **Indian Journal Of History Of Science**, [S.L.], v. 54, n. 3, p. 334-347, 1 set. 2019. Indian National Science Academy. DOI: <http://dx.doi.org/10.16943/ijhs/2019/v54i3/49744>
- PROMCHOTE, P.; WANG, S.-Y. S.; YOON, J.-H.; JOHNSON, P. G.; CREECH, E.; SHEN, Y.; YAO, M.-H. On the Changing Cool Season Affecting Rice Growth and Yield in Taiwan. **Agronomy**, [S.L.], v. 12, n. 11, p. 2625, 25 out. 2022. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy12112625>
- QUEVEDO, M. G.; CANEVER, M. D.; JANSEN, A. C.; SELAU, F. GANHOS COMERCIAIS NA ROTAÇÃO DAS CULTURAS DE ARROZ E SOJA NO RIO GRANDE DO SUL. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, [S.L.], p. 24, 2022. Revista Organizações Rurais & Agroindustriais (OR&A). DOI: <http://dx.doi.org/10.48142/2420221819>
- R CORE TEAM. **The R Project for Statistical Computing (4.2.2)[software]**. 2022.
- RIBAS, G. G.; ZANON JUNIOR, A.; STRECK, N. A.; PILECCO, I. B.; SOUZA, P. M. de; HEINEMANN, A. B.; GRASSINI, Patricio. Assessing yield and economic impact of introducing soybean to the lowland rice system in southern Brazil. **Agricultural Systems**, [S.L.], v. 188, p. 103036, mar. 2021. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103036>

SAITO, K.; ASAI, H.; ZHAO, D.; LABORTE, A. G.; GRENIER, C. Progress in varietal improvement for increasing upland rice productivity in the tropics. **Plant Production Science**, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 145-158, 16 abr. 2018. Informa UK Limited. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/1343943x.2018.1459751>

SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F.; VIEIRA, N. D. A. **A Cultura do Arroz no Brasil**. 2. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, 2006.

SANTOS, L. M. G. dos.; SILVA, C. B.; VICENTINI NETO, S. A.; MAGALHÃES, C. D.; MOREIRA, J. C.; JACOB, S. C. Analysis and risk assessment of arsenic in rice from different regions of Brazil. **Journal Of Food Composition and Analysis**, [S.L.], v. 99, p. 103853, fev. 2021. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103853>

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance, **Biometrics**, v. 30, p. 507-512, 1974.

SHIM, J. S.; JANG, G. Environmental Signal-Dependent Regulation of Flowering Time in Rice. **International Journal Of Molecular Sciences**, [S.L.], v. 21, n. 17, p. 6155, 26 ago. 2020. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/ijms21176155>

SHIMONO, H.; KANDA, E. Does Regional Temperature Difference before the Panicle Initiation Affect the Tolerance for Low Temperature-Induced Sterility in Rice? **Plant Production Science**, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 430-433, jan. 2008. Informa UK Limited. DOI: <http://dx.doi.org/10.1626/pp.11.430>

SHRESTHA, S.; ASCH, F.; DUSSERRE, J.; RAMANANTSOANIRINA, A.; BRUECK, H. Climate effects on yield components as affected by genotypic responses to variable environmental conditions in upland rice systems at different altitudes. **Field Crops Research**, [S.L.], v. 134, p. 216-228, ago. 2012. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2012.06.011>

SIDDIK, M. A.; ZHANG, J.; CHEN, J.; QIAN, H.; JIANG, Y.; RAHEEM, A. K.; DENG, A.; SONG, Z.; ZHENG, C.; ZHANG, W. Responses of indica rice yield and quality to extreme high and low temperatures during the reproductive period. **European Journal of Agronomy**, [S.L.], v. 106, p. 30-38, mar. 2019. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2019.03.004>

SILVA, S. C.; STEINMETZ, S.; HEINEMANN, A. B. Exigências climáticas. In: BORÉM, A.; RANGEL, P. H. N. (ed.). **Arroz: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. p. 43-65.

SINGH, G.; GUPTA, M. K.; CHAURASIYA, S.; SHARMA, V. S.; PIMENOV, D. Y. Rice straw burning: a review on its global prevalence and the sustainable alternatives for its effective mitigation. **Environmental Science and Pollution Research**, [S.L.], v. 28, n. 25, p. 32125-32155, maio 2021. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-021-14163-3>

SINGH, V. K.; WAHI, N.; MISHRA, S. K.; SINGH, B. D.; SINGH, N. K. Studies on Genetic variability, correlation analysis, character association and path analysis of phenotypic characteristics of twelve mega varieties of rice and its near-isogenic lines carrying high grain number per panicle QTL qGN4. 1. **Current Trends in Biotechnology and Pharmacy**, v. 16, n. 1, p. 35-45, 2022. DOI: 10.5530/ctbp.2022.1.4

SOARES, A. A.; REIS, M. de S.; CORNÉLIO, V. M. de O.; SOARES, P. C.; SANTOS, P. G.; SOUSA, M. A. de. BRSMG CONAI: CULTIVAR DE ARROZ SUPERPRECOCE PARA TERRAS ALTAS. **Revista Ceres**, Viçosa-Mg, v. 52, n. 303, p. 721-727, 2005. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/3052/305242983007.pdf>>.

SOARES, C. S.; MILANESI, F. M. A obrigatoriedade da nota fiscal eletrônica nas operações do agronegócio sob a perspectiva dos produtores rurais de arroz e profissionais de contabilidade em um pequeno município do Rio Grande do Sul. **Revista de Ciências Contábeis| RCiC-UFMT**, p. 53-68, 2019. DOI: <http://orcid.org/0000-0002-6427-8699>

SODA, N.; GUPTA, B. K.; ANWAR, K.; SHARAN, A.; GOVINDJEE; SING-PAREEK, S. L.; PAREEK. Rice intermediate filament, OsIF, stabilizes photosynthetic machinery and yield under salinity and heat stress. **Scientific Reports**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 1-13, 6 mar. 2018. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-018-22131-0>

SOUZA, G. S.; WANDER, A. E.; GAZZOLA, R.; SOUZA, R. S. Evolução da produção e do comércio internacional do arroz e projeção de preços. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, V. 2, N.1, P. 46-55, 2010.

SOUZA, N. M. de; MARSCHALEK, R.; SANGOI, L.; WEBER, F. S. Spikelet sterility in rice genotypes affected by temperature at microsporogenesis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 21, n. 12, p. 817-821, dez. 2017. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n12p817-821>

STEINMETZ, S.; DEIBLER, A. N.; SILVA, J. B. da. Estimativa da produtividade de arroz irrigado em função da radiação solar global e da temperatura mínima do ar. **Ciencia Rural**, v. 43, n. 2, p. 206–211, 2013. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782013000200003>

STRECK, E. A.; AGUIAR, G. A.; SILVA, P. U. da; FRONZA, R. T. L.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de. Genetic tolerance to low temperatures in irrigated rice. **Revista Ciência Agrônômica**, [S.L.], v. 51, n. 3, p. 1-7, 2020. GN1 Genesis Network. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20200058>

TEFERA, S.; ARAGAW, M.; MOLLA, T. Agro-morphological and physiochemical studies of upland rice (*Oryza sativa* L.) varieties for variability with yield and quality related parameters in south Gondar district, Ethiopia. **Heliyon**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 15186, abr. 2023. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15186>

UNAN, R.; GENCTAN, T.; PEDROSO, R. M. Cold stress reduces rice grain yield in temperate conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 26, n. 12, p. 947-952, jul. 2022. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n12p947-952>

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - (USDA). **Pro-duction, Supply and Distribution (PSD) on line**. 2023. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/compositeViz>>.

VERGARA, B. S. **Plant growth and development**. In Rice Production Manual. Univ. of the Philippines, Laguna, 1970.

VERGARA, B. S. Rice Plant Growth and Development. **Rice**, [S.L.], p. 13-22, 1991. Springer US. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4899-3754-4_2

VICENTE, O. Improving agricultural production and food security under climate change conditions. **AgroLife Scientific Journal**, v. 11, n. 1, p. 241-252, 2022. DOI: https://agrolifejournal.usamv.ro/pdf/vol.XI_1/Art28.pdf.

WANDER, A. E. A cultura. In: BORÉM, A.; RANGEL, P. H. N. (ed.). **Arroz: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. p. 9-26.

WANDER, A. E.; SILVA, O. F.; FERREIRA, C. M. O arroz e o feijão no Brasil e no mundo. In: FERREIRA, M. C.; BARRIGOSI, J. A. F. (ed.). **Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar**. Brasília, DF: Ed. EMBRAPA, 2021. p. 81-100. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1134359/arroz-e-feijao-tradicao-e-seguranca-alimentar>>.

XU, J.; HENRY, A.; SREENIVASULU, N. Rice yield formation under high day and night temperatures—A prerequisite to ensure future food security. **Plant, Cell & Environment**, [S.L.], v. 43, n. 7, p. 1595-1608, 16 mar. 2020. Wiley. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/pce.13748>

YAN, J. Q.; ZHU, J.; HE, C. X.; BENMOUSSA, M.; WU, P. Quantitative trait loci analysis for the developmental behavior of tiller number in rice (*Oryza sativa* L.). **Theoretical And Applied Genetics**, [S.L.], v. 97, n. 1-2, p. 267-274, jul. 1998. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s001220050895>

YOSHIDA, S. Effects of temperature on growth of the rice plant (*Oryza sativa* L.) in a controlled environment. **Soil Science And Plant Nutrition**, [S.L.], v. 19, n. 4, p. 299-310, dez. 1973. Informa UK Limited. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00380768.1973.10432599>

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. International. Rice Research. Institute., 1981.

YOSHIDA, S. **Tropical climate and its influence on rice**. 1978. Disponível em: <https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNAAG711.pdf>.

YUAN, S.; LINQUIST, B. A.; WILSON, L. T.; CASSMAN, K. G.; STUART, A. M.; PEDE, V.; MIRO, B.; SAITO, K.; AGUSTIANI, N.; ARISTYA, V. E.; KRISNADI, L. Y.; ZANON JUNIOR, A.; HEINEMANN, A. B.; CARRACELAS, G.; SUBASH, N.; BRAHMANAND, P. S.; LI, T.; PENG, S.; GRASSINI, P. Sustainable intensification for a larger global rice bowl. **Nature Communications**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 7163, 9 dez. 2021. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41467-021-27424-z>

ZENG, Y.; WEN, J.; ZHAO, W.; WANG, Q.; HUANG, W. Rational Improvement of Rice Yield and Cold Tolerance by Editing the Three Genes OsPIN5b, GS3, and OsMYB30 With the CRISPR–Cas9 System. **Frontiers In Plant Science**, [S.L.], v. 10, 9 jan. 2020. Frontiers Media SA. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2019.01663>

ZHANG, L.; HUO, Z.; AMOU, M.; XIAO, J.; CAO, Y.; GOU, P.; LI, S. Optimized rice adaptations in response to heat and cold stress under climate change in southern China. **Regional Environmental Change**, [S.L.], v. 23, n. 25, p. 1-13, 11 jan. 2023. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10113-022-02010-1>

APÊNDICES

APÊNDICE A – Procedimentos utilizados para enchimento de vasos e semeadura do arroz.



Fonte: Do autor (2023).

Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, 2023.

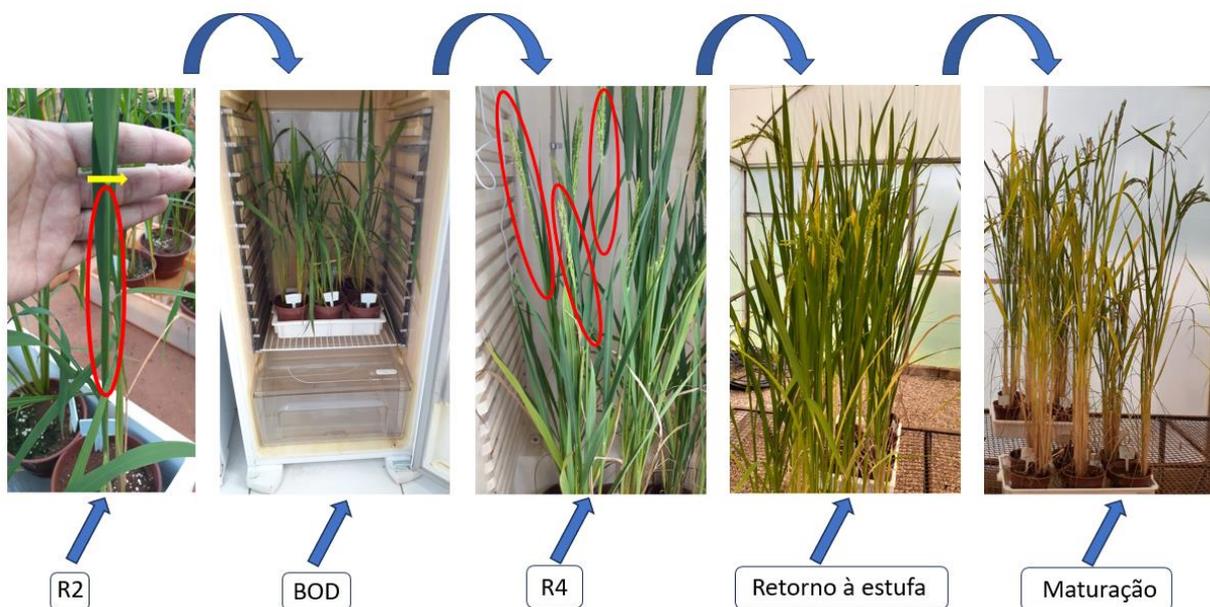
APÊNDICE B – BODs utilizadas na condução dos experimentos.



Fonte: Galeria LCPS (2023).

Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, 2023.

APÊNDICE C – Esquema da condução do experimento desde a fase R2 até R4, e maturação fisiológica da planta de arroz de terras altas.



Fonte: Do autor (2023).

Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, 2023.