



**AMANDA MENDES DE MOURA**

**EFICIÊNCIA DA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE ARROZ DE  
TERRAS ALTAS VIA MODELOS MISTOS**

**LAVRAS - MG  
2017**

**AMANDA MENDES DE MOURA**

**EFICIÊNCIA DA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS VIA  
MODELOS MISTOS**

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

Profª. Dra. Flávia Barbosa Silva Botelho  
Orientadora

Prof. Dr. Adriano Teodoro Bruzi  
Coorientador

**LAVRAS – MG  
2017**

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

Moura, Amanda Mendes de.

Eficiência da Seleção de Genótipos de Arroz de Terras Altas via Modelos Mistos / Amanda Mendes de Moura. - 2017. 42 p.

Orientador(a): Flávia Barbosa Silva Botelho.

Coorientador(a): Adriano Teodoro Bruzi.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Melhoramento de Plantas. 2. Oryza sativa L. 3. Componentes de Variância. I. Botelho, Flávia Barbosa Silva. II. Bruzi, Adriano Teodoro. III. Título.

**AMANDA MENDES DE MOURA**

**EFICIÊNCIA DA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS VIA  
MODELOS MISTOS  
SELECTION EFFICIENCY OF UPLAND RICE GENOTYPES BY MIXED MODELS**

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

APROVADA em 12 de Abril de 2017.

Dr. Samuel Pereira Carvalho            UFLA

Dra. Paula Pereira Torga                EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO

Profa. Dra. Flávia Barbosa Silva Botelho  
Orientadora

Prof. Dr. Adriano Teodoro Bruzi  
Coorientador

**LAVRAS – MG  
2017**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida e pela bondade e misericórdia em ter colocado pessoas tão queridas ao longo da minha jornada, em que, sem elas, seria impossível a realização deste sonho.

Aos meus pais, Aloísio e Rosane, pela minha educação e ensinamentos que me tornaram quem sou hoje. E à Sandra Muncinelli, pelo grande carinho, e por ter me apoiado, jamais estaria aqui sem sua ajuda.

À minha irmã Aline e ao meu irmão Rubens, pelo companheirismo, amizade e força ao longo desses anos.

Aos meus tios, Janete e Olavo, que sempre me acolheram como filha, cuidando e me apoiando das mais diversas maneiras por toda a vida.

Ao Mostafa, pelo seu amor, pela sua confiança e fé em meus estudos e em minha carreira.

À minha orientadora Flávia, que foi fundamental nestes dois anos, mais que uma orientadora, foi uma amiga, nunca me deixando desanimar, mesmo diante das circunstâncias mais difíceis. Você foi minha fonte de força e perseverança e faltam palavras para descrever meu carinho, gratidão e admiração.

Aos meus amigos, pela amizade e companheirismo, especialmente aos amigos do grupo 'Melhor Arroz', pelo apoio e contribuição neste trabalho, pela convivência e amizade.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Programa de Fitotecnia/Agronomia, funcionários e professores, por todo o apoio para a minha formação.

À Embrapa e EPAMIG, especialmente ao Janir e sua equipe, por todo o auxílio na execução dos experimentos.

À Capes, pela concessão da bolsa de mestrado. Ao CNPq e à FAPEMIG, pelo fomento para a realização deste trabalho.

A todas as pessoas não mencionadas diretamente aqui, mas que contribuíram durante este percurso, auxiliando em minha formação, contribuindo também para a concretização de mais esta etapa.

A todos vocês, muito obrigada!

*“Os grandes navegadores, devem sua reputação  
às grandes tormentas e tempestades.” (Epicuro)*

## RESUMO

Dentro dos programas de melhoramento faz-se necessário a obtenção das estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos, ganhos genéticos e progresso ao longo dos anos, a fim de que se possa avaliar a eficiência do programa na condução e seleção das populações. Ao se trabalhar com diferentes anos de seleção, deseja-se que o programa seja dinâmico, com exclusão e inclusão de genótipos a cada ano. Ao final, os dados tornam-se desbalanceados e, nestes casos, os modelos mistos tornam-se ferramentas de suma importância na análise dos dados. Assim, objetivou-se estimar os parâmetros genéticos e fenotípicos, a fim de verificar a eficiência de seleção de genótipos nos ensaios preliminares do programa de melhoramento de arroz de terras altas da UFLA, por meio de modelos mistos. Os experimentos foram conduzidos, ao todo, em cinco ambientes, durante três safras e, a cada safra, foram utilizadas duas testemunhas comuns e 34 genótipos, totalizando 91 genótipos. As características avaliadas foram: produtividade de grãos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), altura de plantas (cm), dias até o florescimento e resistência à brusone foliar (escala de notas). Foram obtidos, além dos parâmetros genéticos e fenotípicos, ganhos esperados com a seleção, progresso genético, taxa de renovação (TR%) e dinamismo dos ensaios preliminares. Constatou-se eficiência na seleção de genótipos superiores a cada ano, com progresso genético para a produtividade de grãos de  $643 \text{ kg}(\text{ha}\cdot\text{ano}^{-1})$ , e redução do porte das plantas de  $1,14 \text{ cm}\cdot\text{ano}^{-1}$ .

**Palavras-chave:** *Oryza sativa* L. Componentes de variância. Melhoramento de plantas.

## ABSTRACT

It is necessary, within breeding programs, to obtain estimates of genetic and phenotypic parameters, genetic gains and progress over the years, in order to evaluate the efficiency of the program in the conduction and selection of populations. When working with different years of selection, it is desired that the program be dynamic, with exclusion and inclusion of genotypes each year. In the end, the data become unbalanced and, in these cases, the mixed models become tools of paramount importance in the analysis of the data. The objective of this study was to estimate genotypic and phenotypic parameters in order to verify the efficiency of genotypes selection in the preliminary trials of UFLA highland rice breeding program, using mixed models. The experiments were conducted in five environments during three harvests and, at each harvest, two common controls and 34 genotypes were used, totaling 91 genotypes. The evaluated characteristics were: grain yield ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), plant height (cm), days until flowering and resistance to leaf blast (scale of notes). In addition to the genetic and phenotypic parameters, expected gains were obtained with the selection, genetic progress, renewal rate (TR%) and dynamism of the preliminary tests. It was verified efficiency in the selection of genotypes superior to each year, with genetic progress for grain yield of  $643 \text{ kg} (\text{ha}\cdot\text{year}^{-1})$ , and reduction of plant size of  $1.14 \text{ cm}\cdot\text{year}^{-1}$ .

**Key words:** *Oryza sativa* L. Components of variance. Plant breeding.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Importância da cultura do arroz no Brasil.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>Melhoramento genético do arroz de terras altas .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3</b>	<b>Importância das estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos no processo de seleção .....</b>	<b>13</b>
<b>2.4</b>	<b>Modelos mistos no melhoramento de plantas.....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>Locais .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2</b>	<b>Material genético .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3</b>	<b>Características avaliadas.....</b>	<b>19</b>
<b>3.4</b>	<b>Condução dos experimentos e análises estatísticas .....</b>	<b>20</b>
<b>3.5</b>	<b>Estimativa dos parâmetros genéticos .....</b>	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>25</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>32</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>33</b>
	<b>APÊNDICE .....</b>	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, sendo responsável por alimentar mais da metade da população mundial (BOLIANI, 2012). Cerca de 90% da produção e do consumo mundial concentra-se na Ásia (FERREIRA et al., 2006). O Brasil destaca-se como o primeiro produtor fora da Ásia, ocupando o nono lugar no ranking mundial (FAO, 2015). No Brasil, são considerados dois grandes sistemas para a cultura do arroz, o cultivo inundado (várzea) e o cultivo em terras altas, também conhecido como arroz de sequeiro (ABADIE et al., 2005).

Para a sustentabilidade do arroz de terras altas e expansão da área de cultivo, é necessário a obtenção e utilização de cultivares mais produtivas e com grãos de alta qualidade, tornando-o competitivo em relação ao arroz de várzea (FERREIRA et al., 2006). Para tanto, é necessário avaliar os genótipos com alto potencial, considerando os parâmetros genéticos e a interação genótipos x ambientes, para identificar aqueles mais adaptados.

O Programa de Melhoramento de Arroz de Terras Altas da Universidade Federal de Lavras - UFLA, em parceria com a Embrapa Arroz e Feijão e a EPAMIG, foi criado em 1993, com objetivo de selecionar linhagens mais adaptadas ao estado de Minas Gerais, neste sistema de cultivo. Os principais objetivos iniciais do programa, que perdura até os dias atuais são: o desenvolvimento de cultivares precoces, com boa tolerância ao déficit hídrico associado à produtividade de grãos, resistência às principais doenças, e qualidades químicas, industriais e físicas dos grãos de arroz. O lançamento de tais genótipos de arroz permite auxiliar na manutenção da produção de arroz no Brasil, além da incorporação de áreas agrícolas antes inexploradas com a cultura.

O melhoramento genético de plantas emprega várias ferramentas ao longo dos processos de avaliação e seleção de genótipos que visam auxiliar o ganho genético após as gerações. Uma dessas ferramentas é a obtenção das estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos, tais como herdabilidades, correlações genéticas e fenotípicas, e ganhos esperados com a seleção, as quais apresentam suma importância, pois podem auxiliar sobremaneira na tomada de decisão. Além de direcionar os caracteres que devem ser selecionados, em etapas iniciais e avançadas de um programa, também auxiliam no estabelecimento de pesos que devem ser atribuídos a cada caráter (ROSSMAN, 2001).

Assim, tais estimativas auxiliam os melhoristas em relação à manutenção de determinadas progênies no programa de melhoramento, e a necessidade de ampliação da

variabilidade genética, por meio da introgressão de novos genótipos, especialmente no caso da cultura do arroz de terras altas que, além de ser cultivado em uma ampla extensão territorial, necessita de estratégias de melhoramento que visem consolidar seu ingresso nos diferentes sistemas produtivos.

Além disso, o sucesso do programa de melhoramento depende da habilidade do melhorista na escolha da melhor estratégia de condução das populações, para que sejam mantidos ganhos contínuos com a seleção (BORÉM; MIRANDA, 2005; RAMALHO et al., 2012). Nesse sentido, a obtenção das estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos é fundamental, uma vez que, essas estimativas permitem avaliar a eficiência de diferentes estratégias de melhoramento para obtenção de ganhos genéticos e manutenção de adequada base genética (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

Para avaliar a eficiência dentro do programa de melhoramento, é necessário trabalhar com várias safras, a fim de se quantificar o ganho ano a ano. Dentro dos programas, é esperado, devido ao dinamismo, que de um ano para outro se tenha a exclusão e inclusão de genótipos, de modo que os dados ao final tornam-se desbalanceados substancialmente. Nestes casos, a metodologia de modelos mistos é considerada uma ferramenta importante para se estimar componentes de variância, e prever os valores genéticos dos indivíduos com alta precisão.

Desta forma, objetivou-se estimar os parâmetros genotípicos e fenotípicos a fim de verificar a eficiência de seleção de genótipos, visando a obtenção de cultivares superiores nos ensaios preliminares do programa de melhoramento de arroz de terras altas da UFLA, por meio de modelos mistos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Importância da cultura do arroz no Brasil

O arroz se insere como o alimento básico para metade da população mundial, e é considerado o mais importante cereal produzido e consumido no mundo (FERREIRA et al., 2005). Este cereal é uma fonte importante de energia, considerando o alto nível de carboidratos, fornecendo ainda proteínas, vitaminas e sais minerais (WALTER et al., 2008). Além disso, o arroz é um importante componente na dieta dos brasileiros, juntamente com o feijão, e sua produção acontece praticamente em todo o território brasileiro (SILVA; WANDER, 2014).

O Brasil, atualmente, é o nono maior produtor mundial de arroz e o primeiro produtor e consumidor fora do continente asiático, com produção de 11,9 milhões de toneladas de arroz com casca, numa área de 1,9 milhões de hectares, com rendimento de 6,1 toneladas por hectare (CONAB, 2017). Conforme projeções realizadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2013), em dez anos, espera-se que a produção de arroz em casca chegue a 13,7 milhões de toneladas, reduzindo as importações para 949 mil toneladas. Entretanto, a maior parcela da produção nacional é proveniente de áreas de várzea (85%), sendo a região Sul responsável por 81% da produção nacional de arroz em casca, com destaque para o Rio Grande do Sul e Santa Catarina (ANUÁRIO BRASILEIRO DE ARROZ, 2016).

Segundo Guimarães et al. (2006), a instabilidade climática durante o período do cultivo, e a ocorrência de doenças, principalmente a brusone (*Magnaporthe grisea*), têm contribuído para a baixa produção da cultura em terras altas, com média nacional de 2 t ha<sup>-1</sup>, bem inferior ao sistema irrigado, com 7,5 t ha<sup>-1</sup> em nível nacional (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2016). Villar et al. (2005), ainda destaca que há uma heterogeneidade tecnológica na condução do arroz de terras altas, podendo variar de um baixo nível tecnológico até áreas com alta tecnologia e, quando manejada adequadamente a cultura do arroz de terras altas, é capaz de atingir produtividades acima de 5 t ha<sup>-1</sup> (GUIMARÃES et al., 2001)

O cultivo de arroz de terras altas possui algumas vantagens em relação ao sistema irrigado, como a diluição de custos, utilização de áreas com solos de baixa fertilidade e menores investimentos iniciais comparados a outras culturas (VILLAR et al., 2005). Desta forma, o arroz em sistema de terras altas, pode se tornar mais competitivo com o incremento

da produtividade em cultivares melhoradas. Ferreira et al. (2006) comentam que um dos desafios do melhoramento genético da cultura, se não o primeiro, consiste na consolidação e sustentabilidade da cultura nos diferentes sistemas de produção de grãos, sobretudo, em cultivo de plantio direto.

## **2.2 Melhoramento genético do arroz de terras altas**

O programa nacional de melhoramento de arroz de terras altas, ou de sequeiro, foi fundado em 1974, pelo Centro Nacional de Pesquisas de Arroz e Feijão – CNPAF, este criado pela EMBRAPA. O programa foi dividido em quatro componentes principais: geração de variabilidade genética, desenvolvimento de linhagens elites, avaliação agrônômica e produção de sementes e, inicialmente, o projeto priorizou o arroz de terras altas, que correspondia na época, com 70% da produção nacional (PINHEIRO et al., 2006).

Dentro do programa de melhoramento para o arroz de terras altas, define-se três períodos distintos, devido ao foco dado ao programa. Na primeira fase, que correspondeu aos anos de 1975 a 1985, o destaque era para resistência à brusone, a tolerância à seca, e à estabilidade de produção, já que se visava a produção em regiões de cerrado desfavoráveis. Na segunda fase, de 1985 a 1990 a ênfase se deu em estratégias para a obtenção de cultivares com alto potencial produtivo, em áreas de cerrado favoráveis à produção. E, no terceiro período, que se estende até os dias atuais, além das preocupações anteriores, há ênfase na qualidade dos grãos (PEREIRA et al., 2002).

Soares et al. (2001) ressaltaram que a partir da década de 80, houve grandes esforços para a obtenção de cultivares mais adaptadas às condições de terras altas com tipo de grão ‘agulhinha’, o tipo de grão com maior preferência no mercado interno.

De forma parcial, as cultivares de arroz de terras altas têm atendido as demandas e contribuído para que a cultura torne-se competitiva em relação ao arroz de várzea cultivado nos estados do Sul. Ferreira et al. (2006), revelam que os níveis de adoção das cultivares varia, dependendo da região, devido a diversos fatores como o perfil dos próprios agricultores, nível tecnológico, sistema produtivo e a adaptabilidade da cultivar a este, condições edafoclimáticas, dentre outros.

Souza et al. (2007) observaram que ao longo de 51 anos do melhoramento, houve redução considerável na altura média de plantas, com ganhos de -21 cm e -38, nos grupos

precoce e tardio, respectivamente, além de observarem ganho genético para o caráter dias até o florescimento, ou seja, obtenção de cultivares mais precoces.

Já Borges et al. (2009) constatou que o progresso genético de 1997 a 2008, para a produtividade de grãos, manteve-se estagnado/nulo. Porém, as cultivares lançadas foram superiores àquelas que as procederam para resistência à brusone, qualidade de grãos e tolerância ao acamamento, indicando que o programa foi eficiente para estes caracteres.

Em Minas Gerais, devido à distribuição irregular de chuvas no estado, e possíveis veranicos, os quais são mais frequentes durante os meses de janeiro a março, faz-se necessário a pesquisa e o desenvolvimento de cultivares precoces e produtivas. Assim, em 1993, foi criado o Programa de Melhoramento de Arroz de Terras Altas da Universidade Federal de Lavras - UFLA, em parceria com a Embrapa Arroz e Feijão e a EPAMIG, com o objetivo de selecionar linhagens mais adaptadas às condições edafoclimáticas do estado de Minas Gerais.

Soares et al. (1999), ao estimarem o ganho genético no programa de melhoramento de arroz de terras altas em Minas Gerais, obtido ao longo de 21 anos, concluíram que o programa foi eficiente, e que há preferência para o plantio de cultivares de ciclo curto. Com ganho genético médio anual de 1,26% para os genótipos precoces, e 3,37% para os de ciclo médio e tardio.

### **2.3 Importância das estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos no processo de seleção**

Ramalho et al. (2012) mencionam que para o sucesso de um programa de melhoramento genético, ou seja, na obtenção de cultivares superiores, há grande dependência da habilidade do melhorista, em conduzir as populações, de tal forma a distinguir e planejar os melhores cruzamentos. Além da escolha da melhor estratégia na condução das populações (BORÉM; MIRANDA, 2005).

Morais (1992) e Borém e Miranda (2005) destacam ainda, que a eficiência dos programas de melhoramento é dependente de algumas características das populações a serem manejadas, como a existência e a manutenção de variabilidade genética, a fim da obtenção de ganhos contínuos ao longo da seleção, e de médias elevadas dos caracteres de interesse.

Quando se deseja aumentar a frequência de alelos favoráveis na população, o melhorista se depara com vários fatores que agem contra ou a favor durante a seleção. Dentre esses fatores podem ser citados: a variabilidade genética da população original, o método de seleção e condução adotado, a técnica e a precisão experimental na avaliação dos genótipos,

influência ambiental, interação genótipos x ambientes, a herdabilidade do caráter e as correlações fenotípicas, genéticas e de ambiente (FALCONER; MACHAY, 1996; PATERNIANI; MIRANDA FILHO, 1987).

Deste modo, a obtenção das estimativas de parâmetros genéticos torna-se importante quanto à variabilidade genética e avaliação do potencial genético de populações, para fins da continuação das progênes no programa de melhoramento (MORAIS JR, 2013).

Segundo Ramalho et al. (2012) a obtenção dessas estimativas torna-se uma ferramenta que irá auxiliar na tomada de decisões, possibilitando ainda, em predições dos ganhos genéticos. Representando uma das aplicações mais importantes da genética quantitativa no melhoramento (HALLAUER et al., 2010; VENCOVSKY; BARRIGA, 1992). Cruz e Carneiro (2006) ainda destacam que a partir destas estimativas é possível identificar a eficiência dos métodos empregados para a obtenção dos ganhos genéticos.

As estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos podem ser obtidas por meio de ensaios conduzidos em apenas um ambiente, porém, tais estimativas se referem apenas a uma determinada condição ambiental, impedindo de serem extrapoladas para outros ambientes. Nesse caso, a determinação da magnitude da interação genótipos x ambientes torna-se importante para se obter estimativas mais precisas e isentas do componente da interação (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

A seleção efetiva de um determinado caráter depende de fatores genéticos, não genéticos, e da expressão fenotípica. Nos caracteres quantitativos essas informações podem ser obtidas utilizando tanto componentes de média quanto de variância. Porém, os componentes de variância tem a vantagem dos efeitos genéticos não se anularem, como pode ocorrer com a média, possibilitando estimar a herdabilidade e o ganho genético com a seleção (FEHR, 1987; RAMALHO et al., 2012).

A herdabilidade é um dos parâmetros genéticos mais úteis, pois participa da predição dos ganhos genéticos esperados com a seleção. A predição da resposta à seleção antes mesmo de se realizar, possibilita alternativas aos melhoristas na melhoria da eficiência dos processos (RAMALHO et al., 2012).

A herdabilidade pode ser conceituada como a proporção da variância genética presente na variância fenotípica. Segundo Falconer e Machay (1996), ela expressa a confiabilidade do valor fenotípico como estimador do valor genético, visto que nos programas de melhoramento mensura-se apenas o valor fenotípico. Assim, quanto maior a herdabilidade, maior a confiabilidade do valor genotípico, refletindo em um maior ganho genético por seleção.

É possível obter dois tipos de herdabilidade, no sentido amplo e no sentido restrito. No sentido amplo envolve a variância genética total e, no sentido restrito, apenas a variância aditiva (VENCOVSKY, 1987).

Segundo Vencovsky e Barriga (1992), a herdabilidade não é imutável, sendo dependente da população e das circunstâncias ambientais. As estimativas para cada caráter apresentam uma amplitude de valores (RAMALHO et al.; 2012) tornando-se importante a utilização de experimentos com alta precisão e utilização de vários ambientes e, ainda, cautela no momento da avaliação destas herdabilidades.

Na Tabela 1 é possível observar alguns trabalhos em que se buscou estimar os parâmetros genéticos no arroz, porém, é necessário enfatizar que estas estimativas caracterizam-se para as condições ambientais em que os genótipos foram submetidos.

Deste modo, é necessário, dentro dos programas de melhoramento, que se faça a estimação destes parâmetros com certa periodicidade, de forma a possuir valores obtidos em condições ambientais próximas, que possam auxiliar o melhorista nas tomadas de decisões.

Tabela 1 - Estimativas de herdabilidade na cultura do arroz para caracteres agronômicos.

Caráter	Tipo de herdabilidade	Valores	Autor(es)
Produtividade	$h_a^2$	(0.01 – 0.34)	DoVale et al. (2012)
	$h_a^2$	(0.36-0.45)	Morais Junior (2013)
	$h_a^2$	0.41	Cordeiro e Rangel (2011)
	$h_a^2$	(0.48-0.61)	Santos et al. (1997)
	$h_a^2$	0.85	Servellon Rodriguez, Rangel e Morais (1998)
Florescimento	$h_r^2$	(0.42 – 0.69)	Santos et al. (1997)
	$h_a^2$	0.69	Cordeiro e Rangel (2011)
	$h_r^2$	0.91	Fernandes (2015)
Altura	$h_a^2$	(0.33 – 0.71)	Santos et al. (1997)
	$h_r^2$	0.30	Fernandes (2015)
	$h_a^2$	0.55	Cordeiro e Rangel (2011)
	$h_a^2$	0.96	Servellon Rodriguez, Rangel e Morais (1998)
Brusone Foliar	$h_a^2$	0.51	Servellon Rodriguez, Rangel e Morais (1998)

## 2.4 Modelos mistos no melhoramento de plantas

A metodologia de modelos mistos é conceituada como a presença de efeitos fixos e aleatórios em um mesmo modelo. Segundo Resende (2002), o método BLUP (melhor preditor linear não viesado), foi proposto, inicialmente, para o melhoramento animal por Henderson (1949) e apresentado por Henserdon (1973). Devido ao fato de ser um método complexo e a escassez de tecnologia para as análises na época, a metodologia teve maior utilização apenas após a década de 80, com os avanços computacionais.

Para a utilização das equações dos modelos mistos e a predição do BLUP, faz-se necessário conhecer os componentes de variância e covariância. Como estes em si não são possíveis de se conhecer faz-se necessário a estimação destes componentes com a maior precisão possível. Assim, o método REML, máxima verossimilhança restrita (PATTERSON; THOMPSON, 1971) destaca-se como uma metodologia a ser utilizada em dados não balanceados, pois fornece estimativas não negativas dos componentes de variância e considera a perda de graus de liberdade das estimativas de efeitos fixos.

Deste modo, a utilização de modelos mistos já é consagrada no melhoramento animal e, dentro do melhoramento de plantas, vem sendo muito utilizado para melhoramento de plantas perenes no Brasil, a exemplo da estimação de componentes de variância em *Pinus* (RESENDE et al., 1996), seleção de clones de cupuaçu (MAIA et al. 2011), de progênies de mamoeiro (PINTO et al., 2013), de famílias de cana-de-açúcar (OLIVEIRA et al. 2008), da estimação de parâmetros genéticos em erva-mate (COSTA et al., 2005), da avaliação da interação genótipos x ambientes em cana-de-açúcar (BASTOS et al., 2007), dentre vastos trabalhos encontrados na literatura.

Para o melhoramento de plantas anuais, a metodologia é recente, e uma das causas está relacionada ao tipo experimentação, em que normalmente trabalha-se com dados balanceados e, neste caso, a utilização de BLUP e a análise tradicional via método dos quadrados mínimos decorrerá em mesmos resultados. Porém, em algumas situações, a exemplo do desbalanceamento de dados, o BLUP possui grande vantagem em relação ao método de quadrados mínimos (BERNARDO, 2002).

Na cultura e melhoramento do arroz, a metodologia de modelos mistos é recente e poucos são os trabalhos com esta metodologia, tais como: Borges et al. (2009) avaliaram o progresso genético de arroz de terras altas no estado de minas gerais; Borges et al. (2010) avaliaram o desempenho de genótipos de arroz de terras altas; DoVale et al. (2012) estimaram

ganho genético em arroz irrigado e; Regitano Neto et al. (2013) avaliaram a adaptabilidade e estabilidade de arroz de terras altas.

Resende (2007) descreve várias vantagens na utilização de modelos mistos em relação ao método tradicional da análise de variância, como: utilização em casos de desbalanceamento de dados; permite ajustar diferentes modelos, podendo o melhorista escolher o que se ajusta melhor ao conjunto de dados; trabalha com dados complexos (diferentes anos, locais e delineamentos); possibilita a correção para os efeitos ambientais, estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos; dentre outras.

Ainda, Resende (2007), elucida que ao se utilizar esta metodologia, o modelo não deve ser testado via teste F, como é feito na análise de variância tradicional. Nestes casos, o teste indicado é o teste da máxima verossimilhança, conhecido também como *likelihood ratio test* e, é feito por meio da análise de *deviance*. Como explica Borges et al. (2010), a *deviance* é derivada da razão entre as verossimilhanças do modelo completo em relação ao modelo sem o efeito que assim deseja-se testar.

Desta forma, para estimar ganhos, estimar progresso genético e avaliar a eficiência dentro do programa de melhoramento, é necessário trabalhar com várias safras a fim de se quantificar o ganho ano a ano. Dentro dos programas, é normal que de um ano para outro se tenha a exclusão e inclusão de genótipos, de modo que os dados ao final tornam-se desbalanceados substancialmente. Nestes casos a metodologia de modelos mistos é considerada uma ferramenta importante para se estimar componentes de variância e predição dos valores genéticos dos indivíduos com alta precisão.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Locais

Os experimentos de ensaio preliminar foram conduzidos nos municípios de Lavras-MG, no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária da Universidade Federal de Lavras, durante as safras 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016; e no município de Lambari, na fazenda experimental da EPAMIG, durante as safras de 2014/2015 e 2015/2016. As coordenadas geográficas, altitudes e tipo de clima, pela classificação de Köppen-Geiger, estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Coordenadas geográficas e altitudes dos municípios onde os experimentos serão avaliados

Local	Latitude	Longitude	Altitude	Clima
Lavras - MG	21°14'S	44°59'W	919m	Cwa
Lambari - MG	21°58'S	45°21'W	887m	Cwa

#### 3.2 Material genético

A cada safra foram utilizadas duas testemunhas (BRSMG Caravera e BRS Esmeralda) e 34 genótipos do programa de melhoramento genético de arroz de terras da Universidade Federal de Lavras, em parceria com a Embrapa Arroz e Feijão e Epamig. Vale ressaltar, que alguns genótipos foram avaliados em mais de uma safra, totalizando 91 genótipos. A relação dos genótipos avaliados encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Linhagens do programa de melhoramento genético de arroz de terras da Universidade Federal de Lavras, em parceria com a Embrapa Arroz e Feijão e Epamig, avaliadas nas diferentes safras. (Continua)

Safra 2013/2014	Safra 2014/2015	Safra 2015/2016
1. BRSMG Caravera	1. BRSMG Caravera	1. BRSMG Caravera
2. BRSMG Esmeralda	2. BRSMG Esmeralda	2. BRS Esmeralda
3. CMG 2102	37. CMG 207-6	63. CMG ERF 81-1
4. CMG 2103	38. CMG 215-1	64. CMG ERF 185-3
5. CMG 2104	39. CMG 215-2	65. CMG ERF 221-1
6. CMG 2106	40. CMG 215-3	66. CMG ERF 221-4
7. CMG 2110	41. CMG 215-4	67. CMG ERF 221-5
8. CMG 2111	42. CMG 221-1	68. CMG ERF 221-6
9. CMG 2119	43. CMG 221-5	69. CMG ERF 221-7
10. CMG 2120	44. CMG 221-6	70. CMG ERF 221-9

Tabela 3 - Linhagens do programa de melhoramento genético de arroz de terras da Universidade Federal de Lavras, em parceria com a Embrapa Arroz e Feijão e Epamig, avaliadas nas diferentes safras. (Conclusão)

Safra 2013/2014	Safra 2014/2015	Safra 2015/2016
11. CMG 2121	45. CMG 221-8	71. CMG ERF 221-16
12. CMG 2122	46. CMG 301-1	72. CMG ERF 221-17
13. CMG 2123	47. CMG 310-8	73. CMG ERF 221-18
14. CMG 2130	48. CMG 318-2	74. CMG ERF 221-19
15. CMG 2131	49. CMG 418-4	75. CMG ERF 221-20
16. CMG 2136	50. CMG 418-5	76. CMG ERF 221-21
17. CMG 2139	51. CMG 419-2	77. CMG ERF 221-23
18. CMG 2140	52. CMG 419-3	78. CMG ERF 221-24
19. CMG 2143	53. CMG 422-8	79. CMG ERF 221-26
20. CMG 2148	54. CMG 601-2	80. CMG ERF 221-27
21. CMG 2149	55. CMG 601-3	81. CMG ERF 221-28
22. CMG 2162	56. CMG 601-4	82. CMG ERF 221-29
23. CMG 2168	57. CMG 601-5	83. CMG ERF 221-30
24. CMG 2171	58. CMG 601-6	84. CMG F6 LAV 1-1
25. CMG 2172	59. CMG 601-7	85. CMG F6 LAV 1-2
26. CMG 2182	60. CMG 601-8	86. CMG F6 LAV 1-3
27. CMG 2184	61. CMG 601-9	87. CMG F6 LAV 8-1
28. CMG 2185	62. CMG 801-6	88. CMG F6 LAV 8-2
29. CMG 2186	7. CMG 2110	89. CMG 116-6
30. CMG 2187	9. CMG 2119	90. CMG 116-7
31. CMG 2188	11. CMG 2121	91. CMG 822-1
32. CMG 2198	16. CMG 2136	51. CMG 419-2
33. CMG 2201	18. CMG 2140	11. CMG 2121
34. CMG 2071	19. CMG 2143	19. CMG 2143
35. CMG 2093	24. CMG 2171	24. CMG 2171
36. CMG 2098	34. CMG 2071	34. CMG 2071

### 3.3 Características avaliadas

Durante a condução dos experimentos foram avaliados os seguintes caracteres:

- produtividade de grãos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ): extrapolação do peso dos grãos da parcela inteira após colheita e secagem para 13% de umidade, transformados em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ;
- dias para o florescimento: número de dias da semeadura ao florescimento médio, ou seja, quando 50% das plantas constituintes da parcela emitiram panículas, exceto safra 2013/14;

- c) altura de plantas: média em cm de cinco plantas da parcela, medida do solo à extremidade da panícula mais alta;
- d) resistência à brusone foliar (*Pyricularia grisea*): avaliação visual, seguindo a escala de notas baseadas na porcentagem relativa da área foliar lesionada na média da parcela, exceto para safra 2013/14:
- nota 1: menos de 1% da área das folhas;
  - nota 3: de 1 a 5% da área das folhas;
  - nota 5: de 6 a 25% da área das folhas;
  - nota 7: de 26 a 50% da área das folhas;
  - nota 9: acima de 50% da área das folhas.

### 3.4 Condução dos experimentos e análises estatísticas

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados completos, com três repetições e parcelas constituídas de quatro linhas de cinco metros de comprimento, espaçadas a 35 centímetros. As análises individuais, por ambiente, para todos os caracteres, foram realizadas utilizando o modelo estatístico:

$$Y_{ij} : \mu + g_i + b_j + e_{ij} \quad (1)$$

em que:  $Y_{ij}$ : é o valor do caráter para o  $i$ -ésimo genótipo no  $j$ -ésimo bloco;  $\mu$ : constante associada a todas as observações;  $g_i$ : é o efeito do  $i$ -ésimo genótipo, com  $i = 1, 2, \dots, 36$ ;  $b_j$ : é o efeito do  $j$ -ésimo bloco, com  $j = 1, 2, \dots, 3$ ;  $e_{ij}$ : é o erro aleatório;

Para a análise conjunta, em virtude do desbalanceamento dos dados, devido ao dinamismo dos genótipos de uma safra para outra, optou-se por utilizar uma abordagem via modelos mistos. O modelo estatístico proposto foi:

$$y = X\mathbf{b} + Z\mathbf{g} + W\mathbf{c} + V\mathbf{d} + \mathbf{e} \quad (2)$$

em que  $\mathbf{b}$ ,  $\mathbf{g}$ ,  $\mathbf{c}$ ,  $\mathbf{d}$  e  $\mathbf{e}$  correspondem aos vetores, respectivamente, de ambientes (efeito fixo), efeito dos genótipos (aleatório), efeitos da interação genótipos x ambientes (aleatório), efeito de repetição dentro de ambientes (aleatório) e de erros (aleatórios).

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R (R CORE

TEAM, 2014) pelo procedimento REML/BLUP, em que os componentes de variância e parâmetros genéticos foram estimados via REML (máxima verossimilhança restrita) e predição das médias ajustadas por meio do BLUP (melhor predição linear não viciada).

### 3.5 Estimativa dos parâmetros genéticos

Para a análise individual, a partir das esperanças dos quadrados médios foram obtidas as seguintes estimativas:

- a) variância genética ( $Vp_k$ ) entre linhagens:

$$Vp_k = \frac{Q_1 - Q_2}{r} \quad (3)$$

em que:  $Vp_k$ : estimativa da variância genética entre progênies no ambiente k;  $Q_1$ : quadrado médio entre linhagens da análise por ambiente;  $Q_2$ : quadrado médio do erro associado às estimativas de análise por local;  $r$ : número de repetições;

- intervalo de confiança das variâncias genéticas a 5% de probabilidade, por meio da estimativa de suas variâncias pela expressão proposta por Baker (1986):

$$\frac{u_p Vp_k}{\chi^2_{\alpha/2}} < Vp_k < \frac{u_p Vp_k}{\chi^2_{1-\alpha/2}} \quad (4)$$

em que:  $u_p$ : número de graus de liberdade associados à estimativa, o qual pode ser obtido pela expressão proposta por Satterthwaite (1946);  $\chi^2_{\alpha/2}$  e  $\chi^2_{1-\alpha/2}$ : valores da distribuição teórica de  $\chi^2$  para  $u_p$  graus de liberdade, ao nível de 5% de probabilidade.

- b) variância fenotípica ( $V_F$ ) entre linhagens:

$$V_F = \frac{Q_1}{r} \quad (5)$$

- c) herdabilidade ( $h_a^2$ ) no sentido amplo para seleção na média das linhagens:

$$h_a^2 = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100 \quad (6)$$

- erro associado à estimativa de  $h^2$ , pela expressão do intervalo de confiança de Knapp, Stroup e Ross (1985);

$$LI = \left\{ 1 - \left[ \left( \frac{Q_1}{Q_2} \right) F_{1-\frac{\alpha}{2}}(GL_{erro}; GL_{Progenie}) \right]^{-1} \right\} \quad (7)$$

$$LS = \left\{ 1 - \left[ \left( \frac{Q_1}{Q_2} \right) F_{\frac{\alpha}{2}}(GL_{erro}; GL_{Progenie}) \right]^{-1} \right\} \quad (8)$$

em que: LI e LS: limites inferior e superior das estimativas de herdabilidade;  $\alpha$ : nível de probabilidade;

d) ganho esperado com a seleção (GS) para os diferentes parâmetros avaliados :

$$GS = ds \times h^2$$

em que: ds: é o diferencial de seleção ( $ds = M_s - M_o$ );  $M_s$  é a média das melhores linhagens e  $M_o$  é a média geral;  $h^2$ : herdabilidade por ambiente;

- erro associado ao ganho com a seleção, pela expressão apresentada por Brigdes, Knapp e Cornelius (1985):

$$S(GS)_k = \sqrt{\frac{2i^2}{r} \left\{ \frac{Q_{1k}^2}{V_1} \left[ \left( 1 + \frac{Q_{2k}}{Q_{1k}} \right)^2 / 4 \right] + \frac{Q_{2k}^2}{V_2} \right\} / Q_{1k}} \quad (9)$$

em que:  $S(GS)_k$ : erro associado ao ganho esperado com a seleção no experimento realizado no ambiente  $l$ ;  $i$ : diferencial de seleção padronizado;  $r$ : número de repetições;  $Q_{1k}$ : quadrado médio das progênies avaliadas no ambiente  $k$ ;  $V_1$ : graus de liberdade das progênies;  $Q_{2k}$ : quadrado médio do erro ambiente  $l$ ;

$V_2$ : graus de liberdade ao erro;

Ainda, as estimativas do coeficiente de variação e acurácia seletiva foram utilizadas como medida de precisão. O coeficiente de variação foi obtido por meio do seguinte modelo:

$$CV = \frac{\sqrt{Q_2}}{\mu} \times 100 \quad (10)$$

em que:  $Q_2$ : quadrado médio do resíduo;  $\mu$ : média geral.

A acurácia foi estimada utilizando o seguinte modelo:

$$AS = \sqrt{1 - \frac{1}{F_c}} \times 100 \quad (11)$$

em que:  $AS$  é a acurácia seletiva expressa em percentagem;  $F_c$  é o valor de F calculado.

Considerando a análise conjunta, a partir dos valores estimados dos componentes de variância, foram calculadas as seguintes estimativas:

a) herdabilidade:

$$h_a^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_f^2} \quad (12)$$

em que:  $h^2$ : herdabilidade no sentido amplo;  $\sigma_g^2$ : variância genética;  $\sigma_{gf}^2$ : variância fenotípica dos genótipos;

b) Coeficiente de variação experimental (CV):

$$CV = \frac{\sqrt{\sigma_e^2}}{\bar{x}} \quad (13)$$

em que:  $\sigma_e^2$ : variância residual;  $\bar{x}$ : média geral;

c) Taxa de Renovação (TR)

$$TR (\%) = \frac{ngi}{ngt} \times 100 \quad (14)$$

$ngi$ : número de genótipos introduzidos no ano  $i$ ;  $ngt$ : número de genótipos totais avaliados no ano  $i$ ;

d) Progresso Genético de Avanço (PGA)

$$PGA = MGS_{i,i+1} - MGE_i \quad (15)$$

$MGS_{i, i+1}$ : média BLUP dos genótipos selecionados no ano  $i$  para o ensaio de VCU no ano  $i+1$ ;  $MGE_i$ : média BLUP dos genótipos excluídos no ano  $i$ ;

e) Progresso Genético de Renovação (PGR)

$$PGR = MGI_{i+1} - MGE_i$$

(16)

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de variância individual, por ambiente, estão apresentadas no Apêndice (Tabelas 1A a 5A). Verificou-se que os coeficientes de variação experimental (CV%) apresentaram, em média para todos os caracteres avaliados baixas estimativas, indicando alta precisão experimental, como proposto por Costa et al. (2002), para a cultura do arroz de terras altas.

Observou-se variabilidade entre os genótipos avaliados para todas as características e em todos os ambientes, fato este que pode ser observado por meio das estimativas de variância genotípica (Tabela 4), cujos intervalos foram diferentes de zero. As variações existentes para o mesmo caráter, em ambientes diferentes, podem ser elucidadas devido às condições existentes naquele ambiente que favoreceram ou não a sua expressão.

Tabela 4 - Estimativas das variâncias genéticas ( $V_{pk}$ ), com seus respectivos intervalos de confiança, da análise individual por ambiente, para os caracteres: produtividade de grãos em  $kg.ha^{-1}$  (P), dias até o florescimento (F), altura de plantas em cm (A) e resistência à brusone foliar em notas (BF).

Caráter	Estimativas	Safras				
		2015/16		2014/15		2013/14
		Lavras	Lambari	Lavras	Lambari	Lavras
P	LS	788959,08	26422783,07	596199,12	1122489,95	2743642,65
	$V_{pk}$	293273,36	27304,15	120395,89	551653,13	1138663,69
	LI	159757,53	5165,13	51054,36	344584,79	625029,93
F	LS	36,00	11,64	80,22	211,00	-
	$V_{pk}$	20,08	4,64	45,11	113,79	-
	LI	13,31	2,65	29,66	71,19	-
A	LS	68,37	191,07	50,30	66,40	28288,67
	$V_{pk}$	12,17	19,08	21,18	33,97	16,72
	LI	5,86	8,31	12,60	20,92	5,53
BF	LS	1,03	1,02	1,20	1,67	-
	$V_{pk}$	0,46	0,45	0,41	0,68	-
	LI	0,28	0,26	0,23	0,40	-

A herdabilidade, segundo Ramalho et al. (2012), indica a proporção da variância fenotípica que é devida à variância genética, estimando a confiabilidade do valor fenotípico como indicador do valor genotípico. Na Tabela 5 são apresentadas as estimativas de

herdabilidade no sentido amplo para todos os ambientes e características avaliadas, bem como seus respectivos erros associados por meio dos intervalos de confiança.

Observa-se que houve variação nas magnitudes dos valores de acordo com o ambiente, trazendo anteriormente, a discussão proposta por Vencovsky e Barriga (1992), em que esta estimativa não é função apenas do caráter, mas sim, de todas as condições ambientais relacionadas àquele experimento.

Tabela 5 - Estimativas de herdabilidade no sentido amplo ( $h_a^2$ ), com seus respectivos intervalos de confiança, da análise individual por ambiente, para os caracteres: produtividade em kg.ha<sup>-1</sup> (P), dias até o florescimento (F), altura de plantas em cm (A) e resistência à brusone foliar em notas (BF).

Caráter	Estimativas	Safras				
		2015/16		2014/15		2013/14
		Lavras	Lambari	Lavras	Lambari	Lavras
P	LS	0,8045	0,5598	0,7006	0,9078	0,8408
	$h_a^2$	0,6402	0,1899	0,4490	0,8303	0,6878
	LI	0,3745	0,0000	0,0421	0,7049	0,3878
F	LS	0,9827	0,8295	0,9806	0,9358	-
	$h_a^2$	0,9681	0,6863	0,9643	0,8818	-
	LI	0,9446	0,4546	0,9380	0,7945	-
A	LS	0,7149	0,6761	0,8530	0,9118	0,6277
	$h_a^2$	0,4754	0,4040	0,7295	0,8377	0,2698
	LI	0,0879	0,0000	0,5297	0,7178	0,0000
BF	LS	0,8715	0,8448	0,7968	0,8423	-
	$h_a^2$	0,7636	0,7145	0,6261	0,7099	-
	LI	0,5890	0,5036	0,3500	0,4956	-

As estimativas do coeficiente de herdabilidade para o caráter florescimento, em média, foram superiores aos outros caracteres, indicando a princípio, que este caráter é menos influenciado pelo ambiente e apresenta poucos genes controlando a expressão fenotípica. Por outro lado, os caracteres produtividade de grãos e altura foram os que, em média, apresentaram as menores estimativas, fato este, esperado, visto que tanto produtividade de grãos como altura de plantas, em arroz, são caracteres fortemente influenciados pelas condições ambientais. Vale ressaltar, que na execução da safra 2013/14, houve um excesso na adubação nitrogenada e, sendo a planta de arroz muito influenciada pela adubação (FIDELIS et al., 2012), acarretou uma maior vegetação pelas plantas e maior altura média, afetando assim, as estimativas do coeficiente de herdabilidade.

Na Tabela 6 encontram-se as estimativas dos componentes de variância obtidas por meio do REML/BLUP, acurácia seletiva, coeficiente de variação experimental e coeficiente de herdabilidade no sentido amplo. Observa-se que os valores das estimativas de

herdabilidade encontrados no presente trabalho estão dentro dos intervalos citados na literatura Cordeiro e Rangel (2011), DoVale et al (2012), Fernandes (2015), Morais Jr. (2013), Santos et al. (1997) e Servellon Rodriguez, Rangel e Morais (1998), indicando uma boa precisão e confiabilidade das estimativas.

Tabela 6 - Estimativas dos componentes de variância (REML/BLUP), herdabilidade em sentido amplo ( $h_a^2$ ) acurácia seletiva (AS) e coeficiente de variação experimental (VC%) para produtividade em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (P), dias até o florescimento (F), altura de plantas em cm (A) e resistência à brusone foliar em notas (BF) para o conjunto de ambientes.

Parâmetros	P	F	A	BF
$\sigma_g^2$	268644**	40,95**	10,41**	0,20**
$\sigma_{ga}^2$	32976,20**	2,551**	2,49**	0,06**
$\sigma_f^2$	658942,68	49,07	49,66	0,59
$\sigma_e^2$	35570,48	1,23	3,49	0,05
$h_a^2$	0,4077	0,8344	0,2096	0,3408
AS	0,6385	0,9134	0,4578	0,5839
CV (%)	15,99	4,27	6,33	27,78

$\sigma_g^2$ : variância genética;  $\sigma_f^2$ : variância fenotípica;  $\sigma_{ga}^2$ : variância da interação genótipos x ambientes;  $\sigma_e^2$ : variância do erro;  $h_a^2$ : herdabilidade no sentido amplo; \*\* Significativo a 99% de confiabilidade pelo teste de máxima verossimilhança (likelihood).

Entende-se por interação genótipos x ambientes, o comportamento não coincidente de genótipos quando cultivados em ambientes distintos (ALLARD; BRADSHAW, 1964). No caso apresentado, quando se avalia apenas um ambiente, a variância genética pode ser super ou subestimada, bem como estimativas relacionadas a ela, como a herdabilidade (ROCHA; VELLO, 1999). Ao considerar a estimação apenas em um ambiente, parte da variância genética é composta pela interação genótipos x ambientes (GxA), a qual é isolada apenas na análise conjunta. De tal modo, nota-se que em média as herdabilidades nos diferentes ambientes (Tabela 5) foram superiores aos valores encontrados na análise conjunta (Tabela 6).

Observa-se que o caráter florescimento apresentou alta estimativa do coeficiente de herdabilidade, indicando que esta característica tem menor influência ambiental e baixa magnitude da variação genótipos x ambientes em contrapeso à produtividade de grãos e altura, que são características altamente influenciadas e apresentaram uma herdabilidade menor.

O caráter brusone foliar, entretanto, apresentou uma estimativa pouco fora do elucidado na literatura, e uma possível explicação está relacionada ao fato de que o ambiente Lambari-MG é muito favorável à ocorrência da doença em relação ao ambiente Lavras-MG,

favorecendo que haja uma grande divergência entre as médias nestes dois ambientes, contribuindo para a variância fenotípica.

Dentro dos ensaios no melhoramento de plantas, para se avaliar a qualidade dos dados e da precisão experimental, deve-se abordar não apenas a perspectiva da estatística, e sim, associar com aspectos genéticos. Assim, a acurácia está associada à correlação entre valores genéticos preditos e valores genéticos verdadeiros dos indivíduos, ou seja, quanto maior a acurácia maior será a confiança na avaliação e no valor genético predito (PIMENTEL et al. 2014). A acurácia relativa está diretamente relacionada à herdabilidade, quanto maior a herdabilidade, maior será a acurácia. Neste caso, observa-se as maiores acurácias para florescimento, seguido pela produtividade de grãos, brusone foliar e altura.

A estimativa do ganho esperado com seleção é de grande importância dentro dos programas de melhoramento, por ser uma ferramenta que possibilita ao melhorista prever a resposta à seleção antes mesmo de sua realização. Dentro do programa, os ensaios preliminares são considerados ensaios elites, e precedem o ensaio de valor de cultivo e uso (VCU). O ensaio de VCU é um ensaio obrigatório pelo Ministério da Agricultura que deve ser instalado em diferentes locais e anos agrícolas, e destina-se a avaliação de genótipos para fins legais de recomendação, registro e proteção de cultivares, e é o último ensaio dentro do programa. Desta forma, para cada ambiente, foi calculado o ganho esperado com a seleção (GS) nos ensaios de VCU a partir dos genótipos selecionados nos ensaios preliminares, visando dentro de outros objetivos, verificar o sucesso do programa de melhoramento da UFLA (Tabela 7).

Tabela 7 - Estimativas dos ganhos esperados com a seleção (GS), com suas respectivas estimativas dos erros associados, da análise individual por ambiente, para os caracteres: produtividade de grãos em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (P), dias até o florescimento (F), altura de plantas em cm (A) e resistência à brusone foliar em notas (BF).

Caráter	Safras				
	2015/16		2014/15		2013/14
	Lavras	Lambari	Lavras	Lambari	Lavras
P	454,87 (123,29)	55,71 (75,12)	458,50 (211,82)	1056,20 (218,70)	1000,45 (252,62)
F	1,61 (0,21)	-0,37 (0,09)	-3,57 (0,46)	-7,33 (0,06)	-
A	-1,16 (0,49)	-0,69 (0,37)	0,72 (0,16)	-1,12 (0,19)	0,82 (3,01)
BF	0,07 (0,01)	0,41 (0,13)	-0,34 (0,09)	-0,76 (0,18)	-

Para a produtividade de grãos (P) observou-se um ganho positivo para todos os ambientes, variando entre 56 a  $1056 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , com destaque para as safras 2013/14 e 2014/15 que obtiveram os maiores ganhos. Estes ganhos são significativos ao se levar em consideração

que o preço médio da saca de arroz de 60 Kg, na safra 2016/17, é de R\$ 45,10 (CONAB, 2015), refletindo em um ganho mínimo e direto ao produtor de R\$ 793,76 por hectare.

Considerando o caráter dias para o florescimento, com exceção de Lavras 2015/16, todos os outros ambientes obtiveram ganho de seleção negativo, com redução de 0,37 a 7,33 dias até o florescimento. Fato este positivo, pois durante o cultivo do arroz podem ocorrer períodos de deficiência hídrica, principal causa da baixa produtividade e instabilidade na cultura de arroz de terras altas. Esta situação contribui para que o arroz de terras altas seja considerado uma cultura de alto risco. Desta forma, ganhos negativos são desejáveis para diminuir as chances da cultura passar por períodos de estresse no florescimento.

Na maioria dos ambientes avaliados foi possível uma redução de porte, sendo que os ganhos para altura de plantas variaram de 0,82cm a -1,16 cm. A redução de porte é desejável principalmente para que se possa fazer uma adubação e manejo adequados, sem que corra o risco de acamamento das plantas. E, por fim, considerando o caráter brusone foliar, na safra 2014/15, foi observado um ganho de redução da nota -0,34 a -0,76, fato este favorável, pois, indica um aumento na resistência dos genótipos para esta doença, que quando em altas incidências, podem reduzir em até 90% a produtividade de grãos (PRABHU et al., 2003).

Segundo Cruz e Carneiro (2006), o dinamismo dos programas de melhoramento pode ser quantificado pela taxa média de substituição genotípica, composta pelas taxas de inclusão, exclusão, manutenção, seleção e renovação, mensurada entre um ano de avaliação e outro. Borges et al. (2009), comentam que todo programa de melhoramento, periodicamente deve ser avaliado, e sua eficácia ser quantificada, a fim de que se possa identificar quaisquer erros ou demandas dentro do programa. Dentre as diversas formas de se quantificar a eficácia de um programa, a avaliação do dinamismo elucidada, de maneira interessante, informações acerca do programa.

Diante do exposto, na Tabela 8 é apresentada a taxa de renovação e outras estimativas que elucidam o dinamismo e eficiência do programa de melhoramento, nos ensaios preliminares, nas safras 2013/14, 2014/15 e 2015/16.

Tabela 8 - Número e produtividade média ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) dos genótipos novos, mantidos, excluídos, selecionados e avaliados nos ensaios preliminares das diferentes safras, taxa de renovação TR (%), médias dos genótipos comuns ( $\mu_{gc}$ ) em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  e efeito ambiental (EA) em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

Safra	I	M	E	S	T	MI	MM	ME	MS	MT	$\mu_{gc}$	EA	TR
2013/14	31	5	19	7	36	6146	5805	5642	7554	6099	4083	-	86,1
2014/15	26	10	28	1	36	3356	3842	3394	4768	3491	2672	-1412	72.2
2015/16	29	7	24	5	36	4665	4532	4585	5141	4639	4477	1805	80.6

I e MI: número e média de genótipos novos (renovados) em relação à safra anterior; M e MM: número e média de genótipos mantidos da safra anterior; E e ME: número e média de genótipos excluídos da avaliação na safra posterior; S e MS: número e média de genótipos selecionados para avaliação no VCU; T e MT: número e média de genótipos avaliados na safra;  $\mu_{gc}$ : média dos genótipos comuns nas três safras ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

Nota-se que o ano de 2014/15, não foi favorável para a seleção, pois, em média, apresentou uma produtividade de grãos menor em relação aos outros anos, este fato também é possível observar por meio do da estimativa de efeito ambiental (EA), que mede as médias dos genótipos comuns nas diferentes safras, em que para o ano de 2013/14, na média, as testemunhas produziram menos 1,4 t/ha em relação ao ano anterior.

Para todos os anos, os genótipos selecionados mostraram-se superiores a média total, dos mantidos e introduzidos. Nas safras 2013/14 e 2015/16, ressalva-se ainda, que a média dos genótipos provindos de outros ensaios, que antecedem ao preliminar, foi superior àqueles mantidos, o que sugere que há eficiência não somente na seleção nestes ensaios, mas nos ensaios antecedentes a eles.

Ainda, a taxa de renovação observada foi de 72,2% a 86,1%, indicando também um bom dinamismo, mostrando-se superior comparada a relatos de Soares et al. (1994) e DoVale (2012), na cultura do arroz, com taxas de 61% e 60%, respectivamente.

Devido a existência de efeito ambiental, as análises apresentadas não podem ser extrapoladas para se fazer conclusões entre diferentes safras. Desta forma, por meio das médias ajustadas aos valores preditos BLUP's (Tabela 6A) considerando as três safras, pode-se ter uma visão mais concreta dos progressos genéticos dentro do ensaio preliminar, para os caracteres produtividade de grãos e altura de plantas. Assim calculou-se o progresso genético de avanço (PGA) e de renovação (PGR) nos ensaios preliminares (Tabela 9).

Tabela 9 - Progresso genético de avanço (PGA) e renovação (PGR) com base nas médias BLUPS's para produtividade de grãos em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (P) e altura de plantas (cm) referente às safras 2013/14, 2014/15 e 2015/16.

Safra	PGA		PGR	
	P	A	P	A
2013/14	698	-0,91	-	-
2014/15	881	-2,00	17	-0,61
2015/16	352	-0,50	-124	1,17
Média	643,67	-1,14	-53,5	0,28

PGA: média dos genótipos selecionados em relação à média dos excluídos no mesmo ano; PGR: média dos genótipos introduzidos no ano em relação à média dos genótipos excluídos no ano anterior;

Observa-se que o progresso médio de avanço (PGA), tanto para produtividade como para altura, foram eficientes com média de  $643,67 \text{ kg}(\text{ha}\cdot\text{ano})^{-1}$  e  $-1,14 \text{ cm}\cdot\text{ano}^{-1}$ , respectivamente. Da mesma forma, o progresso de renovação (PGR) para ambos os caracteres mostrou-se também eficiente, com a introdução de genótipos no ano com menor porte e mais produtivos do que aqueles excluídos dos ensaios no ano anterior, indicando eficiência não somente nos ensaios preliminares, mas também na seleção dos genótipos nos ensaios de observação.

## **5 CONCLUSÕES**

Verificou-se eficiência na seleção de genótipos superiores a cada ano, com progresso genético médio para produtividade de grãos e redução do porte médio das plantas.

## REFERÊNCIAS

- ABADIE, T.; CORDEIRO, C.M.T.; FONSECA JR., R.D.B.D.N.; ALVES, M.L.; BURLE, C. B. et al. Constructing a rice core collection for Brazil. **Pesqui. Agropecu. Bras.**, n. 40. p. 129-136, 2005.
- ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-environment interaction in applied plant breeding. **Crop Science**, v. 4, n. 5, p. 503-508, 1964.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DO ARROZ, 2016. BELING, R. R. (Ed.) **Gazeta Grupo de Comunicações**. Santa Cruz do Sul: RS, 2016. p. 112.
- BAKER, J.R. **Selection índices in plant breeding**. Boca Raton: CRC, 1986. 218 p.
- BASTOS, I.T.; BARBOSA, M.H.P.; RESENDE, M.D.V.; PETERNELLI, L.A.; SILVEIRA, L.C.I.; DONDA, L.R.; FORTUNATO, A.A.; COSTA, P.M.A.; FIGUEIREDO, I.C.R. Avaliação da interação genótipo x ambiente em cana-de-açúcar via modelos mistos. **Pesq Agropec Trop.**, v. 37, v. 4, p.195-203, dez. 2007.
- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Minnesota: Woodbury, 2002. 368 p.
- BOLIANI, E. **Adubação e biofortificação**: caracterização química e física do arroz (*Oryza sativa* L.). In: BRAZACA, S. G. C. São Paulo. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP, 2012.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 525 p.
- BORGES, V.; SOARES, A.A.; RESENDE, M.D.V.; REIS, M.S; CORNÉLIO, V.M.O.; SOARES, P.C. progresso genético do programa de melhoramento de arroz de terras altas de Minas Gerais utilizando modelos mistos. **Rev. Bras. Biometria**, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 478-490, 2009.
- BORGES, V.; SOARES, A.A.; REIS, M.S; RESENDE, M.D.V.; CORNÉLIO, V.M.O.; LEITE, N.A.; VIEIRA, A.R. Desempenho genotípico de linhagens de arroz de terras altas utilizando metodologia de modelos mistos. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 833-841, 2010.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do agronegócio: Brasil 2012/13 a 2022/23: projeções de longo prazo**. 4. ed. Brasília, DF, 2013. 96 p.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Proposta de Preços Mínimos / Companhia Nacional de Abastecimento**. Brasília, 2015. v.1.
- \_\_\_\_\_. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Safra 2016/17. Quinto Levantamento, v. 5, n. 5, fev. 2017.

CORDEIRO, A. C.C; RANGEL, P.H.N. Avaliação de populações de arroz irrigado conduzidas por seleção recorrente em várzea de Roraima. **Revista Agro@mbiente** (On-line), v. 5, n. 3, p. 182-187, set./dez. 2011.

COSTA, R.B.; RESENDE, M.D.V.; CONRINI, A.Z.; REGO, F.L.H.; ROA, R.A.R.; MARTINS, W.J. Avaliação genética de indivíduos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) na região de Caarapó, MS, pelo procedimento REML/BLUP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 371-376, 2002.

\_\_\_\_\_. Avaliação genética dentro de progênes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), na região de Caarapó, MS, pelo procedimento REML/BLUP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, p.3 71-376, 2005.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 382 p.

DO VALE, J.C.; SOARES, P.C.; CORNÉLIO, V.M.O.; REIS, M.S.; BORGES, V.; BISI, R.B.; SOARES, A.A.; FRITSCHÉ NETO, R. Contribuição genética na produtividade do arroz irrigado em Minas Gerais no período de 1998 a 2010. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p.460-466, 2012.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Dados conjunturais da produção de arroz (*Oryza sativa* L.) no Brasil (1986 a 2015): área, produção e rendimento**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2016. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: 29 jan. 2017.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4. ed. Edinburgh: Longman Group Limited, 1996. 464 p.

FEHR, W. R. **Principles of cultivar development**. New York: Macmillan, 1987. 536 p.

FERNANDES, R.H. **Estimativa de parâmetros genéticos para caracteres de qualidade de grão e características agronômicas de linhagens endogâmicas recombinantes de arroz (*Oryza sativa* L.)**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015, 75 p.

FERREIRA, C. M.; PINHEIRO, B. S.; SOUSA, I. S. F.; MORAIS, O. P. **Qualidade do arroz no Brasil: evolução e padronização**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 61 p.

FERREIRA, C. M.; RUCATTI, E. G.; DEL VILLAR, P. M. produção e aspectos econômicos. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. S. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2. ed. rev. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 97- 116.

FIDELIS, R.R.; RODRIGUES, A.M.; SILVA, G.F; BARROS, H.B.; PINTO, L.C.; AGUIAR, R.W.S. Eficiência no uso de nitrogênio em genótipos de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 1, p. 124-128, jan./mar. 2012.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **STAT**. TradeSTAT. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>> Acesso em: 10 jan. 2017.

GUIMARÃES, C. M.; PRABHU, A. S.; CASTRO, E. da M. de; FERREIRA, E.; COBUCCI, T.; YOKOYAMA, L. P. **Cultivo do arroz em rotação com soja**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. 7 p. (Embrapa Arroz e Feijão Circular Técnica, 41).

GUIMARÃES, C. M.; SANTOS, A. B.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; STONE, L. F. Sistemas de cultivo. In: SANTOS, A. B. STONE, L. F. VIEIRA, N. R. A. (Eds.). **A cultura de arroz no Brasil**. 2. ed. rev. ampl. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. cap. 3, p. 53-96.

HALLAUER, A. R.; CARENA, M. J.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. 3. ed. Springer: New York, 2010. 663 p.

HENDERSON, C.R. Estimates of changes in herd environment. **Journal of Dairy Science**, Champaign, (Abstr.), v. 32, p.706, 1949.

\_\_\_\_\_. Sire evaluation and genetic trends. In: Animal Breeding and Genetics Symposium in Honor of J.Lush. **American Society of Animal Science**, Champaign, v. 3, p. 10-41, 1973.

KNAPP, S.J.; STROUP, W.W.; ROSS, W.M. Exact confidence intervals for heritability on a progeny mean basis. **Crop Science**, Madison, v. 25, p. 192-194, jan. 1985.

MAIA, M.C.C.; RESENDE, M.D.V.; OLIVEIRA, L.C.; ALVARES, V.S.; MACIEL, V.T.; LIMA, A.C. Seleção de clones experimentais de cupuaçu para características agroindustriais via modelos mistos. **Revista Agro@mbiente** (On-line), v. 5, n. 1, p. 35- 43, jan./abril, 2011.

MORAIS JÚNIOR, O. P. **Análise multivariada da divergência genética dos progenitores, índices de seleção combinada numa população de arroz oriunda de intercrossamentos, usando macho esterilidade**. 1992. 251 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1992.

\_\_\_\_\_. **Variabilidade e progresso genético com seleção recorrente em arroz de terras altas Goiânia**. 2013. 163 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2013.

OLIVEIRA, R.A.; DAROS, E.; BESPALHOK-FILHO, J.C. ZAMBON, J.L.C.; IDO, O.T.; WEBER, H.; RESENDE, M.D.V.; ZENI-NETO, H. Seleção de famílias de cana-de-açúcar via modelos mistos. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 3, p. 269-274, 2008.

PATERNIANI, E.; MIRANDA FILHO, J. B. Melhoramento de populações. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. (Eds.). **Melhoramento e produção de milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 217-264.

PATTERSON, H.D.; THOMPSON, R. Recovery of interblock information when block sizes are unequal. **Biometrika**, London, v. 58, n. 3, p. 545- 554, 1971.

PEREIRA, J.A. **Cultura do arroz no Brasil: subsídios para a sua história**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. 226 p.

PIMENTEL, A. J. B. et al . Estimaco de parâmetros genéticos e predico de valor genético aditivo de trigo utilizando modelos mistos. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 49, n. 11, p. 882-890, nov. 2014 .

PINHEIRO, B. S.; CASTRO, E. M.; GUIMARÃES, C. M. Sustainability and profitability of aerobic rice production in Brazil. *Field Crops Research*, **Bonn**, v. 97, n. 1, p. 34-42, 2006.

PINTO, F.O.; LUZ, L.N.; CARDOSO, D.L.; RAMOS, H.C.C. Metodologia dos modelos mistos para seleo combinada em progies segregantes de mamoeiro. **Rev. Bras. Cinc. Agrár.** Recife, v. 8, n. 2, p. 211-217, 2013.

PRABHU, A. S.; ARAÚJO, L. G. de; FAUSTINA, C.; BERNI, R. F. Estimativa de danos causados pela brusone na produtividade de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1045-1051, set. 2003.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2014. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. F. B.; SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. R. **Aplicaes da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2012. 522 p.

REGITANO NETO, A.; RAMOS JUNIOR, E.U.; GALLO, P.B.; FREITAS, J.G.; AZZINI, L.E. Comportamento de genótipos de arroz de terras altas no estado de São Paulo. **Revista Cincia Agronômica**, v. 44, n. 3, p. 512-519, jul./set, 2013.

RESENDE, M.D.V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informaco Tecnológica, 2002. 975 p.

\_\_\_\_\_. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 561 p.

RESENDE, M. D. V.; PRATES, D. F.; YAMADA, C. K.; JESUS, A. Estimaco de componentes de variância e predico de valores genéticos pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) e melhor predico linear não viciada (BLUP) em pinus. **Boletim de Pesquisa Florestal**, p. 32-33, 1996.

ROCHA, M. M.; VELLO, N.A. Interao genótipos e locais para rendimento de grãos de linhagens de soja com diferentes ciclos de maturaco. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 69-81, 1999.

ROSSMANN, H. **Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos de uma populaco de soja avaliada em quatro anos**. 2001. 80 p. Dissertaco (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2001.

SANTOS, P. G.; SOARES, A. A.; RAMALHO, M. A. P. Estimates of genetic and phenotypic parameters in a segregant population of rice irrigated by continuous flooding. **Brazilian Journal Genetics**, Ribeirão Preto, v. 20, n. 3, p. 429-433, set. 1997.

- SATTERTWHAITE, F. E. An approximate distribution of estimates of variance components. **Biometrics**, Raleigh, v. 2, p. 110-114, 1946.
- SERVELLON RODRIGUEZ, R.E.; RANGEL, P.H.N.; MORAIS, O.P. Estimativas de parâmetros genéticos e de respostas a seleção na população de arroz irrigado CNA 1. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 5, p. 685-691, maio, 1998.
- SILVA, O. F.; WANDER, A. E. **O arroz no Brasil: evidências do censo agropecuário 2006 e anos posteriores**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2014. 58 p.
- SOARES, A.A.; RAMALHO, M.A.P.; SOUSA, A.F. de. Estimativa do progresso genético obtido pelo programa de melhoramento de arroz irrigado da década de oitenta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 97-104, jan. 1994.
- SOARES A. A.; CORNÉLIO V. M. O.; SOARES P.C.; SANTOS P.G.; REIS M.S. Primavera: cultivar de arroz com grãos agulhinha para cultivo em terras altas. **Revista Ceres**, p. 48-381-388, 2001.
- 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.
- SOUZA, M. A. de; MORAIS, O. P.; HERÁ, R. E. C.; CARGNIN, A; PIMENTEL, A. J. B. Progresso genético do melhoramento de arroz de terras altas no período de 1950 a 2001. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 42, n. 3, 2007.
- VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. (Ed.). **Melhoramento e produção do milho**. 2. ed. Campinas: Fund. Cargill, 1987. v. 1, p. 135-214.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486 p.
- VILLAR, P. M.; GAMEIRO, A. H.; FERREIRA, C.M.; BARATA, T. S. Competitividade entre o arroz irrigado e o de terras altas no Brasil. In: FERREIRA, C.M.; VILLAR, P. M.; SOUSA, I.S.F. (Org.). **Desenvolvimento tecnológico e dinâmica da produção do arroz de terras altas no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005, p.118. ISBN 85-7437-024-X.
- WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, v. 38, n. 4, p. 1184-1192, 2008.

## APÊNDICE

Tabela 1A - Resumo da análise de variância individual para produtividade de grãos em kg.ha<sup>-1</sup> (P), dias até o florescimento (F), altura de plantas em cm (A) e resistência à brusone foliar em notas (BF), em Lavras, no ano agrícola 2015/2016.

FV	GL	QM			
		P	F	A	BF
Genótipos (G)	35	1374217,23**	62,24**	76,79*	1,81**
Repetição (R)	2	9652847,32**	11,86**	199,69**	0,69
Erro	70	494397,15	1,99	40,28	0,43
Acurácia (%)		80,02	98,39	68,94	87,38
CV (%)		17,51	1,73	5,90	21,02
Média Geral		3801,96	81,47	107,64	3,11

\*\*Significativo a 99% e, \*Significativo a 95% de confiabilidade pelo teste F.

Tabela 2A - Resumo da análise de variância individual para produtividade de grãos em kg.ha<sup>-1</sup> (P), dias até o florescimento (F), altura de plantas em cm (A) e resistência à brusone foliar em notas (BF), em Lambari, no ano agrícola 2015/2016.

FV	GL	QM			
		P	F	A	BF
Genótipos (G)	35	431338,16	20,29**	141,74**	2,16**
Repetição (R)	2	1917663,01**	10,56	34,48	0,25
Erro	70	349425,71	6,36	84,48	0,90
Acurácia (%)		43,55	82,84	63,57	84,53
CV (%)		16,54	3,05	9,16	27,07
Média Geral		3574,56	82,74	100,38	3,50

\*\*Significativo a 99% e, \*Significativo a 95% de confiabilidade pelo teste F

Tabela 3A - Resumo da análise de variância individual para produtividade de grãos em kg.ha<sup>-1</sup> (P), dias até o florescimento (F), altura de plantas em cm (A) e resistência à brusone foliar em notas (BF), em Lavras, no ano agrícola 2014/2015.

FV	GL	QM			
		P	F	A	BF
Genótipos (G)	35	804354,33*	140,35**	87,09**	1,97**
Repetição (R)	2	988996,65	72,03**	430,68**	2,26
Erro	70	443166,67	5,01	23,56	0,74
Acurácia (%)		67,01	98,20	85,41	79,13
CV (%)		17,51	2,33	4,45	55,79
Média Geral		3801,96	96,03	109,01	1,54

\*\*Significativo a 99% de confiabilidade pelo teste F.

Tabela 4A - Resumo da análise de variância individual para produtividade de grãos em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (P), dias até o florescimento (F), altura de plantas em cm (A) e resistência à brusone foliar em notas (BF), em Lambari, no ano agrícola 2014/2015.

FV	GL	QM			
		P	F	A	BF
Genótipos (G)	35	1993318,57**	387,13**	121,65**	2,89**
Repetição (R)	2	522311,88	0,90	30,01**	1,68
Erro	70	338359,17	45,76	19,74	0,84
Acurácia (%)		91,12	93,90	85,41	84,26
CV (%)		18,29	7,00	3,86	43,74
Média Geral		3180,47	16754,63	115,18	2,10

\*\*Significativo a 99% de confiabilidade pelo teste F.

Tabela 5A - Resumo da análise de variância individual para produtividade de grãos em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (P), dias até o florescimento (F), altura de plantas em cm (A) e resistência à brusone foliar em notas (BF), em Lavras, no ano agrícola 2013/2014.

FV	GL	QM	
		P	A
Genótipos (G)	35	3310857,61**	64,22
Repetição (R)	1	3989370,89	123,91
Erro	35	1033530,23	90,48
Acurácia (%)		82,93	51,97
CV (%)		16,67	8,20
Média Geral		6099,08	115,97

\*\*Significativo a 99% de confiabilidade pelo teste F.

Tabela 6A - Médias Blup's na média dos ambientes para todos os caracteres avaliados. (Continua)

Genótipos	Produtividade de grãos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )	Florescimento (dias)	Altura (cm)	Brusone Foliar (notas)
1	3587,7	83,7	104,7	3,2
2	3927,6	90,1	111,3	2,7
3	3856,1	-	109,2	-
4	4445,0	-	112,4	-
5	4286,6	-	108,5	-
6	4549,1	-	108,5	-
7	4099,3	89,9	110,0	2,6
8	3955,4	-	109,2	-
9	5125,2	86,0	107,7	2,1
10	4622,4	-	104,7	-
11	4297,6	89,9	106,1	2,3

Tabela 6A - Médias Blup's na média dos ambientes para todos os caracteres avaliados, (Continua)

Genótipos	Produtividade de grãos (kg.ha <sup>-1</sup> )	Florescimento (dias)	Altura (cm)	Brusone Foliar (notas)
12	4665,1	-	109,3	-
13	4407,0	-	110,3	-
14	4556,0	-	109,3	-
15	4142,2	-	108,2	-
16	4940,8	90,2	108,9	2,3
17	3314,4	-	107,9	-
18	4098,0	90,8	111,2	2,3
19	4686,9	91,8	111,0	2,1
20	4442,6	-	108,7	-
21	4128,1	-	107,9	-
22	4889,6	-	110,7	-
23	5031,7	-	108,4	-
24	4931,7	88,7	108,4	2,4
25	4934,5	-	109,3	-
26	3577,1	-	111,0	-
27	3302,5	-	108,0	-
28	5050,6	-	111,6	-
29	4818,7	-	111,4	-
30	5154,5	-	109,4	-
31	4993,5	-	109,2	-
32	3884,3	-	109,1	-
33	4272,1	-	109,5	-
34	4958,4	86,3	110,1	2,5
35	4686,4	-	111,6	-
36	4636,7	-	110,6	-
37	3925,5	88,1	111,4	3,2
38	3925,5	82,1	110,5	2,6
39	4439,9	80,8	112,0	2,3
40	4481,4	80,8	114,4	2,6
41	4279,0	81,5	114,0	3,0
42	3779,4	82,5	108,9	3,0
43	4168,2	83,6	106,6	2,6
44	3970,7	83,6	108,9	2,6
45	4025,3	83,5	110,5	2,4
46	4000,1	85,6	111,9	2,6
47	4252,1	108,4	105,7	2,2
48	4371,0	104,3	109,1	2,6
49	3845,8	88,4	110,5	2,6
50	4155,3	100,5	108,7	2,5

Tabela 6A - Médias Blup's na média dos ambientes para todos os caracteres avaliados, (Continua)

Genótipos	Produtividade de grãos (kg,ha <sup>-1</sup> )	Florescimento (dias)	Altura (cm)	Brusone Foliar (notas)
51	4113,5	89,8	110,7	2,4
52	4094,4	88,8	110,6	2,3
53	3964,1	88,7	110,9	2,9
54	4311,6	99,4	107,5	2,3
55	4243,7	98,5	106,5	2,3
56	4399,9	97,1	109,6	2,1
57	4391,3	97,8	108,6	2,1
58	4669,4	97,8	107,6	2,2
59	4487,8	99,9	107,6	2,1
60	4285,6	98,2	109,5	2,2
61	4478,4	100,5	109,3	2,2
62	4745,0	101,2	112,0	2,5
63	4342,7	84,0	112,3	2,9
64	4051,7	87,9	111,1	2,7
65	4478,0	88,9	107,1	3,0
66	4605,1	89,2	107,1	3,1
67	4294,8	90,2	106,9	2,7
68	4160,1	87,2	108,2	2,7
69	4540,7	89,2	107,1	2,8
70	4721,6	88,8	108,9	2,7
71	4695,7	88,8	109,7	2,6
72	4529,6	89,9	109,2	2,8
73	4633,5	88,6	109,0	2,2
74	4812,2	89,3	108,6	2,6
75	4620,1	91,9	107,6	2,6
76	4200,8	84,5	107,5	2,6
77	4524,4	89,6	105,5	2,2
78	4465,6	89,0	110,5	2,6
79	4435,8	85,5	106,6	2,2
80	4194,9	88,8	107,2	2,2
81	4281,5	87,9	106,9	2,5
82	4641,9	88,6	108,2	2,5
83	4716,9	88,6	110,7	1,7
84	4250,4	85,2	112,3	1,9

Tabela 6A - Médias Blup's na média dos ambientes para todos os caracteres avaliados, (Conclusão)

Genótipos	Produtividade de grãos (kg,ha <sup>-1</sup> )	Florescimento (dias)	Altura (cm)	Brusone Foliar (notas)
85	4161,3	86,6	113,1	2,6
86	4692,7	85,5	109,7	2,7
87	3856,5	83,8	105,7	2,4
88	4107,0	86,6	108,6	2,4
89	3838,0	93,8	106,5	2,4
90	4021,9	92,6	108,0	2,3
91	3801,7	90,9	108,8	2,6