



RAFAEL ALVARENGA MELO

**AVALIAÇÃO DE LINHAGENS DE ARROZ DE TERRAS
ALTAS SUBMETIDAS À ADUBAÇÃO TERMOFOSFATADA**

**LAVRAS – MG
2023**

RAFAEL ALVARENGA MELO

**AVALIAÇÃO DE LINHAGENS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS SUBMETIDAS À
ADUBAÇÃO TERMOFOSFATADA**

Monografia apresentada ao curso de Agronomia, da Escola de Ciências Agrárias de Lavras, Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientadora
Prof^ª. Dra. Flávia Barbosa Silva Botelho

LAVRAS – MG

2023

RAFAEL ALVARENGA MELO

**AVALIAÇÃO DE LINHAGENS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS SUBMETIDAS À
ADUBAÇÃO TERMOFOSFATADA**

Monografia apresentada ao curso de Agronomia, da Escola de Ciências Agrárias de Lavras, Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

APROVADO EM ____, de _____ de 2023.

Membro 01 banca

Membro 02 banca

Prof^ª. Dra. Flávia Barbosa Silva Botelho
Orientadora

LAVRAS – MG

2023

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Área, produtividade e produção brasileira de arroz por região na safra 2021/22 e perspectiva para safra 2022/23.....	7
Tabela 2 – Disposições sobre o termofosfato na legislação brasileira	11
Tabela 3 – Genótipos estudados	12
Tabela 4 – Tratamentos estudados.....	13
Tabela 5 – Composição química e granulométrica das fontes de fósforo.	13
Tabela 6 – Análise química do solo experimental.....	14
Tabela 7 – Análise de variância para o caractere produção.	15
Tabela 8 – Desdobramento dos níveis genótipos dentro do nível de cada fertilizantes.	17
Tabela 9 – Desdobramento dos níveis fertilizantes dentro do nível de cada genótipo.....	18

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1	Aspectos botânicos.....	3
2.2	Produtividade.....	4
2.3	Melhoramento genético da cultura	4
2.4	Panorama da produção de arroz	5
2.5	Manejo da fertilização fosfatada.....	9
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1	Genótipos estudados.....	12
3.2	Instalação e delineamento.....	12
3.3	Avaliação da massa de grãos	14
3.4	Análise estatística	14
4	RESULTADOS E DISCURSÕES.....	15
4.1	Análise de variância	15
4.2	Desdobramento genótipos dentro de fertilizantes	16
4.3	Desdobramento fertilizantes dentro de genótipos	17
5	CONCLUSÃO	20
	REFERÊNCIAS	21

1 INTRODUÇÃO

Em 2022, a população mundial alcançou a marca de 8 bilhões de habitantes (ONU, 2022), intensificando o desafio de aumentar a produção de alimentos e, ao mesmo tempo, preservar o meio ambiente. Nesse contexto, o melhoramento de culturas alimentícias surge como uma solução para enfrentar parte desse desafio. Atender às necessidades alimentares da população em crescimento é um dos problemas mais significativos que a sociedade enfrenta, especialmente diante das mudanças climáticas constantes (Ansarifar; Ashavizadegan; Wang, 2020). O melhoramento genético de plantas, conforme destacado por Khaki *et al.* (2020), é uma importante área científica que contribui para aumentar a produção de alimentos.

Dentre os alimentos cujo aumento na produtividade é indiscutivelmente um dos mais importantes, destaca-se o arroz (*Oryza sativa* L.). Por desempenhar um papel significativo na segurança alimentar. Trata-se de um alimento básico nutritivo para mais da metade da população mundial, como fonte de energia, vitaminas e minerais. Em sua forma integral possui fibras, amido, proteínas e lipídios (Do Nascimento *et al.*, 2022; Müller, *et al.*, 2022; Balija, *et al.*, 2021).

O sistema de cultivo de arroz no Brasil divide-se em dois: arroz de várzea ou inundado e arroz de terras altas ou sequeiro (Heinemann, *et al.*, 2019). Muito embora a maior parte da produção seja representada pelo arroz inundado, tendo sido 92,7% na safra 2021/22 e ocupando 80,5% da área. O arroz de terras altas desempenha importante papel social e econômico no país (Heinemann, *et al.*, 2019; CONAB, 2023).

Tradicionalmente, o arroz de terras altas era utilizado na região central do Brasil, principalmente para abertura de novas áreas agricultáveis, preparando o solo para o estabelecimento da próxima cultura no Cerrado. Tendo em vista que a cultura do arroz é capaz de desenvolver-se nesse bioma caracterizado por solos com alta acidez e baixa fertilidade (Colombari Filho *et al.*, 2013; EMBRAPA 2021).

O cultivo de arroz de terras altas é marcado, em geral, por baixo a médio nível tecnológico. A deficiência nutricional é realidade presente nessas lavouras, destacando-se a deficiência em fósforo (P), que é um elemento essencial para o desenvolvimento do arroz. Essa é manifestada inicialmente nas folhas mais velhas, que apresentam estreitamento e coloração bronzeada nas pontas, alterando acentuadamente a área foliar, perfilhamento, fotossíntese, metabolismo, maturação e produtividade (EMBRAPA, 2021; Jiaying, *et al.*, 2022). O fósforo é vital para componentes celulares, desempenhando um papel fundamental, atuando na

estrutura celular e na formação de biomoléculas essenciais incluindo fosfolipídios, membranas, ácidos nucleicos e trifosfatos de adenosina (Xiaozheng *et al.*, 2023; Jiaying *et al.*, 2022).

Os solos do Cerrado onde ocorre produção mais acentuada de arroz de terras altas, apresentam alta acidez, baixa capacidade de troca de cátions e baixo armazenamento de água, bem como baixa fertilidade natural, sendo notada uma deficiência generalizada de nutrientes, especialmente de P, associada a altos teores de alumínio (Xiaozheng *et al.*, 2023; Jiaying *et al.*, 2022; EMBRAPA, 2021).

A disponibilidade de fosfato inorgânico (Pi) nos solos é limitada devido à sua conversão em matéria orgânica por microrganismos ou sua ligação a cátions. Na literatura algumas estratégias vêm sendo adotadas para melhorar as condições de baixo Pi, em especial abordagens no tocante a nutrição do solo e melhoramento na estrutura radicular das plantas de arroz. Para tanto, a utilização de fertilizantes inorgânicos não apenas esgota os recursos de Pi, como também é um viés pouco ecológico. Assim, o termofosfato tem sido uma alternativa a fertilizantes fosfatados solúveis, por liberar Pi lentamente no solo (Smith; Dilday, 2002).

Do exposto, percebe-se a importância do arroz de terras altas. Que pode ter sua produtividade maximizada quando empregadas técnicas adequadas no manejo da adubação fosfatada, incluindo aplicação da quantidade adequada. Portanto, esta pesquisa tem como objetivo selecionar linhagens de arroz de terras altas responsivas a diferentes fontes de adubação termofosfatada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos botânicos

O arroz (*O. sativa*) é uma espécie diplóide ($2n=24$), autógama do gênero *Oryza*. Tal gênero é composto por mais de 20 espécies, sendo *O. sativa* o mais cultivado. Este dividido em duas principais subespécies: *indica* e *japonica*. A sua domesticação se deu por volta de 10.000 anos no Vale do Rio Yangtze, na Ásia (Smith; Dilday, 2002; Beye, *et al.*, 2023).

É uma gramínea cuja folha consiste em uma bainha foliar e uma lâmina foliar, na sua junção são um par de aurículas e uma lígula na porção basal da bainha foliar é ligada a uma placa nodal, que se liga ao caule do tipo colmo com ramificações primárias, secundárias e terciárias. A planta de arroz desenvolve dois tipos distintos de raízes: seminais e adventícias. No ápice está localizado a inflorescência do tipo panícula, composta por um nó na parte basal, raque, nó primário e ramos secundários, pedicelos, glumas rudimentares e espiguetas, envolvia por um uma bráctea (folha modificada). O grão é composto por casca e cariopse (Smith; Dilday, 2002; EMBRAPA, 2008).

O desenvolvimento é variado, de 80 a 280 dias e utilização de escalas fenológicas de identificação visual é indicado para auxiliar no manejo eficiente e preciso da cultura, abrangendo aspectos nutricionais, controle de pragas e doenças. sendo dividido em três estádios: vegetativo, reprodutivo e maturação (Do Nascimento *et al.*, 2022; Smith; Dilday, 2002; Streck *et al.*, 2006).

A fase vegetativa, tem seu início com a germinação e perdura até a diferenciação da panícula, é subdividida em V1, V2 ... Vn (sendo n o número de folhas expandidas), nesse estádio processos fundamentais se iniciam, quais sejam: a formação de raízes nodais e o processo de perfilhamento (Counce; Keisling; Mitchell, 2000; Do Nascimento *et al.*, 2022).

Posteriormente, a fase reprodutiva se estende até a antese e o último estádio é finalizado com a maturação fisiológica dos grãos. Quanto a maturação, as cultivares de arroz podem ser divididas em seis grupos de maturação: superprecoce (<105 dias), precoce (106 a 110 dias), semiprecoce (11 a 120 dias), médias (121 a 135 dias), semitardia (até 150 dias) e tardia (>150 dias) (Counce; Keisling; Mitchell, 2000; De Carvalho, 2006; Do Nascimento *et al.*, 2022)

O potencial máximo produtivo é alcançado dentre outros aspectos quando a lavoura é exposta a condições ideais de temperatura e disponibilidade hídrica. A temperatura deve variar de 22 a 30°C ao longo da estação de crescimento. O cultivo de terras altas se dá, majoritariamente, apenas com a água das chuvas durante todo período produtivo, variando de

400 mm a 600 mm, o que, por vezes, torna-se um limitante, pois o arroz é sensível ao estresse hídrico principalmente entre 20 dias antes e 10 dias após a floração. Na estação de crescimento o déficit hídrico pode reduzir a altura da planta, o perfilhamento e a área foliar, fatores diretamente correlacionados com a produtividade (EMBRAPA, 2020; Ferrari; Pagliari; Tretel, 2018).

Passada todas essas fases, chega-se à colheita, devendo esta ocorrer quando o teor de água no grão permear 19% a 22% para grãos do tipo longos e 22% a 24% grãos médios (Müller, *et al.*, 2022).

2.2 Produtividade

A produtividade é maximizada em condições ideais e estar associada a múltiplos fatores: manejo do solo e lençóis freáticos, disponibilidade de macro e micronutrientes, controle de pragas e doenças, radiação solar, temperatura do ar, CO₂ atmosférico, nível tecnológico, entre outros (Bhatt *et al.*, 2021; Meus, 2021).

Devido à complexidade desse caráter, que é controlado por vários genes, inúmeros fatores podem influenciar a produtividade do arroz. Os pesquisadores Da Silva, Nascente e Da Silveira (2017) da EMBRAPA Arroz e Feijão, observaram que até mesmo a velocidade de semeadura tem impacto no número de grãos por panícula e, conseqüentemente, na produtividade. Eles também destacaram que semeaduras mais rápidas podem resultar em uma deposição mais superficial das sementes, o que, por sua vez, pode levar a deficiências na formação do sistema radicular.

Além disso, em relação ao solo, Nascente *et al.* (2011), em seu estudo sobre a produtividade do arroz de terras altas, constataram que o preparo adequado do solo pode contribuir significativamente para o aumento da produtividade.

Embora o fósforo seja menos necessário entre os macronutrientes, desempenha funções fundamentais, exercendo uma influência significativa no sistema radicular, como destacado por Crusciol *et al.* (2005). De acordo com Lange *et al.* (2016), a utilização da fonte de fósforo, superfosfato triplo, contribui para aumentar a produtividade ao favorecer o aumento no número de perfilhos e panículas na cultura.

2.3 Melhoramento genético da cultura

O arroz de terras altas é cultivado em uma ampla *gama* de ambientes, incluindo vários níveis tecnológicos, em que os programas de melhoramento buscam desenvolver cultivares que atendam a todas essas condições (Vidotti, 2015).

Um elemento de extrema importância que deve ser levado em consideração pelo melhorista é a base genética das linhagens dentro do seu programa de pesquisa. A espécie *Oryza sativa*, apresenta duas subespécies conhecidas como Indica e Japônica, que representam fontes significativas de diversidade genética (Breseghello *et al.*, 1999; Da Cruz; Milach, 2000).

No Brasil, a comercialização de híbridos de arroz teve início em 2003. É um fato que os programas de melhoramento genético no país têm conquistado progressos notáveis ao longo dos anos. Relatórios indicam que o progresso genético para o arroz de terras altas no período de 1950 a 2011 resultou em um incremento de 0,3% na produtividade de grãos (Borém; Miranda; Fritsche-Neto, 2021).

A hibridação é um método altamente eficaz, pois ressalta o que foi anteriormente observado: a variabilidade genética na população. Esse processo envolve a fusão de gametas geneticamente distintos com o objetivo de obter indivíduos superiores com ampla base genética. Após a formação da população segregante, surgem várias estratégias para sua condução, sendo uma das mais amplamente adotadas a seleção recorrente, que gradualmente aumenta a frequência de alelos favoráveis para caracteres quantitativas (Borém; Miranda; Fritsche-Neto, 2021).

A estratégia de seleção deve levar em conta que a seleção de uma característica específica exige a presença do agente seletivo, que, no presente estudo, corresponde à resposta da planta à absorção de fósforo.

2.4 Panorama da produção de arroz

Mundialmente o cultivo de arroz ocupa uma área de mais de 150 milhões de hectares, sendo aproximadamente 23 milhões de hectares em condições de sequeiro (Balija, *et al.*, 2021; Müller, *et al.*, 2022; Beye, *et al.*, 2023).

No Brasil, a produção concentra-se na região Sul do país, sendo responsável por 83,35% da produção nacional na safra 2021/22 (Tabela 1), seguido por 8,15% da região Norte, 4,54% Centro-Oeste, 3,55% Nordeste e 0,41% da região Sudeste (CONAB, 2023). Essa produção distribui-se em 1,6 milhões de hectares, sendo 69,63% dessa área na região Sul, 11,62% Norte, 10,38% Nordeste, 7,64% Centro-Oeste e 0,72% Sudeste (CONAB, 2023).

Em relação à produtividade na mesma safra (2021/22), os melhores desempenhos foram de Sergipe (8.360 kg/ha), Rio Grande do Sul (7.995 kg/ha) e Santa Catarina (7.967 kg/ha); a média nacional foi de 6.666,88 kg/ha, sendo a região Sul que apresentou maior produtividade, com 7.989,51 kg/ha (Tabela 1) (CONAB, 2023).

Estimativas do 11º levantamento da CONAB em agosto de 2023 para safra 2022/23, aponta uma redução de 8,5% na área plantada no país, em todas as regiões. Destaca-se a região Centro-Oeste, que enfrenta uma perspectiva de redução da área plantada em 21,8%. Isso reflete em uma queda de 7,0% na produção nacional. No entanto, há uma previsão de aumento na produtividade nacional em 1,7%, com especial destaque para a região Sudeste, que projeta um ganho de 46,8% (Tabela 1) (CONAB, 2023).

O Estado de Minas Gerais, local do estudo, manteve a sua área de 3,0 mil hectares na safra 2022/23, com expectativa de aumento na produtividade em 21,1% e com produção saltando de 8,5 mil toneladas para 10,3 (Tabela 1) (CONAB, 2023).

Tabela 1 – Área, produtividade e produção brasileira de arroz por região na safra 2021/22 e perspectiva para safra 2022/23.

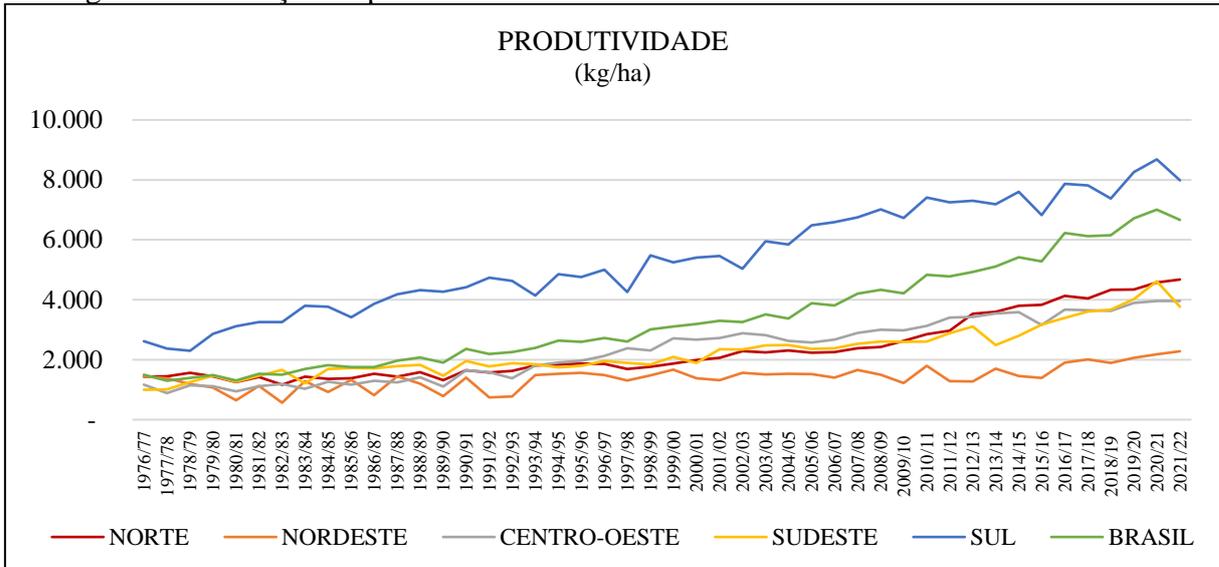
Região/UF	Área (mil ha)			Produtividade (kg/ha)			Produção (mil toneladas)		
	21/22	22/23	V. %	21/22	22/23	V. %	21/22	22/23	V. %
Norte	188,1	181,3	-3,6	4675,5	4806,2	2,8	879,4	871,3	-0,9
RR	12,0	12,0	0,0	7400,0	7592,0	2,6	88,8	91,1	2,6
RO	32,9	37,3	13,4	3201,0	3296,0	3,0	105,3	122,9	16,7
AC	3,7	3,7	0,0	1249,0	1170,0	-6,3	4,6	4,3	-6,5
AM	2,9	5,0	72,4	2800,0	3309,0	18,2	8,1	16,5	103,7
AP	0,9	0,9	0,0	1035,0	1017,0	-1,7	0,9	0,9	0,0
PA	35,2	34,3	-2,6	3152,7	3005,4	-4,7	111,0	103,1	-7,1
TO	100,5	88,1	-12,3	5579,2	6043,5	8,3	560,7	532,5	-5,0
Nordeste	168,0	161,1	-4,1	2281,2	2301,3	0,9	383,1	370,9	-3,2
MA	103,6	94,6	-8,7	2044,5	1994,7	-2,4	211,8	188,7	-10,9
PI	49,3	51,1	3,7	1778,9	1960,3	10,2	87,7	100,2	14,3
CE	5,0	5,4	8,0	3158,0	3647,7	15,5	15,7	19,7	25,5
RN	0,8	0,5	-37,5	3380,0	3540,0	4,7	2,7	1,8	-33,3
PB	1,1	1,4	27,3	1873,0	1914,0	2,2	2,1	2,7	28,6
PE	0,2	0,2	0,0	7200,0	7325,0	1,7	1,4	1,5	7,1
AL	1,8	1,8	0,0	5500,0	8600,0	56,4	9,9	15,5	56,6
SE	6,2	6,1	-1,6	8360,0	6684,0	-20,0	51,8	40,8	-21,2
BA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Centro-Oeste	123,7	96,7	-21,8	3959,8	4209,8	6,3	489,8	407,1	-16,9
MT	93,3	74,9	-19,7	3559,4	3704,0	4,1	332,1	277,4	-16,5
MS	11,5	7,2	-37,4	6279,0	6675,0	6,3	72,2	48,1	-33,4
GO	18,9	14,6	-22,8	4525,0	5589,0	23,5	85,5	81,6	-4,6
DF	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sudeste	11,7	11,3	-3,4	3763,8	5524,7	46,8	44,1	62,4	41,5
MG	3,0	3,0	0,0	2836,5	3434,7	21,1	8,5	10,3	21,2
ES	0,1	0,1	0,0	3806,0	4040,0	6,1	0,4	0,4	0,0
RJ	0,3	0,3	0,0	3043,0	2777,0	-8,7	0,9	0,8	-11,1
SP	8,3	7,9	-4,8	4124,5	6441,5	56,2	34,3	50,9	48,4
Sul	1126,8	1030,1	-8,6	7980,5	8078,7	1,2	8992,4	8321,9	-7,5
PR	21,5	20,9	-2,8	7428,0	7646,7	2,9	159,7	159,9	0,1
SC	147,9	146,6	-0,9	7967,0	8374,0	5,1	1178,3	1227,6	4,2
RS	957,4	862,6	-9,9	7995,0	8039,0	0,6	7654,4	6934,4	-9,4
Brasil	1618,3	1480,5	-8,5	6666,9	6777,1	1,7	10788,8	10033,6	-7,0

Fonte: Adaptado da Séries Históricas das Safras (CONAB, 2023).

Nota: V%: variação em porcentagem.

Ao analisar o levantamento histórico das safras no Brasil (1976/77 a 2021/22) (CONAB, 2023), é possível notar um aumento significativo na produtividade de arroz ao longo dos anos (Figura 1). Segundo Müller *et al.*, (2022), esse aumento na produtividade, bem como na qualidade dos grãos, deve-se aos avanços científicos e tecnológicos na genética, aliados a boas práticas agrícolas.

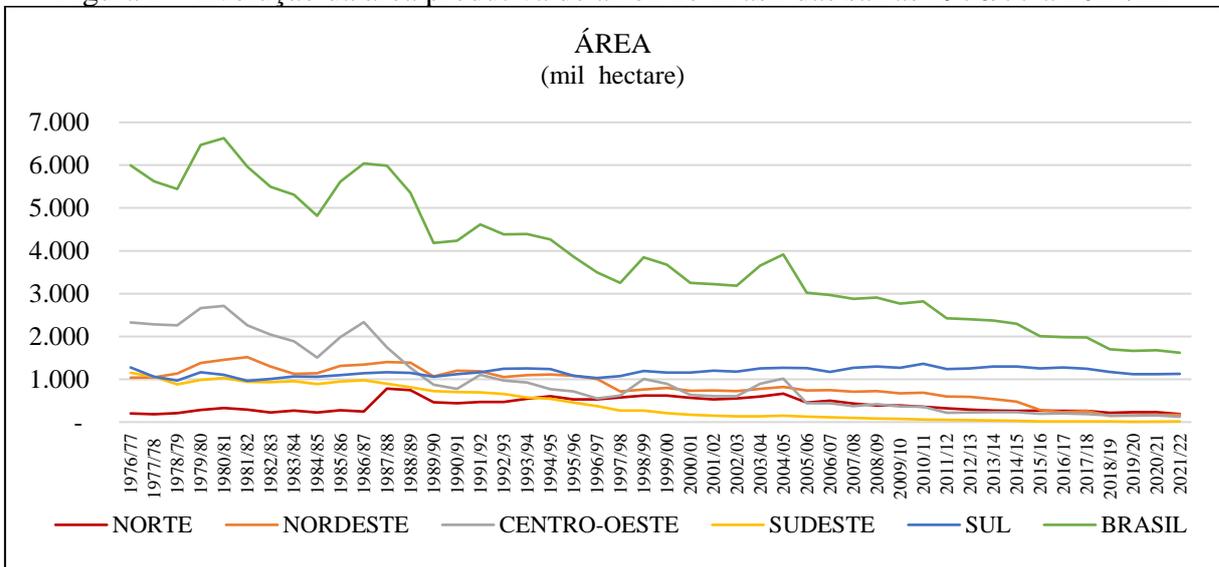
Figura 1 – Evolução da produtividade de arroz no Brasil das safras 1976/77 a 2021/22



Fonte: Adaptado da Séries Históricas das Safras (CONAB, 2023).

Em contrapartida, a área destinada ao cultivo de arroz tem diminuído nas últimas décadas (Figura 2), em função da expansão das áreas de soja e milho no Cerrado (EMBRAPA, 2020).

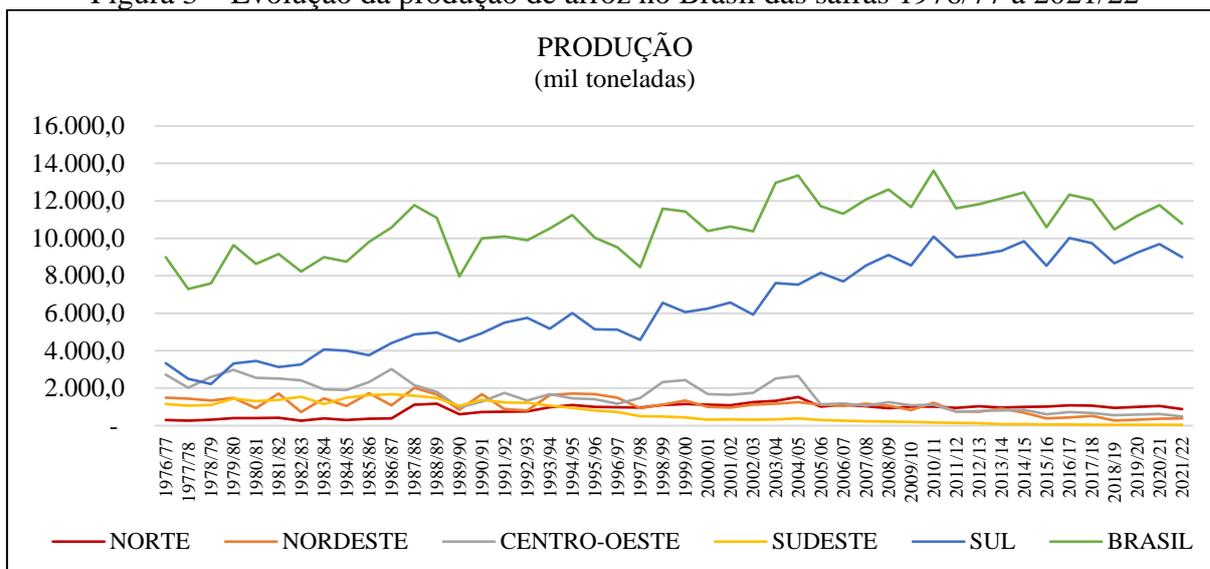
Figura 2 – Evolução da área produtiva de arroz no Brasil das safras 1976/77 a 2021/22



Fonte: Adaptado da Séries Históricas das Safras (CONAB, 2023).

Apesar desse declínio na área cultivada, a produção brasileira continua mantendo-se em torno de 10 milhões de toneladas anualmente (Figura 3).

Figura 3 – Evolução da produção de arroz no Brasil das safras 1976/77 a 2021/22



Fonte: Adaptado da Séries Históricas das Safras (CONAB, 2023).

O cultivo de arroz de sequeiro no Brasil na safra 2021/22 contribui com 7,3% da produção nacional, ocupando uma área de 19,5% do total (CONAB, 2023). As principais regiões de cultivo de arroz de terras altas encontram-se no cerrado, especialmente nos estados de Mato Grosso, Rondônia, Tocantins e Goiás, configurando-se como a maior área de produção de sequeiro da América Latina (Heinemann, *et al.*, 2019). Globalmente, o arroz de sequeiro representa 11% da produção mundial e é cultivado em cerca de 14 milhões de hectares (Tuhina-Khatun, *et al.*, 2015).

2.5 Manejo da fertilização fosfatada

Dentre os nutrientes minerais essenciais para as plantas, o fósforo destaca-se por desempenhar diversos papéis metabólicos cruciais (Shin *et al.*, 2004). Sendo um nutriente de baixa mobilidade no solo, é recomendável aplicá-lo durante o plantio, próximo às sementes, para que as raízes possam captá-lo mais facilmente, minimizando sua fixação no solo. A deficiência de fósforo na planta se manifesta primeiramente nas folhas mais antigas, que apresentam estreitamento e coloração bronzeada nas pontas. Além disso, a carência de fósforo também resulta em baixo perfilhamento, maturação tardia e uma alta porcentagem de grãos chochos (EMBRAPA, 2021).

Nos solos, o fósforo está presente em dois reservatórios básicos: o orgânico e o inorgânico. O fósforo orgânico faz parte da matéria orgânica do solo e da biomassa, não está imediatamente disponível para absorção pelas plantas. Já o fósforo inorgânico encontra-se

associado a cátions como cálcio (Ca), ferro (Fe) e alumínio (Al), sendo a forma absorvida pelas plantas o H_2PO_4^- , que é termodinamicamente estável na faixa de pH 6 a 6,5 (Smith; Dilday, 2002).

Uma opção viável e econômica para a adubação com fósforo é o mercado de termofosfato. No Brasil, esses termofosfatos são produzidos através da fusão de rochas fosfáticas ígneas a uma temperatura de aproximadamente 1.500°C . Além de serem excelentes fontes de fósforo, esses produtos também fornecem outros nutrientes, como magnésio (Mg) e silício (Si). Em média, eles contêm cerca de 18% de P_2O_5 total (Soares *et al.*, 2021; Sanagiotto *et al.*, 2022).

Ao contrário dos fertilizantes fosfatados solúveis, como o superfosfato simples, os termofosfatos são insolúveis em água, porém solúveis em ácido cítrico. Isso significa que, na presença da acidez natural do solo, há uma liberação gradual do fosfato, tornando sua utilização eficiente ao longo do ciclo da cultura, beneficiando as plantas com um suprimento constante de fósforo, disponível para absorção ao longo do ciclo das culturas (Soares *et al.*, 2021; Sanagiotto *et al.*, 2022; Stefanutt; Malavolta; Muraoka, 1995).

A legislação brasileira dispõe sobre o termofosfato na instrução normativa nº 39/MAPA de agosto de 2018, tratando sobre o teor, forma, solubilidade, granulometria e obtenção do nutriente (Tabela 2) (BRASIL, 2018).

Tabela 2 – Disposições sobre o termofosfato na legislação brasileira

Termofosfato	Teor (%)	Solubilidade do nutriente	Obtenção
Magnesiano	17% P ₂ O ₅ 4% Mg 16% Ca 8% Si	Fósforo teor total de P ₂ O ₅ mínimo de 11% em Ácido Cítrico a 2% na relação de 1:100. Cálcio, Magnésio e Silício teores totais. Granulometria: (1) Partículas passantes no mínimo 75% em peneira de 0,15 mm (ABNT n° 100); ou (2) Partículas passantes no mínimo 85% na peneira de 0,84 mm (ABNT n° 20).	Tratamento térmico da rocha fosfática, concentrado apatítico ou outras fontes de fósforo com adição de compostos calcínicos, magnesianos e silícicos.
Magnesiano Potássico	12% P ₂ O ₅ 3% K ₂ O 16% Ca 4% Mg 8% Si	Fósforo com teor total e mínimo de 6%, solúvel em ácido cítrico a 2% na relação 1:100. Potássio com teor solúvel em ácido cítrico a 2% na relação 1:100. Cálcio, Magnésio e Silício com teores totais.	A partir do tratamento térmico, realizado a uma temperatura mínima de 1000°C (fundição), é possível obter fósforo a partir da rocha fosfática ou de outras fontes, adicionando compostos magnesianos, potássicos e silicíficos.
Termo-Superfosfato	18% P ₂ O ₅ 1% Mg 10% Ca 2% S 1% Si	O teor de fósforo é determinado como P ₂ O ₅ total, com um mínimo de 16% de P ₂ O ₅ solúvel em Ácido Cítrico a 2% na relação de 1:100 e um mínimo de 5% de P ₂ O ₅ solúvel em água. Além disso, são medidos os teores totais de cálcio, enxofre, magnésio e silício.	A reação, seguida da granulação, do Termofosfato Magnesiano envolve a combinação com Superfosfato Simples e/ou Superfosfato Triplo, juntamente com o uso de Ácido Sulfúrico.

Fonte: Adaptado da instrução normativa n° 39/MAPA de agosto de 2018 (BRASIL, 2018).

A nutrição fosfatada adequada é fundamental para o crescimento saudável do arroz, pois desempenha um papel essencial no armazenamento e transferência de energia dentro da planta. Além disso, o fósforo é crucial para várias funções metabólicas, como a participação na fotossíntese, no metabolismo do carbono e nas reações de transferência de energia. Portanto, para maximizar o rendimento da cultura do arroz, é imprescindível adotar boas práticas no manejo da adubação fosfatada (Smith; Dilday, 2002, Shin *et al.*, 2004; EMBRAPA, 2021).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Genótipos estudados

Para a realização deste experimento, foram utilizadas oito linhagens (CMG 2162, CMG 2172, CMG 2185, CMG 2188, CMG 2085, CMG 1511, CMG 1977 e CMG 1987), que foram obtidas a partir do Programa de Melhoramento Genético de Arroz de Terras Altas/MelhorArroz da Universidade Federal de Lavras (UFLA) em parceria com a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Além disso, foram utilizadas duas cultivares comerciais (BRSMG CARAVERA e BRSMG RELÂMPAGO) como testemunhas, as quais fazem parte do programa (Tabela 3). Esses genótipos foram avaliados no âmbito do ensaio de Valor de Cultivo e Uso.

Tabela 3 – Genótipos estudados e sua origem.

Identificação	Cultivar/linhagem	Origem
1	CMG 2162	UFLA/EPAMIG
5	CMG 2172	UFLA/EPAMIG
7	CMG 2185	UFLA/EPAMIG
9	CMG 2188	UFLA/EPAMIG
10	CMG 2085	UFLA/EPAMIG
11	BRSMG CARAVERA	EMBRAPA/UFLA/EPAMIG
12	BRSMG RELÂMPAGO	EMBRAPA/UFLA/EPAMIG
13	CMG 1511	UFLA/EPAMIG
18	CMG 1977	UFLA/EPAMIG
20	CMG 1987	UFLA/EPAMIG

Fonte: Do autor (2023).

3.2 Instalação e delineamento

O experimento foi conduzido na safra 2021/22, durante o período de fevereiro (04/02/2022) a agosto (04/08/2022). Esta pesquisa foi realizada nas instalações do Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária da UFLA, localizado na cidade de Lavras, geograficamente situada nas coordenadas 21°14'S de latitude e 44°59'W de longitude. A altitude desse local atinge 919 metros acima do nível do mar, caracterizando um clima classificado como Cwa, conforme a classificação de Köppen, o que indica um clima subtropical úmido influenciado pelas monções.

O experimento foi estruturado utilizando o Delineamento de Blocos Casualizados (DBC), com três repetições, e adotou um arranjo fatorial envolvendo 10 genótipos e 4 combinações de fertilizantes, resultando assim em um total de 40 tratamentos distribuídos em 120 parcelas experimentais.

Cada unidade experimental consistiu em três linhas de três metros de comprimento, espaçadas entre si por uma distância de 0,17 metros. A densidade de semeadura aplicada foi de 90 sementes por metro linear, totalizando 270 sementes utilizadas em cada parcela. Com linhas laterais de cada parcela destinadas à função de bordadura, enquanto a linha central foi reservada para a observação e coleta da variável em estudo.

No que se refere às fontes de fertilizantes, foram empregadas: MAP (Monoamônio Fosfato), incluso como ponto de referência, dado que é uma fonte habitual de P_2O_5 na produção de arroz. Além disso, utilizaram-se o Termax P (Termofosfato Magnésiano), N_3P e N_5P como alternativas de fontes de fósforo. As concentrações específicas de $N-P_2O_5-K_2O$ para cada uma dessas fontes foram as seguintes: 10-50-00 para o MAP, 00-18-00 para o Termax P, 03-28-00 para o N_3P e 05-34-00 para o N_5P (Tabela 4).

Tabela 4 – Doses dos fertilizantes fosfatados estudados.

Fonte de P_2O_5	Dosagem
	(kg/ha)
MAP	200
Termax P	555,56
N_3P	377,14
N_5P	294,12

Fonte: Do autor (2023).

As fontes de fósforo empregadas no experimento foram o MAP, Termax, N_3P (combinação de 30% de MAP e 70% de Termax) e N_5P (combinação de 50% de MAP e 50% de Termax) (Tabela 5).

Tabela 5 – Composição química e granulométrica das fontes de fósforo.

Fonte de P_2O_5	P_2O_5	P_2O_5	N	Ca	Mg	Si	Granulometria Passante ABNT N° 20 (0,84 mm)
	(total)	(AC)	(total)				
MAP	50%	-	10%	-	-	-	85%
Termax P	-	18%	-	16%	7%	8%	85%
N_3P	-	28%	3%	-	-	-	85%
N_5P	-	34%	5%	-	-	-	-

Fonte: Do autor (2023).

Nota: AC; solúvel em ácido cítrico 2% (1:100).

Os tratos culturais foram realizados de acordo com a necessidade da cultura. Além da aplicação inicial da adubação fosfatada no momento do plantio na base, que é o foco deste estudo, foram efetuadas duas adubações nitrogenadas de cobertura: uma no estágio fenológico V3 e outra antes do perfilhamento.

Importante destacar que, antes do início do experimento, foi realizada análise química do solo (Tabela 6).

Tabela 6 – Análise química do solo experimental.

pH	K	P	Ca	Mg	Al	M.O
	mg/dm ³		cmol/dm ³		dag/kg	
6	117,28	3,20%	5,67%	1,35	0,1	3,17

Fonte: Do autor (2023).

3.3 Avaliação da massa de grãos

Para determinar a massa de grãos das linhagens e cultivares, após a colheita se realizou a retirada dos grãos das panículas de cada parcela e aferiu-se a massa (em grama), com umidade ajustada para 13%.

3.4 Análise estatística

O software de código aberto R-Studio, foi empregado para realizar a análises de variância. Considerando o delineamento em DBC, com três fatores (bloco, genótipos e combinação de fertilizantes), utilizando o modelo estatístico 1.

$$Y_{ijkl} = \mu + g_i + b_j + t_k + (gt)_{ik} + e_{ijkl} \quad (1)$$

Onde;

Y_{ijk} : observação referente ao i -ésimo genótipo, na j -ésima repetição, dentro k -ésima combinação de fertilizantes e l -ésima dosagem;

μ : constante associada às observações (média geral);

g_i : efeito fixo do i -ésimo genótipo ($i = 1, 2, \dots, 10$);

b_j : efeito fixo da j -ésima repetição ($j = 1, 2$ e 3);

t_k : efeito fixo da k -ésima combinação de fertilizantes ($k = 1, 2, 3$ e 4);

$(gt)_{ik}$: efeito fixo da interação do i -ésimo genótipo com a k -ésima combinação de fertilizantes;

e_{ijk} : é o efeito do erro experimental associado à observação, sendo $e_{ijk} \sim N(0, \sigma_e^2)$.

4 RESULTADOS E DISCURSÕES

4.1 Análise de variância

O coeficiente de variação (CV) é uma medida de dispersão que desempenha um papel fundamental na experimentação agrícola, onde é conhecido como coeficiente de variação experimental (CV%). Expresso em porcentagem, o CV é amplamente utilizado e destaca-se como uma métrica essencial na avaliação da qualidade experimental. Entre as diversas escalas disponíveis, a desenvolvida por Pimentel-Gomes (1985) é a mais prevalente. Segundo o autor, $CV < 10\%$ é categorizado como alta precisão experimental, enquanto entre 10% e 20% é considerado mediamente preciso (Pimentel-Gomes, 1985).

Entretanto, é importante ressaltar que, apesar de sua ampla aceitação, alguns anos após a classificação de Pimentel-Gomes (1985), surgiram apontamentos e abordagens alternativas. Garcia (1989), propôs uma abordagem revisada para a classificação do CV%. Esse autor enfatizou a necessidade de levar em consideração não apenas a variável sob análise, mas também a categoria e o desenho experimental, a idade de avaliação e o número de repetições utilizadas na pesquisa. Além disso, a importância de desenvolver escalas específicas de CV% para cada cultura e característica avaliada tem sido destacada em estudos posteriores (Fritsche-Neto *et al.*, 2012).

A fonte de variação do fertilizante não apresentou significância, conforme indicado na Tabela 7. No entanto, os genótipos e a interação entre genótipos e fertilizantes mostraram significância.

Tabela 7 – Resumo da análise de variância para o caractere produção.

FV	GL	QM	Pr(>F)
Repetição	2	89,20 ^{NS}	0,0817
Genótipo (G)	9	1026,14*	0,0000
Fertilizante (F)	3	61,64 ^{NS}	0,1565
G*F	27	106,99*	0,0001
Erro	78	34,49	
CVe (%)		32,67	

Média geral (g)
17,97

Fonte: Do autor (2023).

Nota: FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; QM: quadrado médio. *: significativo ($P < 0,05$); NS: não significativo.

4.2 Desdobramento genótipos dentro de fertilizantes

A média geral do experimento foi estimada em 17,97g. No desdobramento genótipo dentro do nível de fertilizantes observou-se maior variação dos genótipos de 9,04g (CMG 2172) a 42,27g (CMG 2188). Em relação aos fertilizantes, com médias mais homogêneas: 15,91 (MAP), 18,17 (N₃P), 18,60 (N₅P) e 19,10 (Termax P) (Tabela 8). Esses resultados ressaltam a influência substancial entre os genótipos indicando a variabilidade genotípica, com diferenças notáveis em relação ao desempenho, enquanto os fertilizantes apresentaram médias mais consistentes entre si.

A diferença de massa do grão entre os genótipos reflete a diversidade genética em estudo. Sendo a massa de grão uma característica agrônômica essencial, que é influenciada por variações ambientais em especial relacionada à nutrição, onde é determinada pelo tamanho e formato dos grãos. Essa característica, de natureza complexa, é controlada por um grande número de loci de características quantitativas (QTLs). A expressão elevada de certos genes entre esses loci resulta em um aumento no rendimento dos grãos. Isso se traduz em um incremento na casca das espiguetas, no número de células e no processo de enchimento dos grãos (Duan *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2021; Ma *et al.*, 2019).

Para fontes de fertilizantes MAP, N₃P e N₅P a linhagem CMG 2188 superou todos os genótipos, inclusive as testemunhas conforme evidenciado pelo teste de Scott-Knott (1974) com uma significância de 5%. Para o fertilizante Termax P os melhores desempenhos foram das linhagens CMG 2188, CMG 2185 e da cultivar BRSMG CARAVERA. Além disso, outros genótipos se sobressaíram para o tratamento Termax P, ao qual foi observado maior média P (19,10g), indicando seu impacto positivo na produção de cultivares de arroz, como concluiu Sanagiotto *et al.* (2022) em seu estudo sobre o efeito do termofosfato na cultura do arroz (Tabela 8).

Para os fertilizantes estudados, a linhagem CMG 2188 demonstrou melhor performance, com média geral de 42,27g (Tabela 8). Assim como apontado por Lange *et al.* (2016), a aplicação de fertilizantes fosfatados resulta em aumento substancial da produtividade e melhoria da qualidade dos grãos de arroz de terras, quando comparada à ausência desse tipo

de adubação. A aplicação de termofosfato em cobertura exerce um impacto positivo nos componentes de produção do arroz (Sanagiotto *et al.*, 2022).

Tabela 8 – Desdobramento dos níveis genótipos dentro do nível de cada fertilizantes.

Genótipo	Fertilizante				Média (g)
	MAP	Termax P	N ₃ P	N ₅ P	
	Massa de grãos (g)				
BRSMG CARAVERA	12,93cA	31,93aA	15,72bB	14,90bB	18,87
BRSMG RELÂMPAGO	22,40bB	18,22bA	18,77bA	20,52bA	19,98
CMG 1511	11,60cA	13,76bA	15,20bA	13,68bA	13,56
CMG 1977	17,68cA	9,15cB	23,30bA	25,81bA	18,99
CMG 1987	12,19cA	5,66cA	13,94bA	17,76bA	12,64
CMG 2085	11,07cA	16,55bA	14,38bA	4,47cA	11,62
CMG 2162	21,31bB	18,07bA	13,86bA	14,46bA	16,93
CMG 2172	7,45cA	15,84bA	4,67bA	8,20cA	9,04
CMG 2185	5,62cB	25,60aA	16,38bA	15,91bB	15,88
CMG 2188	36,84aB	36,54aB	45,44aA	50,25aA	42,27
Média (g)	15,91	19,10	18,17	18,60	17,97

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Nota: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não se diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (1974) à 5% de probabilidade.

4.3 Desdobramento fertilizantes dentro de genótipos

As linhagens CMG 2162, CMG 2172, CMG 2085, CMG 1511, CMG 1987 e a cultivar BRSMG RELÂMPAGO, ao variar os fertilizantes a resposta fenotípica se manteve. Isto é, não tiveram distinção das médias pelo teste de Scott-Knott (1974). Independentemente do tipo de fertilizante utilizado, esses genótipos apresentaram uma baixa capacidade de resposta, resultando em rendimentos de grãos sem diferença significativa (Tabela 9).

Por outro lado, as linhagens CMG 2185, CMG 2188 e CMG 1977, juntamente com a cultivar BRSMG CARAVERA, exibiram respostas distintas em relação aos diferentes tipos de fertilizantes, conforme revelado pelo teste de Scott-Knott (1974) com um nível de significância de 5% (Tabela 9). Assim como Li *et al.* (2021) que encontro respostas significativamente diferentes no valor médio do rendimento de grãos ao estudar cultivares de arroz.

A linhagem CMG 2185 demonstrou capacidade de resposta ao alcançar o rendimento de grãos mais elevado quando submetida à combinação de Termax P, N₃P e N₅P, em contraste ao uso de MAP (Tabela 9).

Em contraste, a linhagem CMG 1977 apresentou menor desempenho dentro do tratamento Termax P, enquanto a cultivar BRSMG CARAVERA demonstrou um desempenho superior sob as mesmas condições de fertilização (Tabela 9).

Houve um incremento nas características avaliadas para a linhagem CMG 2188, quando submetida aos fertilizantes N₃P e N₅P (Tabela 9), destacando-se por sua resposta positiva a essas fontes específicas de nutrientes. Estes dados ressaltam a importância de considerar as características únicas das diferentes linhagens e cultivares ao selecionar os fertilizantes mais adequados para otimizar o rendimento das culturas.

O fósforo, conforme abordado em vários estudos (Fageria; Barbosa Filho, 2007), desempenha um papel crucial no aumento da produtividade da cultura de arroz de terras altas. De acordo com Fageria; Santos e Carvalho (2015), a aplicação de fontes de fertilização fosfatada resultou em um significativo aumento no rendimento de grãos dessa cultura, atingindo o rendimento máximo com a aplicação de 108 e 105 kg de P₂O₅ por hectare. Além disso, Mehra; Bipin e Giri (2016) sugerem que genótipos tradicionais de arroz de terras altas demonstraram maior eficiência na absorção de fósforo inorgânico.

Tabela 9 – Desdobramento dos níveis fertilizantes dentro do nível de cada genótipo.

Genótipo	Fertilizante	Massa de grãos (g)	Genótipo	Fertilizante	Massa de grãos (g)
CMG 2162	MAP	21,31 ^a	BRSMG CARAVERA	MAP	12,93b
	Termax P	18,07 ^a		Termax P	31,93a
	N ₃ P	13,86 ^a		N ₃ P	15,72b
	N ₅ P	14,46 ^a		N ₅ P	14,90b
	MAP	7,45 ^a		MAP	22,40a

CMG 2172	Termax P	15,84a	BRSMG RELÂMPAGO	Termax P	18,22a
	N ₃ P	4,67 ^a		N ₃ P	18,77a
	N ₅ P	8,20 ^a		N ₅ P	20,52a
CMG 2185	MAP	5,62b	CMG 1511	MAP	11,60a
	Termax P	25,60 ^a		Termax P	13,76a
	N ₃ P	16,38 ^a		N ₃ P	15,20a
CMG 2188	N ₅ P	15,91 ^a	CMG 1977	N ₅ P	13,68a
	MAP	36,84b		MAP	17,68a
	Termax P	36,54b		Termax P	9,15b
CMG 2085	N ₃ P	45,44 ^a	CMG 1987	N ₃ P	23,30a
	N ₅ P	50,25 ^a		N ₅ P	25,81a
	MAP	11,07 ^a		MAP	12,19a
	Termax P	16,55 ^a		Termax P	5,66a
	N ₃ P	14,38 ^a		N ₃ P	13,94a
	N ₅ P	4,47 ^a		N ₅ P	18,76a

Fonte: Do autor (2023).

Nota: Médias com letras idênticas não demonstram diferenças significativas entre si de acordo com o teste de Scott-Knott (1974) com um nível de significância de 5%.

De fato, aprimorar o manejo e o melhoramento genético, em conjunto com práticas de gestão aperfeiçoadas, desempenhará um papel fundamental na elevação da produtividade do arroz, resultando na redução das disparidades de rendimento. Especificamente, a identificação e o desenvolvimento de variedades de arroz adaptadas, que demonstram uma notável capacidade de absorção de nutrientes (Saito; Sokei; Wopereis, 2012), desempenham um papel crucial. Conforme observado por Wang; Pandey; e Feng (2020), as variedades melhoradas contribuíram significativamente para o aumento da produtividade do arroz em regiões de terras altas.

Santana; Souza e Gomes (2022) com o objetivo de examinar o futuro do cultivo do arroz de terras altas no Brasil, apontam que é imprescindível que a pesquisa com arroz de terras altas continue sendo realizada no país e disponibilizando tecnologias relevantes aos produtores, que auxiliem no aumento da produção. Em termos gerais, os resultados foram positivos: adoção de novas tecnologias e, conseqüentemente, melhoria da qualidade dos grãos comercializados.

5 CONCLUSÃO

Houve variabilidade genética entre os genótipos investigados, houve destaque no desempenho da linhagem CMG 2188, que se sobressaiu significativamente em termos de produção de massa de grãos. Além disso, os resultados indicam que a adubação fosfatada desempenhou um papel fundamental no aumento da produção, destacando-se positivamente.

REFERÊNCIAS

- ANSARIFAR, J.; ASHAVIZADEGAN, F.; WANG, L. Performance prediction of crosses in plant breeding through genotype by environment interactions. **Scientific Reports**, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68343-1>. Acesso em: 20 jul. 2023.
- BALIJA, V.; BANGALE, U.; PONNUVEL, S.; BARBADIKAR, K. M.; MADAMSHETTY, S. P.; DURBHA, S. R.; YADLA, H.; MAGANTI, S. M. Improvement of Upland Rice Variety by Pyramiding Drought Tolerance QTL with Two Major Blast Resistance Genes for Sustainable Rice Production. **Rice Science**, v. 28, n. 5, p. 493-500, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2021.07.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1672630821000688>. Acesso em: 19 jul. 2023.
- BEYE, A.; BILLOT, C.; RONFORT, J.; MCNALLY, K. L.; DIOUF, D.; GLASZMANN, J. C. Traces of introgression from cAus into tropical Japonica observed in African upland rice varieties. **Rice**, v. 16, n. 1, p. 12, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12284-023-00625-4>. Acesso em: 20 jul. 2023.
- BHATT, R., SINGH, P., HOSSAIN, A. TIMSINA, J. Rice–wheat system in the northwest Indo-Gangetic plains of South Asia: issues and technological interventions for increasing productivity and sustainability. **Paddy Water Environ**, v.19, p. 345–365, 2021. Disponível em: <https://doi-org.ez26.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10333-021-00846-7>. Acesso em: 05 set. 2023.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G.V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. 8. Ed. São Paulo: Oficina de textos, 2021.
- BRASIL. INSTRUÇÃO NORMATIVA, Nº. 39, DE 8 DE AGOSTO DE 2018. MAPA–Ministérios da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Dispõe sobre definições, exigências, especificações, garantias, registro de produto, autorizações, embalagem, rotulagem, documentos fiscais, propaganda e tolerâncias dos fertilizantes minerais destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 154, ago. 2018.
- BRESEGHELLO, F.; RANGEL, P. H. N.; DE MORAIS, O. P. Ganho de produtividade pelo melhoramento genético do arroz irrigado no Nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 399-407, 1999. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/XCtsGpQ7JqcWd77LKwNbV9F/?lang=pt>. Acesso em: 6 set. 2023.
- COLOMBARI FILHO, J. M.; DE RESENDE, M. D. V.; DE MORAIS, O. P.; DE CASTRO, A. P.; GUIMARÃES, É. P.; PEREIRA, J. A.; UTUMI, M. M.; BRESEGHELLO, F. Upland rice breeding in Brazil: a simultaneous genotypic evaluation of stability, adaptability and grain yield. **Euphytica**, v. 192, n. 1, p. 117-129, 2013. DOI:10.1007/s10681-013-0922-2. Acesso em: 20 jul. 2023.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries Históricas Das Safras**. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/900-arroz>. Acesso em: 19 jul. 2023
- COSTA, N.H.A.D.; SERAPHIN, J.C.; ZIMMERMANN, F.J.P. Nova proposta de classificação de coeficientes de variação para a cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.3, p.243-249, 2002.

- COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v. 40, n. 2, p. 436-443, 2000. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2135/cropsci2000.402436x>. Acesso em: 05 set. 2023.
- CRUSCIOL, C. A. C.; MAUAD, M.; ALVAREZ, R. D. C. F.; LIMA, E. D. V.; TIRITAN, C. S. Doses de fósforo e crescimento radicular de cultivares de arroz de terras altas. **Bragantia**, v. 64, p. 643-649, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/Kn5LTTktZTCHShT4d8bPcbm/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 6 set. 2023.
- DA CRUZ, R. P.; MILACH, S. C. K. Melhoramento genético para tolerância ao frio em arroz irrigado. **Ciência rural**, v. 30, p. 909-917, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/3HzT9DMCQ5Mtgmq8Xy6tq9C/>. Acesso em: 6 set. 2023.
- DA SILVA, J. G; NASCENTE, A. S.; DA SILVEIRA, P. M. Velocidade de semeadura e profundidade da semente no sulco afetando a produtividade de grãos do arroz de terras altas. **Colloquium Agrariae**, v. 13, n. 1, p. 77–85, 2017. Disponível em: <https://revistas.unoeste.br/index.php/ca/article/view/1825>. Acesso em: 6 set. 2023.
- DE CARVALHO, J. A. **Espaçamento e densidade de semeadura para arroz de terras altas de ciclo superprecoce**. 2006. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2006.
- DO NASCIMENTO, L. Á.; ABHILASHA, A.; SINGH, J.; ELIAS, M. C.; COLUSSI, R. Rice Germination and Its Impact on Technological and Nutritional Properties: A Review. **Rice Science**, v. 29, n. 3, p. 201-215, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2022.01.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1672630822000191>. Acesso em: 19 jul. 2023.
- Duan, P.; Rao, Y.; Zeng, D.; Yang, Y.; Xu, R.; Zhang, B.; Dong, G.; Qian, Q; Li, Y. SMALL GRAIN 1, which encodes a mitogen-activated protein kinase kinase 4, influences grain size in rice. *The Plant Journal*, v.77, p.547-557, 2014. Disponível em: <https://doi-org.ez26.periodicos.capes.gov.br/10.1111/tpj.12405>. Acesso em: 01 nov. 2023.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Descritores botânicos, agrônômicos e fenológicos do arroz (Oryza sativa L.)**. Circular técnica, 226. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2008. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAF-2009-09/28149/1/doc_226.pdf. Acesso em: 20 jul. 2023.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Minimização do risco por deficiência hídrica em arroz de sequeiro na região dos cerrados**. Circular técnica, 36. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/208469/1/circ36.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2023.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **O arroz de terras altas como estratégia para segurança alimentar, intensificação ecológica e adaptação à mudança do clima: rumo aos objetivos de desenvolvimento sustentável para o milênio**. Circular técnica, 252. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1121735/1/CNPAF2020ct252.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2023.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias para o cultivo do arroz de terras altas em sistema plantio direto na região do Cerrado**. Circular técnica, 94. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2021. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/223901/1/cir-tec-94.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2023.

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M.P. Dry-Matter and Grain Yield, Nutrient Uptake, and Phosphorus Use-Efficiency of Lowland Rice as Influenced by Phosphorus Fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 9-10, p. 1289-1297, 2007.

Disponível em:

https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00103620701328537?casa_token=9arPITxs_ggAAAAA%3ABoPDSB9IQEIE7HhnqAaQ288AHbEzLzSNF4mpZSprYLwWku1YTmhuotSJm4WwMtn7GJjBSYDLNwTLFRYc. Acesso em: 01 nov. 2023.

Fageria, N. K.; Santos, A. B.; Carvalho, M. C. S. Agronomic Evaluation of Phosphorus Sources Applied to Upland and Lowland Rice, **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.46, p. 1097-1111, 2015. DOI: 10.1080/00103624.2015.1018526. Acesso em: 01 nov. 2023.

FERRARI, S.; PAGLIARI, P.; TRETTEL, J. Optimum Sowing Date and Genotype Testing for Upland Rice Production in Brazil. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 8227, 2018. DOI: <https://doi-10.1038/s41598-018-26628-6>. Acesso em: 20 jul. 2023.

FRITSCHÉ-NETO, R.; VIEIRA, R. A.; SCAPIM, C. A.; MIRANDA, G. V.; REZENDE, L. M. Updating the ranking of the coefficients of variation from maize experiments. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 34, n. 1, p. 99-101, 2012.

GARCIA, Carlos Henrique. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**. IPEF, 1989. 11 p. 1989.

HEINEMANN, A. B.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; REBOLLEDO, M. C.; COSTA NETO, G. M. F.; CASTRO, A. P. Upland rice breeding led to increased drought sensitivity in Brazil.

Field Crops Research, v. 231, 2019, p. 57-67. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.11.009>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429018306324>. Acesso em: 20 jul. 2023.

JIAYING, M.; TINGTING, C.; JIE, L.; WEIMENG, F.; BAOHUA, F.; GUANGYAN, L.; HUBO, L.; JUNCAI, L.; ZHIHAI, W.; LONGXING, T.; GUANFU, F. Functions of Nitrogen, Phosphorus and Potassium in Energy Status and Their Influences on Rice Growth and Development. **Rice Science**, v. 29, n. 2, pág. 166-178, 2022. Doi:

<https://doi.org/10.1016/j.rsci.2022.01.005>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1672630822000075>. Acesso em: 19 jul. 2023.

KHAKI, S.; KHALILZADEH, Z.; WANG, L. Predicting yield performance of parents in plant breeding: A neural collaborative filtering approach. **PLoS ONE**, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233382>. Acesso em: 20 jul. 2023.

LANGE, A.; DIEL, D.; CARVALHO, F. F.; MACHADO, R. A.; ZANUZO, M. R.; DA SILVA, A.; BUCHELT, A. C. Fontes de fósforo na adubação corretiva em arroz de terras altas em cultivo de primeiro ano. *Revista de ciências agroambientais*, v. 14, n. 1, 2016.

Disponível em: <https://periodicos2.unemat.br/index.php/rcaa/article/view/1412>. Acesso em: 6 set. 2023.

Li, X.; Huang, L.; Peng, S.; Wang, F. Inter-annual climate variability constrains rice genetic improvement in China. **Food and Energy Security**, v. 10, n. 4, p. 299, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary-wiley.ez26.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1002/fes3.299>. Acesso em: 02 nov. 2023.

MA, X.; FENG, F.; ZHANG, Y.; ELESAWI, I. E.; XU, K.; LI, T.; MEI, H.; LIU, H.; GAO, N.; CHEN, C.; LUO, L.; YU, S. A novel rice grain size gene OsSNB was identified by genome-wide association study in natural population. **PLoS Genetics**, v. 15, n. 5, p. 20, 2019. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosgenetics/article?id=10.1371/journal.pgen.1008191#sec015>. Acesso em: 01 nov. 2023.

MEHRA, P.; PANDEY, B. K.; GIRI, J. Comparative morphophysiological analyses and molecular profiling reveal Pi-efficient strategies of a traditional rice genotype. **Frontiers in plant science**, v. 6, p. 1184, 2016. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2015.01184/full>. Acesso em: 01 nov. 2023.

MEUS, L. D. **Potencial e lacuna de produtividade em arroz irrigados na Argentina e fatores de manejo que afetam a produtividade**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia de água e solo) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2021.

MÜLLER, A.; NUNES, M. T.; MALDANER, V.; CORADI, P. C.; MORAES, R. S.; MARTENS, S.; LEAL, A. F.; PEREIRA, V. F.; MARIN, C. K. Rice Drying, Storage and Processing: Effects of Post-Harvest Operations on Grain Quality. **Rice Science**, v. 29, n. 1, p. 16-30, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2021.12.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1672630821000998>. Acesso em: 19 jul. 2023.

NASCENTE, A. S.; KLUTHCOUSKI, J.; RABELO, R. R.; OLIVEIRA, P. D.; COBUCCI, T.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade do arroz de terras altas em função do manejo do solo e da época de aplicação de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 60-65, 2011. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/index.php/pat/article/view/6509>. Acesso em: 05 set. 2023.

ONU - Organização das Nações Unidas. **População mundial atinge 8 bilhões de pessoas**. 2019. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2022/11/1805342>. Acesso em: 20 jul. 2023.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**, São Paulo: Nobel, 1985. p.467.

SAITO, K.; SOKEI, Y.; WOPEREIS, M. C. S. Enhancing rice productivity in West Africa through genetic improvement. **Crop Science**, v. 52, n. 2, p. 484-493, 2012.

SANAGIOTTO, R.; DOS SANTOS, T. A.; DE ABREU, M. G. P.; MIOTTI, A. A.; LEITE, H. M. F.; DA SILVA, A. N. Efeito do termofosfato em cobertura nos componentes de produção e produtividade de cultivares de arroz. **Nativa**, v. 10, n. 2, p. 163-169, 2022. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v10i2.12690>. Acesso em: 21 de jul. 2023.

SANTANA, C. A. M.; SOUZA, G. D. S.; GOMES, E. G. O futuro do arroz de terras altas no Brasil: cultivo de oportunidade. **Revista de Política Agrícola**, v. 31, n. 2, p. 51, 2022. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1144696/1/O-futuro-do-arroz.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2023.

SHIN, H.; SHIN, H. S.; DEWBRE, G. R.; HARRISON, M. J. Phosphate transport in Arabidopsis: Pht1; 1 and Pht1; 4 play a major role in phosphate acquisition from both low-and high-phosphate environments. **The Plant Journal**, v. 39, n. 4, p. 629-642, 2004. DOI: 0.1111/j.1365-313X.2004.02161.x. Acesso em: 21 de jul. 2023.

SMITH, C. W; DILDAY, R. H. (Ed.). **Rice: origin, history, technology, and production**. John Wiley & Sons, 2002.

SOARES, J. P. G.; RAMOS, A. K. B.; BRAGA, G. J.; MARCHI, G.; OLIVEIRA, E. R. de; GANDRA, J. R.; FERNANDES, F. D.; OLIVEIRA, A. D. de; MALAQUIAS, J. V.; MARTINS, E. S. Pasture organic management using thermopotassium and thermophosphate in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.01469>. Acesso em: 21 de jul. 2023.

STEFANUTT, R.; MALAVOLTA, E.; MURAOKA, T. Recuperação do fósforo residual do solo, derivado de um termofosfato magnesiano com diferentes granulometrias e do superfosfato simples granulado. **Scientia Agricola**, v. 52, n. 2, pág. 233-238, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90161995000200005>. Acesso em: 21 de jul. 2023.

STRECK, N. A.; BOSCO, L. C.; MICHELON, S.; WALTER, L. C.; MARCOLIN, E. Duração do ciclo de desenvolvimento de cultivares de arroz em função da emissão de folhas no colmo principal. **Ciência Rural**, v. 36, p. 1086-1093, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/CPw6Gm3tYJwYPJFZrjqFKnP/>. Acesso em: 05 set. 2023.

TUHINA-KHATUN, M.; HANAFI, M. M.; YUSOP, M. R.; WONG, M. Y.; SALLEH, F. M.; FERDOUS, J. Genetic variation, heritability, and diversity analysis of upland rice (*Oryza sativa* L.) genotypes based on quantitative traits. **BioMed research international**, v. 2015, 2015. DOI: doi: 10.1155/2015/290861. Acesso em: 19 jul. 2023.

VIDOTTI, M. S. **Seleção recorrente na população CNA9 de arroz de terras altas para tolerância e responsividade ao fósforo**. 2015. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

WANG, H.; PANDEY, S.; FENG, L. Econometric analyses of adoption and household-level impacts of improved rice varieties in the uplands of Yunnan, China. **Sustainability**, v. 12, n. 17, p. 6873, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/17/6873>. Acesso em: 02 nov. 2023.

YANG, X.; LIU, Y.; HUANG, J.; TAO, Y.; WANG, Y.; SHEN, R.; ZHU, X. NaCl Facilitates Cell Wall Phosphorus Reutilization in Abscisic Acid Dependent Manner in Phosphorus Deficient Rice Root. **Rice Science**, v. 30, n. 2, p. 138-147, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2023.01.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1672630823000082>. Acesso em: 19 jul. 2023.