



ANA JÚLIA DA SILVA

**PROGRESSO GENÉTICO DE LINHAGENS DE ARROZ DE
TERRAS ALTAS PARA PRECOCIDADE E PRODUTIVIDADE
DE GRÃOS**

LAVRAS – MG

2025

ANA JÚLIA DA SILVA

**PROGRESSO GENÉTICO DE LINHAGENS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS PARA
PRECOCIDADE E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS**

Monografia apresentada à
Universidade Federal de Lavras, como
parte das exigências do Curso de
Agronomia, para a obtenção do título
de Bacharel.

Prof.(a) Dr.(a) Flávia Botelho

Orientadora

**LAVRAS – MG
2025**

ANA JÚLIA DA SILVA

**PROGRESSO GENÉTICO DE LINHAGENS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS PARA
PRECOCIDADE E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS
GENETIC PROGRESS OF UPLAND RICE LINES FOR EARLINESS AND GRAIN
YIELD**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Aprovado em 24 de Janeiro de 2025

Dr. (a) Yasmin Vasques Berchembrock UFLA

Dr. (a) Janine Magalhães Guedes Simão EPAMIG

Prof.(a) Dr.(a) Flávia Botelho

Orientadora

**LAVRAS – MG
2025**

RESUMO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma das culturas de maior importância global, sendo cultivado e consumido em todos os continentes do mundo. Para atender à crescente demanda e implantar o arroz em sistemas de produção mais eficientes, o foco tem sido a seleção de variedades com ciclos de crescimento mais curtos, maior produtividade e grãos de melhor qualidade. O objetivo deste trabalho foi analisar, no âmbito do programa de melhoramento de arroz de terras altas, desenvolvido em parceria com a Embrapa Arroz e Feijão e a EPAMIG, o progresso dos genótipos ao longo dos últimos seis anos. Para isso, foram analisados dados oriundos dos experimentos de Valor de Cultivo e Uso (VCU) das safras de 2018/19 a 2023/24, realizados em três diferentes ambientes, abrangendo um total de 54 linhagens e 18 ambientes, incluindo locais e anos agrícolas. Os experimentos seguiram um delineamento em blocos casualizados (DBC), com três repetições, em que cada parcela foi composta por cinco linhas de quatro metros, com espaçamento de 0,35 metros. Avaliou-se as seguintes características: produtividade de grãos, número de dias para o florescimento e a severidade da brusone (*Magnaporthe oryzae*). As análises para estimar o progresso genético foram feitas a partir de modelos lineares mistos e foi obtido um ganho de -3,061 dias para florescimento, um acréscimo de 63,66 kg/ha e -0,0196 unidades na escala de notas para brusone, além de uma taxa de renovação de 28,33 % para os genótipos em todas as seis safras avaliadas. Os resultados enfatizam o sucesso na seleção e renovação de genótipos de arroz de terras altas, dentro do programa de melhoramento genético da cultura, fato que vislumbra na recomendação de linhagens superiores para a sua inserção no sistema de produção em Minas Gerais.

Palavras – chave: *Oryza sativa*, melhoramento genético, eficiência de seleção.

Abstract

Rice (*Oryza sativa* L.) is one of the most globally significant crops, cultivated and consumed on every continent. Accordingly, to integrate rice into production systems and promote increased yield, there has been a focus on selecting rice varieties with shorter growth cycles, higher productivity, and better grain quality to meet this demand. The objective of this study was to analyze, within the upland rice breeding program in partnership with Embrapa Arroz e Feijão and EPAMIG, the progress of genotypes over the past six years. To achieve this, data from Value for Cultivation and Use (VCU) experiments for the 2018/19 to 2023/24 harvests were analyzed. These experiments were conducted in three different environments, encompassing a total of 54 lines and 18 environments, including various locations and agricultural years. The experiments followed a randomized complete block design (RCBD) with three replications. Each plot consisted of five rows of four meters, spaced 0.35 meters apart. The following traits were evaluated: grain yield, number of days to flowering, and blast severity (*Magnaporthe oryzae*). Genetic progress was estimated using mixed linear models, revealing a reduction of 3.061 days to flowering, an increase of 63.66 kg/ha in yield, and a decrease of 0.0196 units on the blast severity rating scale. Additionally, a 28.33% renewal rate for genotypes was observed across all six evaluated harvests. The results highlight the success in selecting and renewing upland rice genotypes within the genetic breeding program, supporting the recommendation of superior lines for integration into production systems in Minas Gerais.

Keywords: *Oryza sativa*, genetic breeding, selection efficiency.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. REFERENCIAL TEÓRICO	6
2.1 Cenário da Cultura do Arroz no Brasil e no Mundo	6
2.2 Progresso Genético	8
3. HIPÓTESE	9
4. MATERIAL E MÉTODOS	9
4.1 Locais e safras da condução dos experimentos	9
4.2 Material genético e características avaliadas	10
4.3 Plano experimental e condução dos experimentos	11
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
6. CONCLUSÃO	19
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma das culturas mais importantes do mundo, desempenhando um papel crucial na alimentação de mais da metade da população global (FAO, 2021). Cultivado em todos os continentes, o arroz ocupa o terceiro lugar em produção global entre os grãos, superado apenas pelo milho e pelo trigo (FAO, 2020). A área total dedicada ao cultivo de arroz foi de aproximadamente 167 milhões de hectares em 2020, com a Ásia respondendo por mais de 90% dessa produção (FAO, 2020).

A importância econômica do arroz vai além de seu valor como alimento básico. Em muitos países, ele é uma fonte primária de renda para milhões de pequenos agricultores. Além disso, sua cadeia produtiva gera emprego e movimentada indústrias relacionadas à produção de insumos, transporte, beneficiamento e comercialização (HEINEMANN et al., 2019). No Brasil, o arroz é uma cultura de grande relevância socioeconômica, ocupando posição de destaque como um dos principais alimentos consumidos no país. Para a safra 2023/2024, a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) estimou uma produção de arroz em casca de aproximadamente 10,6 milhões de toneladas, destacando o Brasil como um dos maiores produtores fora da Ásia. Além disso, a Conab estima que a safra brasileira 2024/25 de arroz será 13,2% maior que a safra 2023/24, projetada em, aproximadamente, 12 milhões de toneladas. (CONAB, 2025).

A versatilidade da cultura permite seu cultivo em diferentes sistemas de cultivo, como arroz irrigado e de terras altas, atendendo às necessidades alimentares de comunidades em contextos tão variados quanto as planícies alagadas do Sudeste Asiático e as regiões montanhosas da África (XIA et al., 2019). No entanto, o aumento da demanda global, aliado às mudanças climáticas e à crescente pressão sobre os recursos naturais, exige soluções inovadoras para garantir a sustentabilidade da produção e a segurança alimentar no futuro.

A inserção do arroz em diversos sistemas de cultivo é uma estratégia crucial para ampliar a produção e suprir a crescente demanda global por alimentos. Nesse contexto, a aplicação de métodos de melhoramento genético é indispensável para o desenvolvimento de cultivares mais precoces, produtivas e adaptadas às mudanças climáticas. Assim, compreender a relevância econômica e social dessa cultura, além de explorar estratégias para otimizar sua produção, é fundamental para atender às necessidades alimentares do mundo. Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo estudar a eficiência na seleção de genótipos de arroz ao longo de seis anos

agrícolas, visando produtividade de grãos, precocidade e menor severidade de brusone em linhagens dos Ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU), pertencentes ao Programa de Melhoramento Genético de Arroz de Terras Altas da Universidade Federal de Lavras, MG.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cenário da Cultura do Arroz no Brasil e no Mundo

A domesticação do arroz cultivado, *Oryza sativa* L., ocorreu há cerca de 10.000 anos, a partir de seu ancestral selvagem, *Oryza rufipogon*. Desde então, o arroz desempenha um papel central na nutrição humana, sendo uma das inovações tecnológicas mais importantes na história da Ásia (Wei & Huang, 2018). O gênero *Oryza* inclui 24 espécies, mas apenas duas, *O. glaberrima* e *O. sativa*, são cultivadas (Ge et al., 2002). A espécie *O. sativa* é diploide, com 24 cromossomos, e possui um genoma compacto com alta densidade gênica. Devido à sua natureza predominantemente autógama, o fluxo gênico no arroz cultivado é limitado, o que resultou na perda de mais de 75% da diversidade genética presente no arroz selvagem durante o processo de domesticação e seleção artificial (Zhu et al., 2007).

Embora o arroz tenha origem asiática, ele é cultivado em mais de 120 países e ocupa a terceira posição entre os grãos agrícolas mais produzidos no mundo. Em 2020, a área colhida globalmente foi de 167 milhões de hectares, liderada por Índia, China, Indonésia e Bangladesh, que juntos somam 67% dessa área (FAO, 2020). Nas últimas cinco décadas, a área plantada aumentou em cerca de 42%, continuando a crescer gradualmente. O arroz é alimento básico para mais de 50% da população mundial, especialmente em países emergentes, onde sua cadeia produtiva tem impacto direto na renda, saúde e bem-estar social da população.

Do ponto de vista nutricional, o arroz é uma excelente fonte de energia devido ao seu alto teor de amido. Além disso, fornece proteínas, vitaminas, minerais e fibras, possuindo baixo teor de lipídeos. Nos países em desenvolvimento, onde o arroz é um dos principais alimentos da dieta, ele

é responsável por fornecer em média 715 kcal per capita por dia, representando 27% dos carboidratos, 20% das proteínas e 3% dos lipídeos consumidos (Kennedy & Burlingame, 2003).

No Brasil, a lavoura orizícola é dividida em dois sistemas de produção: várzeas e terras altas. O arroz de terras altas foi domesticado em regiões montanhosas sob condições de sequeiro, acumulando variância genética para resistência ao déficit hídrico (Xia et al., 2019). Esse sistema é caracterizado pelo cultivo fora das várzeas, com a demanda hídrica atendida pela precipitação ou, de forma suplementar, pela irrigação por aspersão. No entanto, segundo (Guimarães et al. 2006), o arroz de terras altas apresenta produtividades inferiores em comparação com o arroz de várzea, devido principalmente à instabilidade climática durante o cultivo.

Apesar de sua importância, a área plantada de arroz no Brasil tem diminuído, especialmente no caso do arroz de terras altas. O nono levantamento da safra 2021/22 indicou uma redução de 9,9% na produção em relação à safra anterior (CONAB, 2022). Estima-se que a produção brasileira projetada para 2028/29 seja de 10,6 milhões de toneladas, enquanto o consumo deverá ser de 11 milhões de toneladas. Diante desse cenário, a produtividade se tornará a principal variável para atender à demanda futura, visto que a área plantada deverá continuar a diminuir (MAPA, 2019).

O arroz de terras altas, embora contribua com apenas 8% da produção nacional, desempenha um papel econômico e social importante no cerrado brasileiro, especialmente nos estados de Mato Grosso, Rondônia, Tocantins e Goiás. Historicamente, tem sido utilizado no Brasil para a recuperação de áreas de pastagens degradadas, devido à sua capacidade de resistir a solos de baixa fertilidade e alto índice de plantas daninhas (Macedo, 2000; Reis, 1998).

No entanto, o arroz de terras altas enfrenta desafios em termos de produtividade quando comparado ao sistema inundado, principalmente devido ao menor investimento e à baixa tecnificação por parte dos produtores (Ferreira, 2005). As projeções indicam que, para atender às demandas alimentares dos próximos 20 anos, a produção mundial de arroz precisará aumentar em 30%. O desenvolvimento de cultivares de arroz de terras altas com alta produtividade e adaptabilidade oferece forte apelo socioeconômico, especialmente para garantir o abastecimento interno sem necessidade de aumentar as importações (Ferreira, 2002).

No Brasil, os programas de melhoramento de arroz de terras altas têm se concentrado na obtenção de cultivares produtivas, de ciclo curto, resistentes a brusone (*Magnaporthe oryzae*), com alta qualidade de grãos e adaptação específica a solos ácidos, típicos do cerrado (Saito et al., 2018). Desde a década de 90, a introdução de genótipos do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) e dos Estados Unidos acelerou o processo de melhoramento para alta produtividade e qualidade de grãos, visando principalmente zonas de produção favoráveis. O desenvolvimento da cultivar BRS Primavera, com qualidade de grão competitiva frente ao arroz de várzea, é um exemplo de sucesso no cenário brasileiro (Breseghello et al., 2011; Saito et al., 2018).

Do ponto de vista da iniciativa privada, a baixa densidade geográfica do arroz de terras altas no Brasil faz com que as empresas de sementes normalmente favoreçam cultivares de ampla adaptação, o que limita a exploração de variâncias relacionadas à interação genótipo x ambiente (Breseghello et al., 2011). Para obter ganhos genéticos mais elevados, o Programa de Melhoramento de Arroz de Terras Altas da UFPA visa a obtenção de linhagens mais adaptadas ao estado de Minas Gerais e a todo o Brasil, com o objetivo de atender às exigências do mercado consumidor e às necessidades dos produtores.

2.2 Progresso Genético

Em programas de melhoramento genético, é crucial monitorar a eficiência das estratégias de seleção adotadas por meio da obtenção de estimativas de ganho genético. Essas estimativas são fundamentais para uma análise crítica das estratégias utilizadas ao longo do tempo, permitindo o desenvolvimento de novas abordagens. A quantificação e identificação dos fatores responsáveis pelo progresso genético são, portanto, de extrema importância para o sucesso desses programas.

Diversos estudos têm sido realizados para estimar o progresso genético em arroz, especialmente no que se refere à produtividade. Peng et al. (2000) estimaram o progresso genético em arroz irrigado no período de 1966 a 1995, avaliando 12 cultivares desenvolvidas pelo IRRI. No Brasil, (Breseghello et al. 1999) encontraram um ganho genético de 0,8% ao ano para arroz de terras altas no nordeste do país. De modo semelhante, (Breseghello et al. 2011) identificaram um ganho

genético de 0,67% no programa de melhoramento genético de arroz de terras altas da Embrapa Arroz e Feijão para a região Centro-Oeste.

Alves et al. (2020) avaliaram a eficiência da seleção específica e por múltiplos caracteres para resistência às principais doenças da cultura do arroz ao longo de 12 anos, utilizando linhagens do Programa de Melhoramento Genético de Arroz de Terras Altas da UFLA. Os resultados mostraram que o programa apresentou alta eficiência na seleção de genótipos resistentes, utilizando a seleção por múltiplos caracteres.

Os principais métodos utilizados para estimar o ganho genético incluem: (I) a avaliação de cultivares antigas e recentes em um mesmo ambiente de cultivo e (II) meta-análises de séries históricas de dados biométricos, geralmente obtidos de ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) de linhagens elites.

Ambas as abordagens são eficazes para calcular estimativas válidas de ganhos genéticos. A comparação de cultivares em um mesmo ambiente tem a vantagem de permitir a avaliação dos genótipos sob condições agronômicas homogêneas. Por outro lado, a meta-análise, ao utilizar uma grande quantidade de dados, permite uma melhor amostragem da variação ambiental, incluindo genótipos lançados e não lançados pelo programa.

3. HIPÓTESE

Há ganho genético para as linhagens de arroz de terras altas advindo do programa de melhoramento da Universidade Federal de Lavras para as características agronômicas de produtividade, dias até o florescimento e severidade da brusone foliar.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Locais e safras da condução dos experimentos

Os VCU foram conduzidos em três municípios de Minas Gerais, Lavras, Lambari e Patos de Minas. Durante seis safras: 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022, 2022/2023, 2023/2024.

4.2 Material genético e características avaliadas

Foram utilizadas 54 linhagens dos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) do Programa de Melhoramento Genético de Arroz de Terras Altas da Universidade Federal de Lavras, conduzido pelo grupo Melhor Arroz, em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Arroz e Feijão e Epamig (**Tabela 1**).

Tabela 1. Safras consideradas na avaliação das características dias para florescimento produtividade e severidade de brusone.

ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5	ANO 6
1	21	6	30	21	21
2	2	2	15	39	48
3	3	8	35	3	3
4	4	28	21	4	49
5	5	12	27	37	37
6	6	9	36	6	6
7	22	15	8	36	36
8	8	17	3	40	50
9	9	3	29	38	38
10	23	4	4	41	41
11	24	14	6	42	42
12	12	29	2	43	51
13	25	30	28	29	29
14	14	31	33	44	52
15	15	26	14	45	45
16	16	21	12	30	53
17	17	32	37	46	46
18	26	33	38	35	54
19	19	34	31	47	47
20	27	27	17	27	27

Fonte: Do Autor (2025).

4.3 Plano experimental e condução dos experimentos

O delineamento experimental empregado, em todos os experimentos, foi o de blocos completos casualizados (DBC), com três repetições. As parcelas experimentais foram constituídas por cinco linhas de 4,0 m espaçadas em 0,35 m. Para evitar mistura varietal, as duas linhas externas de cada parcela foram desprezadas na colheita, sendo a área útil de 4,2 m². A densidade de semeadura foi de 80 sementes/metro em todos os locais/anos.

Durante a condução dos experimentos foram avaliadas as seguintes características:

a) Produtividade de grãos (PG):

Corresponde à extrapolação do peso dos grãos da área útil da parcela (4,2 m²), após colheita e secagem para 13% de umidade, para 10.000 m².

b) Número de Dias para florescimento (DF):

Corresponde ao número de dias do plantio até o florescimento de 50% das plantas da parcela.

c) Severidade de brusone:

Corresponde a severidade observada para cada genótipo no campo de acordo com a escala de notas.

Tabela 2. Escala de notas da brusone foliar no arroz.

Notas	Descrição
0	Nenhuma lesão
1	Pequenas manchas marrons do tamanho de uma ponta de alfinete ou manchas marrons maiores sem esporulação centro
3	Pequenas manchas cinzentas necróticas, arredondadas a ligeiramente alongadas, com cerca de 1-2 mm de diâmetro, com uma margem marrom distinta. As lesões são encontradas principalmente nas folhas inferiores.
5	Lesões estreitas ou ligeiramente elípticas, 1-2 mm de largura, mais de 3 mm de comprimento com margem marrom
7	lesão fusiforme larga com margem amarelo-acastanhada ou roxa
9	Pequenas lesões esbranquiçadas, cinzentas ou azuladas que coalescem rapidamente, sem margens distintas

Fonte: IRRI (2013).

4.4 Análise estatística

Os dados obtidos no presente trabalho foram analisados utilizando os pacotes (lme4, dplyr, ggplot2, emmeans) do software *R*. A partir disso foram realizadas análises de variância conjunta, ganho genético, e taxa de renovação considerando as características agronômicas de produtividade, dias até o florescimento e severidade da brusone foliar.

Foi utilizado o modelo linear misto com a seguinte estrutura:

$$Y_{ijklm} = \mu + Gi + S_m + L_j + R_k + (G \times S)_{im} + (G \times L)_{ij} + (S \times L)_{mj} + e_{ijklm}$$

Onde: Y_{ijklm} representa o fenótipo correspondente ao genótipo i avaliado na safra m no local j e repetição k ; μ é a média geral; S_m é o efeito fixo das safras; Gi corresponde ao efeito aleatório associado ao genótipo; L_j corresponde ao efeito aleatório associado aos locais; R_k aos efeitos aleatórios da repetição; $(G \times S)_{im}$, $(G \times L)_{ij}$ e $(S \times L)_{mj}$ aos efeitos aleatórios das interações entre genótipo e safra, genótipo e locais e safras e locais respectivamente; e e_{ijklm} representa erro experimental ou resíduo.

O ganho genético foi estimado por meio de uma regressão linear simples, onde a média ajustada (BLUP) para cada característica avaliada foi usada como variável dependente, e as safras foram utilizadas como variável independente.

A equação ajustada foi:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \epsilon$$

Onde: Y corresponde a média ajustada (BLUP) da severidade, produtividade ou dias para florescimento. X corresponde as safras numéricas; β_0 ao Intercepto da regressão; β_1 Inclinação da reta, que representa o ganho genético médio por safra, e resíduo.

A inclinação da regressão é uma estimativa direta da taxa de mudança ao longo do tempo. Usar BLUPs como entrada na regressão permitiu levar em conta efeitos aleatórios e corrigir variações experimentais.

A taxa de renovação dos genótipos foi calculada para avaliar a introdução de novos genótipos em cada safra ao longo do programa de melhoramento. Os genótipos presentes em cada safra foram

identificados, e a proporção de novos genótipos foi calculada em relação ao total de genótipos da safra anterior.

A fórmula utilizada foi:

$$\text{Taxa de Renovação (\%)} = \frac{\text{Número de genótipos novos } (N_t)}{\text{Número total de genótipos na safra anterior } (G_{t-1})} \times 100$$

Onde: N_t representa o número de novos genótipos introduzidos na safra t , e G_{t-1} é o número total de genótipos presentes na safra anterior ($t-1$).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para o progresso genético de arroz em relação às características dias para florescimento, produtividade e severidade de brusone são apresentados nas **Figuras 1 e 2** e mostram resultados muito positivos. As estimativas de BLUPs permitiram uma análise detalhada das médias ajustadas para cada genótipo ao longo de seis safras consecutivas.

Além disso, o cálculo do ganho genético e da taxa de renovação forneceram dados relevantes sobre a eficiência do programa de melhoramento. A análise do progresso genético ao longo das safras foi realizada utilizando médias ajustadas estimadas por modelos lineares mistos. O modelo considerou efeito fixo a safra e efeitos aleatórios como sendo os genótipos, locais, repetições e interações entre eles. A regressão linear das BLUPs em função das safras revelou um ganho genético de -3,061 dias para o florescimento, 63,66 kg/ha para a produtividade e -0,0196 unidades na escala de notas para brusone foliar por safra.

Esses resultados estão alinhados com estudos anteriores que destacam a importância de estratégias específicas para maximizar o ganho genético em programas de melhoramento. Por exemplo, Souza et al. (2007) quantificaram o progresso genético no melhoramento do arroz de terras altas no Brasil entre 1950 e 2001. Os resultados indicaram ganhos anuais de 0,3% para

cultivares precoces e 2,09% para cultivares de ciclo tardio, demonstrando avanços significativos na produtividade ao longo das décadas.

Este resultado indica uma tendência de progresso genético geral favorável para cada variável avaliada, refletindo o impacto do melhoramento genético e a resposta dos genótipos às condições experimentais. Os gráficos caterpillar (**Figura 1**) ilustram as BLUPs das safras, destacando o desempenho relativo para cada característica. Os valores ajustados acima da média geral foram considerados melhores para produtividade e piores para dias para florescimento e severidade de brusone, a linha pontilhada representa a média geral ajustada. Com a observação dos resultados apresentados, conseguimos identificar um melhor desempenho nas safras para florescimento, isso pode ser justificado pela priorização de genótipos precoces nas últimas safras analisadas. Apesar de avanços mais modestos em produtividade e severidade de brusone, o programa conseguiu equilibrar a seleção para múltiplas características, garantindo resultados positivos.

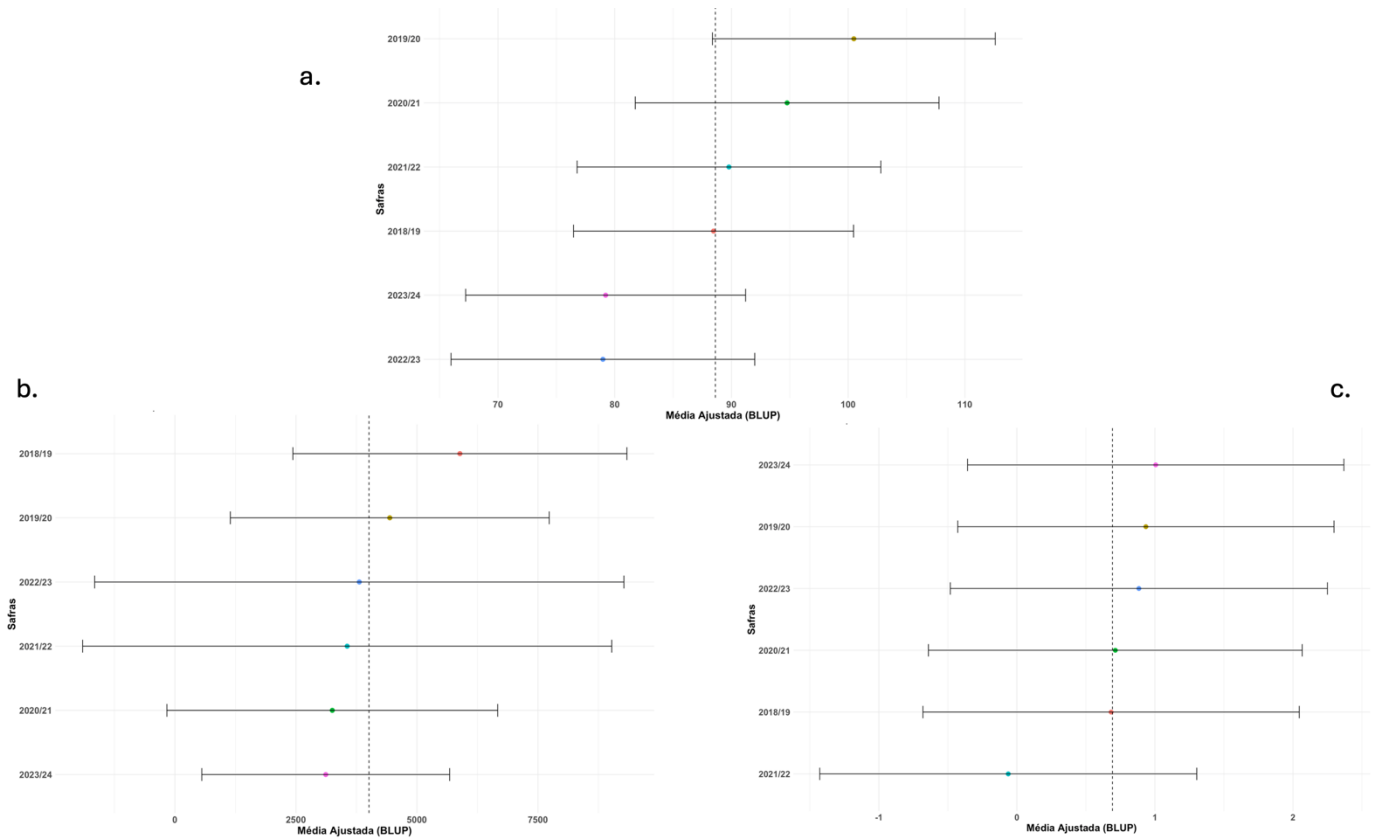


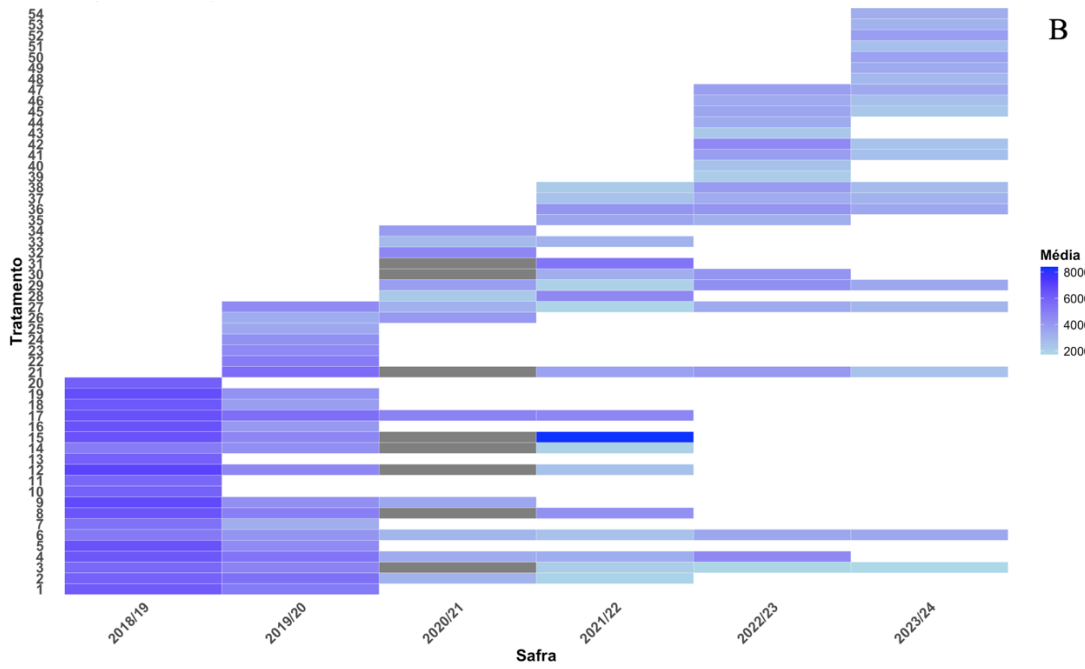
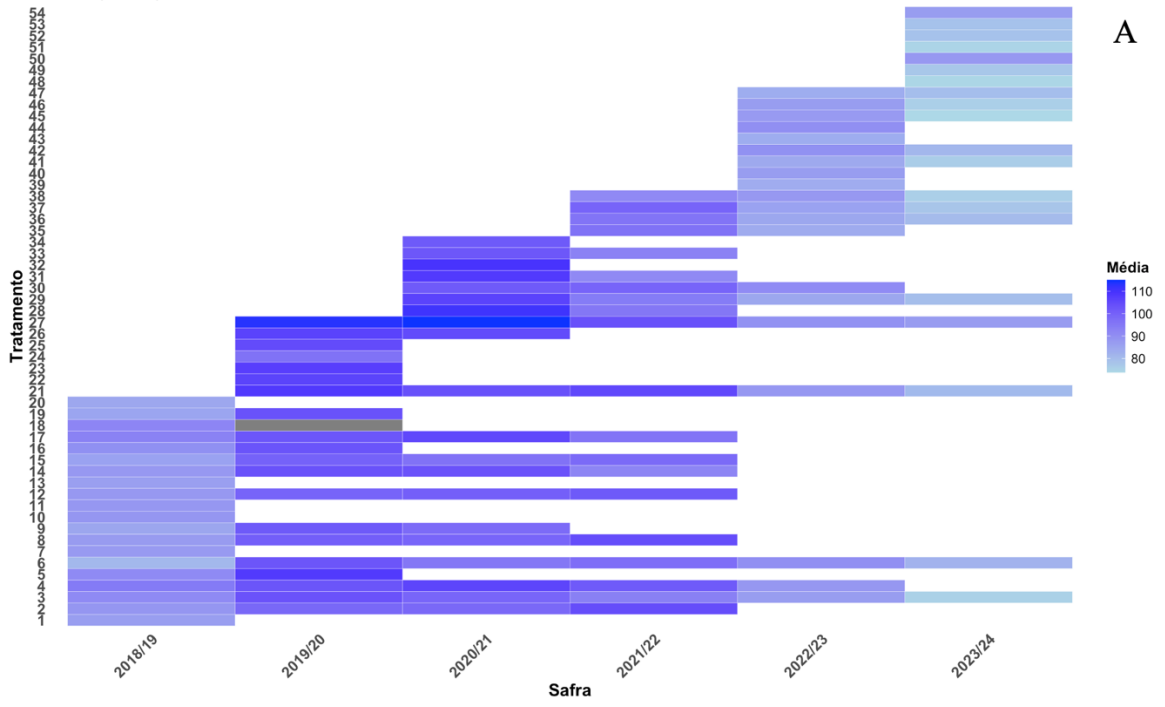
Figura 1. Gráfico caterpillar com as BLUPs de florescimento a; produtividade b; severidade de brusone c; por safra.

Os gráficos (Figura 2) foram utilizados para explorar as médias não ajustadas do número de dias para o florescimento, produtividade de grãos e severidade de brusone foliar, permitindo identificar padrões de desempenho ao longo das safras e entre os genótipos. Cada célula do gráfico representa a média dessas características para uma linhagem em uma safra específica, com a intensidade da cor indicando o desempenho: cores mais intensas correspondem a melhores médias para produtividade, enquanto cores menos intensas indicam melhores médias para dias para

florescimento e brusone. A utilização de representações gráficas, como o *heatmap*, facilita a visualização de dados complexos, permitindo uma interpretação mais intuitiva dos padrões de resposta dos genótipos em diferentes condições ambientais. Conforme destacado por Faria et al. (2013) , todo programa de melhoramento genético deve, periodicamente, ser submetido á análise crítica com relação ao seu desempenho, buscando metodologias que possam melhorar a sua eficácia. Nesse contexto, a estimativa do progresso genético constitui uma das opções utilizada nessa análise .

A análise visual dos gráficos destaca variações significativas entre genótipos em diferentes safras. Há genótipos se destacando para uma característica e não em outra, sugerindo sensibilidade às condições ambientais. Essa variação pode estar associada à interação genótipos x ambientes (GxE), um fator crítico em programas de melhoramento, especialmente em condições climáticas heterogêneas.

Segundo CHAVES (2001) a interação de genótipos com ambientes (GxE ou I) pode ser definida como GE sendo o efeito diferencial dos ambientes sobre os genótipos. Além disso, SQUILASSI (2003) cita que o conhecimento das relações entre genótipo e fenótipo em diferentes ambientes auxiliam em predições mais precisas sobre a resposta à seleção em espécies com habitats heterogêneos, quer espacial ou temporal.



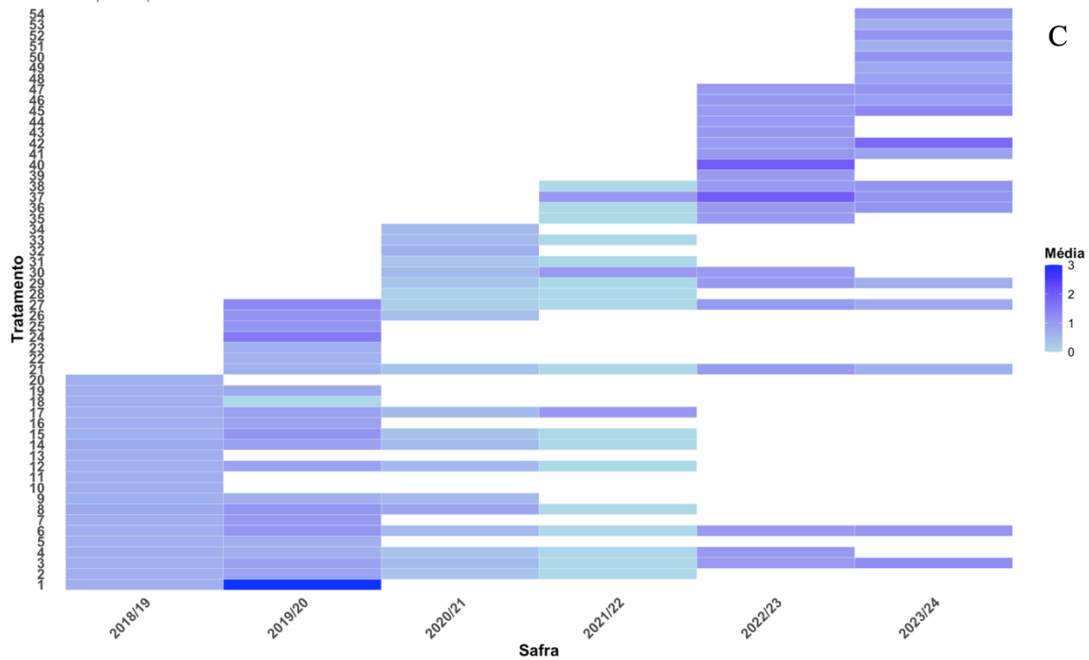


Figura 2. Heatmap representando as médias não ajustadas por genótipo e safra de florescimento a; produtividade b; severidade de brusone c. As intensidades de cor azul refletem os níveis das médias.

Os resultados das análises indicam que o progresso genético foi favorável para todas as características, refletindo a eficácia das estratégias de seleção empregadas. Além disso, o programa apresentou uma taxa de renovação média por todas as seis safras de 29 %, evidenciando a dinâmica de inclusão e substituição de genótipos ao longo do programa de melhoramento como é evidenciado na **Tabela 3**.

Tabela 3. Taxa de renovação de linhagens de arroz de terras altas em um período compreendido entre as safras 2018/19 a 2023/24.

De	Para	Genótipos Incluídos (Nt)	Total de Genótipos na Safra Anterior (Gt-1)	Taxa de Renovação (%)
2018/19	2019/20	7	20	35
2019/20	2020/21	6	20	30
2020/21	2021/22	4	20	20
2021/22	2022/23	5	20	25
2022/23	2023/24	7	20	35
MEDIA:				29%

Essa abordagem balanceada contribuiu para avanços genéticos sem comprometer a diversidade genética. A utilização de ferramentas estatísticas e gráficas, como o heatmap, auxilia na interpretação dos dados de melhoramento e na tomada de decisões. Essa visualização é útil para identificar padrões de desempenho consistentes entre genótipos e o impacto das substituições na eficiência do programa. Observa-se que genótipos com melhor desempenho para precocidade foram consistentemente mantidos, enquanto novos genótipos foram introduzidos para produtividade e resistência à brusone.

6. CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo evidenciam o sucesso do programa de melhoramento genético de arroz de terras altas da Universidade Federal de Lavras (UFLA) em atingir seus objetivos principais: reduzir os dias para florescimento e manter os níveis de produtividade de grãos. Portanto, os dados apresentados nessa pesquisa reforçam a importância do programa de melhoramento genético da UFLA no desenvolvimento de linhagens de arroz de terras altas adaptadas ao estado de Minas Gerais e a outras regiões do Brasil.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBRECHT, J.C. et al. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de trigo irrigado no Cerrado do Brasil Central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1727-1734, 2007.
- ALLARD, R.W., BRADSHAW, A.D. Implications of genotype-environment interaction in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v. 4, p. 503-508, 1964.
- ALVES, N. B. et al. Genetic progress of upland rice (*Oryza sativa* L.) lines for disease resistance. **Plant Breeding**, v. 139, n. 5, p. 853–861, 2020.
- AMORIM, E.P. et al. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de trigo no Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.65, p.575-582, 2006.
- BALESTRE, M. et al. Genotypic stability and adaptability in tropical maize based on AMMI and GGE biplot analysis. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 8, p. 1311- 1322, 2009.
- BONATO, E. R. **Estabilidade fenotípica da produção de grãos de dez cultivares de soja (*Glycine max* L. Merrill) nas condições do Rio Grande do Sul**. 1978. 75 f. Tese (Doutorado). - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- BOTELHO, F. B. S. et al. Melhoramento genético do arroz em Minas Gerais: avanços e perspectivas. In: Arroz: do campo à mesa. **Informe Agropecuário**, EPAMIG. v. 39, n. 301, 2018.
- BRASIL. **Instrução normativa nº6, de 16 de fevereiro de 2009**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 de fevereiro de 2009, seção 1, p. 3.
- _____. **Regras Para Análise de Sementes (RAS)**. Brasília: MAPA/Assessoria de Comunicação Social, 2009. 399 p.
- BRESEGHELLO, F., P.H.N. RANGEL, O.P. MORAIS. Ganho de produtividade pelo melhoramento genético do arroz irrigado no nordeste do Brasil. **Bras. J. Agric. Res.** 34:399–407. 1999.
- BRESEGHELLO, F. et al. Results of 25 Years of Upland Rice Breeding in Brazil. **Crop Science**, vol. 51. 2011.
- CARGNIN, A.; SOUZA, M.A.; FOGAÇA, C.M. Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade em trigo. **Revista Ceres**, v.55, p.243-250, 2008.
- CLAY, R. E.; ALLARD, R. W. A Comparison of the Performance of Homogeneous and Heterogeneous Barley Populations. **Crop Science**, v. 9, n. 4, 1969. doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci1969.0011183X000900040004x>.
- CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2024/25**, v.9, 2024

- CRUSCIOL, C.; ARF, O.; SORATTO, R.; MACHADO, J. Qualidade industrial e teores de nutrientes dos grãos do arroz de terras altas sob diferentes lâminas de água e níveis de adubação mineral. **Acta Scientiarum-agronomy**, v. 25, 23 abr. 2003. doi: 10.4025/actasciagron.v25i2.2050.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG, 1994. 390 p.
- DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução a análise AMMI**. Ribeirão Preto: ESALQ/USP, 1999. 60 p.
- EBERHART, S.A.; RUSSEL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v.6, p.36- 40, 1966.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Statistical Databases: Resources**. Rome: FAO, 2020.
- FERREIRA, C. M. et al. **Importância econômica e social do arroz no Brasil**. 2005.
- FERREIRA, C. M. et al. Padrões tecnológicos e econômicos do arroz de terras altas. Embrapa Arroz e Feijão - **Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2002.
- FINLAY, K. W.; WILKINSON, G. N. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. **Australian Journal of Agricultural Research**, p. 742–754, 1963
- GAUCH, H. G.; PIEPHO, H. P.; ANNICCHIARICO, P. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: further considerations. **Crop Science**, Madison, v. 48, p. 866-889, 2008.
- GHOSE, R. L. M., GHATGE, M. B.; SUB-RAHMANYAN, V. **Rice in India (Revised edn)**. New Delhi: ICAR, 1960. 474 p.
- GE, S. et al. Phylogeny of rice genomes with emphasis on origins of allotetraploid species. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 96, n. 25, p. 14400– 14405, 2002.
- GUIMARÃES, C. M. et al. Sistemas de cultivo. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2. Ed. Rev. e ampl. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, cap. 3, p. 53-96, 2006.
- HAIDER, Z.; AKHTER, M.; MAHMOOD, A.; KHAN, R. A. R. Comparison of GGE biplot and AMMI analysis of multi-environment trial (MET) data to assess adaptability and stability of rice genotypes. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 51, p. 3542-3548, 2017.
- HARDWICK, R. C.; WOOD, J. T. Regression methods for studying genotype-environment interactions. **Heredity**, v. 28, n. 2, p. 209–222, 1972. doi: 10.1038/hdy.1972.26.
- HEINEMANN, A. B. et al. Upland rice breeding led to increased drought sensitivity in Brazil. **Field Crops Research**, v. 231, p. 57–67, 2019.

- HILL, J. Genotype-environment interaction – a challenge for plant breeding. **The Journal of Agricultural Science**, v. 85, n. 3, p. 477–493, 27 dez. 1975. doi: 10.1017/S0021859600062365. Acesso em: 13 jun. 2022.
- HUEHN, M. Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. **Euphytica**, v. 47, n. 3, p. 189–194, 1990. doi: 10.1007/BF00024241.
- JOWETT, D. Yield Stability Parameters for Sorghum in East Africa. **Crop Science**, v. 12, n. 3, p., 1 maio 1972. doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci1972.0011183X001200030017x>.
- KENNEDY, G.; BURLINGAME, B. Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective. **Food Chemistry**, v. 80, n. 4, p. 589–596, 2003.
- KNAPP, S. J.; STROUP, W. W.; ROSS, W. M. Exact Confidence Intervals for Heritability on a Progeny Mean Basis. **Crop science**, v. v. 25, n. 1, p. 192-194–1985 v.25 no.1, 1985. doi: 10.2135/cropsci1985.0011183X002500010046x.
- LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar × location data. **Canadian Journal of Plant Science**, 68, 193-198, 1988.
- MACEDO, M. C. Motta; KICHEL, A. N.; ZIMMER, A. H. Degradação e alternativas de recuperação e renovação de pastagens. **Embrapa Gado de Corte-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2000.
- MANDEL, J. A new analysis of variance model for non-additive data. **Technometrics**, v.13, p.1-18, 1971.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2018/19 a 2028/29. Projeções de longo prazo** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. – Brasília: MAPA/ACE, 2019.126 p.
- MARIOTTI, J. A. et al. Análisis de estabilidad y adaptabilidad de genotipos de cana de azúcar. I. Interacciones dentro de un localidad experimental. **Revista Agronómica del Noroeste Argentino**, Tucumán, v. 13, n. 14, p. 105- 127, 1976.
- MORAIS, O. P. **Adaptabilidade, estabilidade de comportamento e correlações fenotípicas, genotípicas e de ambiente em variedades e linhagens de arroz (Oryza sativa L.)**. 1980. 70 f. Dissertação (Mestrado_ - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- MURAKAMI, D.M.; CARDOSO, A.A.; CRUZ, C.D.; BIZÃO, N. Considerações sobre duas metodologias de análise de estabilidade e adaptabilidade. **Ciência Rural**, v.34, p.71-78, 2004.
- NUVUNGA, J. J.; OLIVEIRA, L. A.; PAMPLONA, A. K. A.; SILVA, C. P.; LIMA, R. R.; BALESTRE, M. Factor analysis using mixed models of multi-environment trials with different levels of unbalancing. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 4, p. 14262–14278, 13 nov. 2015. doi: 10.4238/2015.November.13.10.

- OLIVEIRA, R. L. et al. Evaluation of maize hybrids and environmental stratification by the methods AMMI and GGE biplot. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 10, n. 3, p. 247-253, 2010.
- PENG, S., R.C. LAZA, R.M. VISPERAS, A.L. SANICO, K.G. CASSMAN, AND G.S. KHUSH. Grain yield of rice cultivars and lines developed in the Philippines since 1966. **Crop Sci.** 40:307–314. 2000.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2022. Disponível em: < <https://www.R-project.org/> >
- RANGEL, P.H.N., J.A. PEREIRA, O.P. MORAIS, E.P. GUIMARAES, AND T. YOKOKURA. Ganhos na produtividade de grãos pelo melhoramento genético do arroz irrigado no meio-norte do Brasil. **Bras. J. Agric. Res.** 35:1595–1604. 2000.
- REIS, J. C. L. Pastagens em Terras Baixas. **Embrapa Clima Temperado-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 1998.
- RESENDE, M. D. V.; THOMPSON, R. Factor analytic multiplicative mixed models in the analysis of multiple experiments. **Revista de Matemática e Estatística**, Marília, v. 22, p. 1- 22, 2004.
- SAITO, K. et al. Progress in varietal improvement for increasing upland rice productivity in the tropics. **Plant Production Science**, v. 21, n. 3, p. 145–158, 2018.
- SILVA, J. G. C. da. Análise da adaptabilidade através de regressão linear segmentada. 2. Aplicação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 4, 1995.
- SILVA, R. R.; BENIN, G. Análises Biplot: conceitos, interpretações e aplicações. **Ciência Rural**, v. 42, n. 8, p. 1404-1412, 2012.
- SMITH, A. B. et al. Factor analytic mixed models for the provision of grower information from national crop variety testing programs. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 128, p. 55-72, 2015.
- SOARES, A. A.; SANTOS, P. G.; MORAIS, O. P. de; SOARES, P. C.; REIS, M. D. S.; SOUZA, M. A. Progresso genético obtido pelo melhoramento do arroz de sequeiro em 21 anos de pesquisa em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 3, p. 415-424, mar. 1999.
- STEFANOVA, K. T.; BUIRCHELL, B. Multiplicative mixed models for genetic gain assessment in lupin breeding. **Crop Science**, Madison, v. 50, n. 3, p. 880- 891, 2010.
- STRECK, E. A. **Contribuição Genética do Melhoramento de Arroz Irrigado de Terras Baixas para o Rio Grande do Sul**. 146 f. Tese (Doutorado) - Programa de PósGraduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2017.

- STRECK, E. A.; AGUIAR, G. A.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de; FACCHINELLO, P. H. K.; OLIVEIRA, A. C. de. Phenotypic variability in genotypes of irrigated rice via multivariate analysis. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 101-109, 2018.
- TABIEN, R.E.; SAMONTE, S.O.P.B.; MCCLUNG, A.M.. Forty-eight years of rice improvement in Texas since the release of cultivar Bluebonnet in 1944. **Crop Science**, v.48, p.2097–2106, 2008.
- UATE, J. V. **Progresso genético e adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho avaliadas em ensaios de valor de cultivo e uso**. 2016. 78 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica no fitomelhoramento. [s.l.] **Sociedade Brasileira de Genética**, 1992.
- VERMA, M M et al. “Limitations of conventional regression analysis a proposed modification.” TAG. **Theoretical and applied genetics**. Theoretische und angewandte Genetik vol. 53,2 (1978): 89-91. doi:10.1007/BF00274335
- WEI, X.; HUANG, X. Origin, taxonomy, and phylogenetics of rice. In: **Rice**. Elsevier, 2018. p. 1–29
- XIA, H. et al. Bi-directional Selection in Upland Rice Leads to Its Adaptive Differentiation from Lowland Rice in Drought Resistance and Productivity. **Molecular Plant**, 2019.
- YAN, W; TINKER, A. Biplot analysis of multi environment trial data: principles and applications. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 86, n. 3, p. 623-645, 2006.
- YAN, W. et al. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. **Crop Science**, Madison, v. 40, p. 597–605, 2000.
- YAN, W. et al. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype by environment data. **Crop Science**, Madison, v. 47, p. 643-653, 2007.
- ZHU, Q. et al. Multilocus analysis of nucleotide variation of *Oryza sativa* and its wild relatives: Severe bottleneck during domestication of rice. **Molecular Biology and Evolution**, v. 24, n. 3, p. 875–888, 2007.
- ZOBEL, R. W.; WRIGHT, M. J.; GAUCH, H. G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**, v. 80, p. 388-393, 1988.