

ANTÔNIO CARLOS DA SILVA JÚNIOR

**PROGRESSO GENÉTICO DO PROGRAMA DE MELHORAMENTO DE ARROZ
IRRIGADO EM MINAS GERAIS NO PERÍODO 1993/94 A 2015/2016**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2017

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

S586p
2017
Silva Júnior, Antônio Carlos da, 1987-
Progresso genético do programa de melhoramento de arroz
irrigado em Minas Gerais no período 1993/1994 a 2015/2016 / Antônio
Carlos da Silva Júnior. - Viçosa, MG, 2017.
xiv, 69f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Cosme Damião Cruz.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Arroz - Melhoramento genético - Minas Gerais. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Biologia Geral. Programa de Pós-
graduação em Genética e Melhoramento. II. Título.

CDD 22 ed. 633.183

ANTÔNIO CARLOS DA SILVA JÚNIOR

**PROGRESSO GENÉTICO DO PROGRAMA DE MELHORAMENTO DE ARROZ
IRRIGADO EM MINAS GERAIS NO PERÍODO 1993/94 A 2015/2016**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 17 de julho de 2017.


Plínio César Soares


Renato Domiciano Silva Rosado


Cosme Damião Cruz
(Orientador)

À Deus,
Luz em meu caminho

OFEREÇO

Aos meus amados pais, Antônio Carlos e Nilza. Aos meus irmãos Valquíria e Romário. Por todo amor, carinho, dedicação, força, apoio, companheirismo e amizade, sempre apoiando todas minhas decisões, abençoando minha vida e meus passos, acreditando no meu potencial e possibilitando atingir esta conquista, meu eterno amor e gratidão. Carinhosamente e orgulhosamente.

DEDICO

“Se cheguei até aqui foi porque me apoiei nos ombros dos gigantes”

Isaac Newton

“Tudo posso naquele que me fortalece”

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora Aparecida por iluminar o meu caminho durante toda esta jornada, dando-me saúde, conhecimento e força para conseguir superar os desafios da vida.

Aos meus pais, Antônio Carlos e Nilza, pelo amor, carinho, dedicação e incentivo para que eu conseguisse alcançar mais este objetivo.

Aos meus irmãos Valquíria e Romário pela amizade, compreensão, paciência e incentivo.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento, pela oportunidade de cursar a graduação e o mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos. E ao CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro durante a realização deste trabalho.

Ao professor e amigo Cosme Damião Cruz, pela excelente orientação, pelos conhecimentos transmitidos, paciência e sobretudo pela amizade. Exemplo de dedicação e competência.

Ao pesquisador da EPAMIG e amigo Plínio César Soares, não somente pela coorientação, mas pelo apoio durante todo o período de minha formação acadêmica, pela dedicação, incentivo, amizade e pela concessão dos dados experimentais explorados neste estudo.

Ao professor e amigo Leonardo Lopes Bhering, pela coorientação e apoio durante a minha formação acadêmica, pela dedicação, incentivo e amizade.

Aos professores dos departamentos de Biologia Geral, Fitotecnia e Estatística que colaboraram para a minha formação acadêmica.

Aos meus amigos Rafael, Guilherme e Andreza pela amizade, apoio e compreensão.

Ao doutorando Vinícius Quintão, pela colaboração, ensinamentos, disponibilidade, sugestões e amizade.

Aos amigos que fiz durante todo este período, em especial aos amigos do Laboratório de Bioinformática, Vinicius, Alexandre, Iara, Ivan, Renato, Francyse, Ricardo, Luciano, Isabela, Gabi, Marciane, Dayana, Cristiano, Luiza, Wender, Hécio, Laís, Ithalo, Haroldo, Carla e Moysés pelo apoio e paciência.

Aos pesquisadores da EPAMIG, em especial ao Rogério Faria, Cláudia Lúcia, Cleide e a Waldênia pelo apoio e amizade. E aos funcionários Canuto, Geraldinho, Rita e Irene pela disponibilidade e amizade.

Aos funcionários do BIOAGRO pela disponibilidade e amizade, em especial ao senhor Paulo.

Aos secretários do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento, Marco Túlio e Odilon.

A todos aqueles que colaboraram de alguma forma para este trabalho.
MUITO OBRIGADO!

BIOGRAFIA

ANTÔNIO CARLOS DA SILVA JÚNIOR, filho de Antônio Carlos da Silva e Nilza Helena Gonçalves da Silva, nasceu em 07 de fevereiro de 1987, em Viçosa, no estado de Minas Gerais.

Em fevereiro de 2003 iniciou o ensino médio na Escola Estadual Effie Rolfs, formando-se em dezembro de 2005.

Em março de 2010, iniciou o curso de Engenharia Agrônômica na Universidade Federal de Viçosa, onde obteve o título em julho de 2015.

Em março de 2016, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Genética e Melhoramento na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de dissertação em julho de 2017.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	2
2.1. Melhoramento Vegetal	2
2.2. Progresso genético	7
2.3. A cultura do arroz	8
2.4. Melhoramento genético do arroz	11
2.5. Progresso genético em programas de melhoramento do arroz	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1. Dinâmica do programa de melhoramento de arroz	31
4.2. Ganhos genéticos na cultura do arroz - Metodologia de Vencovsky et al. (1986)	40
4.3. Ganhos genéticos na cultura do arroz - Metodologia de Breseghelo et al. (1995)	48
4.4. Efeitos ambientais e da interação genótipos x ambientes sobre o desempenho de cultivares	56
5. CONCLUSÕES	59
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Disposição dos municípios integrantes da rede de ensaios do programa de melhoramento de arroz irrigado de Minas Gerais, Brasil. Fonte: Google Earth..... 17
- Figura 2:** Valores médios de série de dados de 30 anos do comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano nos municípios de Lambari, Leopoldina e Janaúba. Fonte <http://www.climatempo.com.br/>. 37
- Figura 3:** Diferenças brutas, ambientais e genéticas nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU's) de arroz irrigado em cada par de anos, no período de 1993 a 2016, em Lambari, no estado de Minas Gerais. 44
- Figura 4:** Diferenças brutas, ambientais e genéticas nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU's) de arroz irrigado em cada par de anos, no período de 1993 a 2016, em Janaúba, no estado de Minas Gerais. 45
- Figura 5:** Diferenças brutas, ambientais e genéticas nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU's) de arroz irrigado em cada par de anos, no período de 1993 a 2016, em Leopoldina, no estado de Minas Gerais. 47
- Figura 6:** Progresso genético para produtividade nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU's) de arroz irrigado, em Janaúba no período de 1993 a 2016. 50
- Figura 7:** Progresso genético para produtividade nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU's) de arroz irrigado, em Lambari no período de 1993 a 2016. 51
- Figura 8:** Progresso genético para produtividade nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU's) de arroz irrigado, em Leopoldina no período de 1993 a 1999. 52
- Figura 9:** Progresso genético para produtividade nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU's) de arroz irrigado, em Leopoldina no período de 1999 a 2016. 53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Identificação das linhagens de arroz avaliados nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU's) de 1993/1994 a 2015/2016 no programa de melhoramento de arroz irrigado de Minas Gerais.	18
Tabela 2: Número de repetições e linhagens, espaçamento, área total e área útil das parcelas dos ensaios de Valor e Cultivo e Uso (VCU's), conduzidos no período de 2015/16 a 1993/94, em Minas Gerais.	19
Tabela 3: Número de linhagens e produtividade (kg.ha-1) das linhagens novas, mantidas, excluídas e avaliadas em cada ano no programa de melhoramento de arroz irrigado, no período de 1993 a 2016, em Lambari, no Estado de Minas Gerais.	32
Tabela 4: Número de linhagens e produtividade (kg.ha-1) das linhagens novas, mantidas, excluídas e avaliadas em cada ano no programa de melhoramento de arroz irrigado, no período de 1993 a 2016, em Janaúba, no Estado de Minas Gerais.	32
Tabela 5: Número de linhagens e produtividade (kg.ha-1) das linhagens novas, mantidas, excluídas e avaliadas em cada ano no programa de melhoramento de arroz irrigado, no período de 1993 a 2016, em Leopoldina, no Estado de Minas Gerais.	33
Tabela 6: Taxa de substituição de genótipos (%), nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU's) de arroz irrigado em cada par de anos, no período de 1993 a 2016, no Estado de Minas Gerais.	38
Tabela 7: Variedades de arroz recomendadas para o Estado de Minas Gerais no período de 1975 a 2017.	38
Tabela 8: Balanço do ganho genético e ambiental, média geral e porcentagem de ganho obtido pelo programa de melhoramento de arroz irrigado, no período de 1993 a 2016 no estado de Minas Gerais.	41

Tabela 9: Coeficiente angular e intercepto obtido pelo programa de melhoramento de arroz irrigado em Minas Gerais utilizando a metodologia de Breseghelo, no período de 1993 a 2016.....49

Tabela 10: Resumo das análises de variância conjuntas em relação aos anos agrícolas do programa de melhoramento genético de arroz irrigado de Minas Gerais.
.....56

RESUMO

SILVA JÚNIOR, Antônio Carlos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2017. **Progresso genético do programa de melhoramento de arroz irrigado em Minas gerias no período de 1993/1994 a 2015/2016.** Orientador: Cosme Damião Cruz.

O arroz (*Oryza sativa*) é considerado a terceira maior cultura cerealífera do mundo, sendo responsável pela alimentação de metade da população mundial. Visto que Minas Gerais situa-se entre os principais estados produtores de arroz do país e a demanda do produto é elevada no estado, a liberação de cultivares melhoradas é uma das mais poderosas formas de incremento na produção da cultura. A estimativa do progresso genético constitui uma das ferramentas utilizadas na avaliação da eficácia dos programas de melhoramento, além de ser útil para identificar e corrigir possíveis erros de planejamento. Nesse contexto, a realização deste trabalho teve como objetivo estimar o progresso genético da produtividade de grãos do programa de melhoramento de arroz irrigado desenvolvido em Minas Gerais nos anos agrícolas de 1993/1994 a 2015/2016 com base em ensaios de cultivo de valor e uso (VCU's), avaliar a eficiência da metodologia de Breseghello e a tradicional para estimar o progresso genético utilizando grande quantidade de genótipos e a eficiência do melhoramento genético do arroz irrigado no estado de Minas Gerais quanto à produtividade. Os ensaios de VCU's foram conduzidos em Janaúba, Leopoldina e Lambari, sendo avaliadas 210 linhagens e cultivares no período, em delineamento de blocos ao acaso, variando de três a quatro repetições. Os tratos culturais foram feitos de acordo com a exigência da cultura. A taxa média de substituição dos genotípicos foi de 44% para Lambari e Janaúba, e com 43% em Leopoldina. A taxa média de manutenção em Lambari foi de 39%, já em Janaúba e Leopoldina esta consistiu em 40%. Os ganhos genéticos durante o período de 1993 a 2016 foram muito discrepantes entre os locais. Utilizando a metodologia de Vencovsky et al. (1986) obteve-se maior ganho em Lambari em relação aos outros locais ($53,1 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), significando aumento de 1,46% ao ano, em Janaúba o ganho genético foi de $8,68 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, resultado que representa uma taxa de 0,14% ao ano. Já em Leopoldina, o acréscimo na produtividade ($6,65 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) correspondeu a 0,11 % ao ano, resultado considerado muito baixo para a cultura. Utilizando a metodologia de Breseghello et al. (1995), o ganho genético médio anual

para Lambari foi de $167,62 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, correspondendo a 0,23% ao ano. Para Janaúba, este ganho foi de $57,88 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, ou 0,04% ao ano. Já em Leopoldina, foram calculados ganhos referentes aos períodos de 1993/1994 a 1998/1999 e 1999/2000 a 2015/2016. O ganho genético obtido no período de 1999/2000 a 2015/2016 foi de $93,93 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, que corresponde a 0,1 % ao ano. Já para o período 1993/1994 a 1998/1999 o ganho foi $-685 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, que representa perda de -2,37% ao ano. As metodologias de Breseghello e a tradicional foram eficientes para quantificar o ganho obtido e a dinâmica do programa de melhoramento genético do arroz irrigado no estado de Minas Gerais, quanto à produtividade.

ABSTRACT

SILVA JÚNIOR, Antônio Carlos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2017. **Genetic progress of the irrigated rice breeding program in Minas Gerais in the period 1993/1994 to 2015/2016.** Adviser: Cosme Damião Cruz.

Rice (*Oryza sativa*) is considered the third largest cereal crop in the world and is responsible for feeding half of the world population. Since Minas Gerais is among the main rice-producing states of the country and the demand for the product is high in the state, the release of improved cultivars is one of the most powerful ways of increasing crop production. Estimating genetic progress is one of the tools used to evaluate the effectiveness of breeding programs and is useful for identifying and correcting possible planning errors. In this context, the objective of this work was to estimate the genetic progress of grain yield of the irrigated rice breeding program developed in Minas Gerais in the agricultural years of 1993/1994 to 2015/2016 based on value and use cultivation trials (VCU's), to evaluate the efficiency of the Breseghello's methodology and the traditional one to estimate the genetic progress using large amount of genotypes and the efficiency of the genetic improvement of the irrigated rice in the state of Minas Gerais. VCU assays were conducted in Janaúba, Leopoldina and Lambari, and 210 lines and cultivars were evaluated in the period, in a randomized block design, ranging from three to four replicates. Cultural dealings were made according to the requirement of culture. The average genotypic replacement rate was 44% for Lambari and Janaúba, and 43% for Leopoldina. The average maintenance rate in Lambari was 39%, already in Janaúba and Leopoldina this consisted of 40%. Genetic gains during the period 1993 to 2016 were very discrepant between sites. Using the methodology of Vencovsky et al. (1986) showed higher gain in Lambari compared to other sites ($53.1 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$), meaning an increase of 1.46% per year, in Janaúba the genetic gain was $8.68 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, a result that represents a rate of 0.14% per year. In Leopoldina, the increase in productivity ($6.65 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) corresponded to 0.11% per year, a result considered very low for the crop. Using the methodology of Breseghello et al. (1995), the annual average genetic gain for Lambari was $167.62 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, corresponding to 0.23% per year. For Janaúba, this gain was $57.88 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, or 0.04% per year. In Leopoldina, gains were calculated for the periods 1993/1994 to

1998/1999 and 1999/2000 to 2015/2016. The genetic gain obtained in the period 1999/2000 to 2015/2016 was $93.93 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, which corresponds to 0.1% per year. For the period 1993/1994 to 1998/1999 the gain was $-685 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, which represents a loss of -2.37% per year. The Breseghello and traditional methodologies were efficient to quantify the gain obtained and the dynamics of the genetic improvement program of the irrigated rice in the state of Minas Gerais, regarding productivity.

1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa*) é uma planta herbácea pertencente à classe das monocotiledôneas e à família *Poaceae*. É considerada a terceira maior cultura cerealífera do mundo, sendo responsável pela alimentação de metade da população mundial (Neves, 2007). Apesar de suprir a população mundial atual, estima-se que, até 2050, a produção de arroz no mundo tenha que aumentar de 60 a 110% para suprir a demanda populacional (Ray *et.al.*, 2013; Gordfray *et.al.*,2010; Tilman *et.al.*, 2011).

A produção brasileira nos últimos anos está sendo suficiente para suprir a demanda do mercado interno de arroz. Na safra 2014/2015, a produção desta cultura foi aproximadamente de 12,5 milhões de toneladas. De forma geral, o cultivo de arroz está distribuído por todo o país, porém, a maior parte está concentrada na região centro-sul. Para esta região, estima-se que sejam colhidas aproximadamente 10,8 milhões de toneladas (Conab, 2016).

A estimativa de produção no Brasil para a safra de 2024/2025 deverá ser de aproximadamente 13 milhões de toneladas. Valores desta magnitude correspondem a um aumento de 30% na produção de arroz nos próximos 10 anos (a partir de 2014/2015). Além disso, estima-se que exista redução da área de cultivo de arroz de 2,3 milhões de hectares em 2014/2015 para 1,4 milhão de hectares em 2024/2025 (MAPA, 2015). Assim, há uma tendência de aumento da produtividade por área.

Minas Gerais é um importante estado produtor de arroz. Na safra 2014/2015, o estado apresentou média de produtividade de 2.385 kg.ha⁻¹ e área de cultivo de 12 mil hectares. Durante o período de 1976 a 2016, observou-se um aumento expressivo na produtividade do arroz, no entanto, houve redução na área de cultivo. A média de produtividade no ano agrícola de 1976/1977, que era de 897 kg.ha⁻¹, atualmente situa-se em torno de 2.100 kg.ha⁻¹ (Conab, 2016).

A redução de área de cultivo do arroz no Brasil pode ser explicada por vários fatores, dentre eles, a substituição do produto por outros de rentabilidade ou perspectiva de mercado mais promissoras como a soja, trigo, café e o milho. Apesar desta redução, nas últimas décadas a produção continuou aumentando. Boa parte deste aumento se deve ao sucesso contínuo do desenvolvimento de novos

cultivares altamente produtivos e adaptados a diversas condições ambientais que proporcionou aumento de produtividade de cerca de 50% (Fehr, 1984).

O desenvolvimento de cultivares melhorados é a principal forma de se aumentar a produtividade de grãos da maioria das espécies agrônômicas. Os cultivares são produtos tecnológicos que proporcionam ganhos expressivos no rendimento das lavouras devido serem de baixo custo e de fácil adoção pelos agricultores. Assim, os programas de melhoramento ao desenvolverem novos materiais atendem a uma demanda contínua de renovação de cultivares nos plantios comerciais, em substituição àqueles menos produtivos e com menor aceitação no mercado.

Embora o nível de adoção dos novos cultivares seja uma das maneiras mais eficientes de avaliar o desempenho dos programas de melhoramento, também é importante que se quantifique o progresso genético obtido por estes. Segundo Vencovsky et al. (1988), o progresso genético é avaliado através da superioridade genética dos materiais que estão participando dos ensaios em determinado ano em detrimento aos dos anos anteriores. A avaliação da estimativa do progresso genético é de fundamental importância em programas de melhoramento, pois permite averiguar seu sucesso, buscar novos métodos para ampliar sua eficácia, quantificar o impacto dos alelos favoráveis durante as fases de melhoramento, orientar futuras ações de pesquisa e reavaliar as estratégias empregadas (Soares et al., 2005; Menezes Júnior et al., 2008).

Os objetivos desse trabalho foram estimar o progresso genético da produtividade de grãos alcançado com o programa de melhoramento de arroz irrigado desenvolvido em Minas Gerais no período de 1993/1994 a 2015/2016; avaliar a eficiência da metodologia de Breseghello e a tradicional utilizando grande quantidade de genótipos; e estimar a eficiência do melhoramento genético do arroz irrigado no estado de Minas Gerais, quanto à produtividade.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Melhoramento Vegetal

A composição genética atual das diversas culturas é o resultado da domesticação de plantas ao longo dos séculos. O melhoramento inicialmente era realizado de forma empírica, consistindo na seleção de plantas mais adequadas para satisfazer as necessidades do homem. Assim, nesse período, o melhoramento de plantas era considerado, essencialmente, arte.

Sob visão mais moderna o melhoramento de plantas pode ser definido como “a ciência e a arte de modificar as plantas para o benefício humano” (Borém, 1997). Assim, ao longo da história o melhoramento deixou de ser puramente arte e passou a ser ciência, principalmente a partir do momento em que os conhecimentos em genética, estatística, agronomia, fitopatologia, entomologia, dentre outros, começaram a ser utilizados. O melhoramento ainda é arte, pois o seu sucesso é também dependente da experiência de melhoristas talentosos e com grande capacidade de identificar bons atributos (Borém, 1997; Bernardo, 2002).

Após a redescoberta das leis de Mendel, e com o avanço da genética como ciência, o melhoramento de plantas passou a ser realizado de forma mais eficiente, pois passou a ser embasado no conhecimento do controle genético das características de interesse. Além da genética, a biometria também foi de grande importância para a maior eficiência da atividade dos melhoristas, principalmente devido as grandes contribuições de Ronald Fisher (Squilassi, 2003) no que diz respeito à experimentação, delineamentos e testes de hipóteses.

O melhoramento de plantas é a principal base para que a agricultura possa disponibilizar alimento e energia em quantidades suficientes para suprir a demanda populacional sem acarretar em danos ambientais decorrentes do aumento da área agrícola. Além disso, atualmente existe grande preocupação de diversos programas de melhoramento em disponibilizar à sociedade alimentos de melhor qualidade nutricional, enriquecidos com nutrientes necessários aos seres humanos.

Além de estudos relacionados com a qualidade e quantidade nutricional dos alimentos, vários programas de melhoramento como os desenvolvidos pelo Instituto Internacional de Pesquisa do Arroz (IRRI), pelo Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo (CIMMYT), pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) e pelo Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA), têm trabalhado para aumentar os níveis nutricionais dos alimentos, proporcionando nutrientes biodisponíveis, como ferro e zinco, além de carotenoides, pró-vitaminas,

lipídeos, carboidratos e minerais nas culturas do arroz, trigo, milho, feijão, mandioca e outros (Bouis, 1996; Graham et al, 1998, 1999, 2001; Graham e Welch, 1996; Welch e Graham, 1999).

De maneira geral, as contribuições do melhoramento de plantas, fundamentadas em conhecimentos científicos, têm permitido produções que atendam a demanda mundial de alimentos (Wolf, 1986). Nesse sentido, o aumento da produtividade, considerado o aspecto de maior importância, tem sido alcançado por meio de melhorias dos tratamentos culturais, como o uso de insumos e práticas agronômicas adequadas e pelo uso de cultivares melhoradas.

Talvez a contribuição mais reconhecida do melhoramento de plantas para aumentar a produtividade tenha sido realizada pelo melhorista americano Norman Ernest Borlaug que desenvolveu cultivares de trigo semi-anão com alta capacidade produtiva no México, Paquistão e Índia. A partir dos trabalhos de Norman Borlaug o México se tornou o maior exportador de trigo entre 1963 a 1970, e nos demais países onde ele atuou a produção de trigo dobrou, garantindo quantidade e qualidade para a alimentação local ou regional. Este incremento na produtividade do trigo foi explicado por duas hipóteses: uma refere-se a maior eficiência fisiológica para absorver nitrogênio e a outra, devido ao fato de as variedades semi-anãs não apresentarem acamamento típico das plantas sob elevadas doses de nitrogênio, que inviabilizava a colheita. Nesse caso, a introdução de genes para baixa estatura em trigo e mais adiante em outros cereais, como no arroz, possibilitou incremento significativo na adaptação e produtividade dessas espécies.

O aumento da produção foi um dos pilares da Revolução Verde, que transformou tecnologicamente a agricultura em muitos países em desenvolvimento e que permitiu significativos aumentos na produção de alimentos. Com isso, o melhoramento de plantas anulou uma das mais temidas ameaças que a humanidade possuía no século XX devido à escassez de alimento naquele período, a fome. A Revolução Verde foi uma das maiores demonstrações do impacto econômico e social que o melhoramento de plantas pode ter no mundo. Também possibilitou maior uso de fertilizantes nitrogenados e o emprego de pacotes tecnológicos mesmo em países de terceiro mundo (Borlaug, 1968; Borlaug, 1969).

O principal objetivo de qualquer atividade agrícola é maximizar o lucro e definir as necessidades que têm os diversos agentes que compõem a cadeia

produtiva, além do meio ambiente. Em qualquer cultura, a forma de alcançar este objetivo é a busca pelo aumento da produtividade de forma sustentável aliada à redução dos custos de produção. Assim, a utilização de novas tecnologias na produção de uma cultura agrícola é de suma importância para alcançar a máxima lucratividade. O uso de cultivares melhorados é uma ótima opção, uma vez que apresentam bom custo/benefício.

Para tentar suprir as necessidades dos agricultores, os programas de melhoramento visam desenvolver cultivares superiores aos existentes no mercado quanto a uma série de caracteres de importância agrônômica. Esses objetivos são definidos principalmente em função das necessidades que têm os diversos agentes que compõem a cadeia produtiva de uma cultura. Para os produtores, o importante é o desenvolvimento de genótipos altamente produtivos, adaptados a condições de clima e solo, resistentes a fatores bióticos e abióticos que propiciem facilidade nos tratamentos culturais, entre outros atributos. Sob ponto de vista dos comerciantes, os genótipos desenvolvidos devem apresentar o produto comercial de boa qualidade, com aceitabilidade comercial, resistente ao armazenamento e ao transporte.

Os diversos programas de melhoramento realizam trabalho árduo no desenvolvimento de um cultivar, já que é necessário neste processo, ter material genético de ampla variabilidade, área experimental que represente as condições de adaptação da cultura, recursos financeiros e humanos, dentre outros quesitos. Além disso, os melhoristas devem ter conhecimento a respeito da cultura e base científica de informações nas áreas de estatística experimental, melhoramento vegetal, biotecnologia e biometria, além da capacidade de gerenciamento de pessoas (Borém e Miranda, 2013). Assim, fica evidente que em um novo cultivar está embutido muito conhecimento e trabalho.

Diversas técnicas de melhoramento têm sido empregadas na obtenção de novos cultivares. A introdução de plantas é uma estratégia que explora a variabilidade natural, mas tem sido pouco utilizada em tempos atuais, outro exemplo é a seleção de linhas puras, feita para eliminar material proveniente de mutações, mistura mecânica de sementes e cruzamentos naturais em uma população (Ramalho et al., 1993). Além dessas, a hibridação explora a variabilidade por meio de cruzamentos artificiais, de forma a possibilitar a recombinação da variabilidade existente (Ramalho et al., 1993), esta é uma técnica considerada onerosa, uma vez

que requer mais tempo para avançar as populações segregantes até a obtenção de linhagens e por ser necessário trabalhar com grandes populações quando o interesse é o melhoramento para características quantitativas (Ramalho *et al.*, 2012). A mutação e transgenia também podem gerar ou expressar variabilidade genética. As mutações podem ocorrer espontânea ou aleatoriamente, já a transgenia baseia-se na habilidade de introduzir, com precisão, construções gênicas em um organismo, utilizando a tecnologia do DNA recombinante ou técnicas de engenharia genética para alterar o processo metabólico favoravelmente.

Ocasionalmente, a contribuição efetiva do melhoramento genético na elevação das médias das cultivares disponibilizadas ao produtor no decorrer dos anos nos programas de melhoramento, deve ser verificada (Borges *et al.* 2009). Além do mais, conhecer o ganho genético é de fundamental importância em programas de melhoramento, pois permite averiguar seu sucesso, buscar novos métodos que venham a ampliar sua eficácia, orientar futuras ações de pesquisa e reavaliar as estratégias empregadas (Soares *et al.*, 2005; Menezes Júnior *et al.*, 2008).

Normalmente, os programas de melhoramento genético são divididos em 3 fases, a primeira delas é a escolha dos genitores para formação da população base. Posteriormente faz-se a seleção nos indivíduos superiores desta população e, por fim, realiza-se a avaliação destes genótipos selecionados em um número maior de ambientes. Nas fases intermediária e final dos programas de melhoramento são estabelecidos os Ensaio Comparativos Preliminares (ECP's) e Ensaio Comparativos Avançados (ECA's), este último comumente chamado de Ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU's).

A avaliação do VCU é uma exigência básica para que uma cultivar obtenha o registro nacional de cultivares no MAPA e possa ser comercializada (Marinho *et al.*, 2011). Diferentes características agrônomicas estabelecidas pelo ministério são avaliadas nestes ensaios, a depender da cultura. Outra prerrogativa é a necessidade da avaliação em vários locais e anos, visando determinar o valor intrínseco do cultivar com suas propriedades de uso em atividades agrícolas, industriais, comerciais e, ou de consumo.

Vencovsky *et al.* (1988) demonstraram que é possível utilizar os dados dos ECA's ou VCU's para estimar ganhos genéticos nos programa de melhoramento.

Por ser a produtividade o principal caráter avaliado em ensaios de VCU's, a maioria dos trabalhos de progressos genéticos encontrados na literatura se restringem a estes ensaios (Atroch & Nunes, 2000; Rangel et al., 2000; Santos et al., 1999). Segundo Cruz et al. (2012) é necessário que o material selecionado reúna, simultaneamente, uma série de atributos favoráveis que lhe confira superioridade perante os demais.

2.2. Progresso genético

As técnicas de avaliação do progresso genético que utilizam informações obtidas em testes obrigatórios de linhagens nos programas, permitem o acompanhamento do ganho genético das linhagens obtidas ao longo dos anos de maneira econômica e eficiente (Vencovsky *et al.* 1986; Fernandes *et al.* 1988). O acompanhamento desse progresso fornece subsídios importantes para a avaliação e o planejamento das atividades de melhoramento.

As estimativas dos progressos alcançados pelo melhoramento são instrumento hábil para se quantificar a eficiência dos trabalhos executados por uma instituição de pesquisa. Assim, foram desenvolvidas metodologias que se destinam a obtenção de estimativa do progresso genético e quantificação das melhores tecnologias obtidas em programas de melhoramento conduzidos durante determinado período.

Entretanto, quando se dispõe das estimativas dos ganhos genéticos referentes a uma dada cultura num determinado período de tempo, deve-se ter certa cautela na análise e interpretação dos resultados. As diferenças das metodologias empregadas na avaliação do progresso genético, as épocas e o período considerado, entre outros, nem sempre permitem comparação ou interpretação satisfatória das mudanças atribuídas à causa genética e não genética ou ambientais.

As estimativas obtidas nessas análises devem ser interpretadas em função do período de referência, em que quanto mais atrasado for o estágio tecnológico da cultura, maiores avanços genéticos e não genéticos serão esperados e vice-versa (Abbud, 1991). Isso pressupõe que haja períodos de incrementos crescentes e outros de incrementos pequenos, de baixos retornos quando comparados ao grande esforço e a aplicação de recursos da instituição de pesquisa.

O progresso genético é um aspecto de fundamental importância em programas de melhoramento. Sua estimativa fornece uma oportunidade de correlacionar ganhos alcançados com os métodos de melhoramento empregados, possibilitando a alteração dos objetivos propostos inicialmente (Russell, 1977). Da mesma forma, esses estudos podem auxiliar na identificação de caracteres com maior contribuição para o aumento do rendimento e da qualidade de grãos.

Diferentes métodos podem ser empregados para obter a estimativa do ganho genético (Cox *et al.*, 1988). Um fator fundamental no processo de obtenção de linhagens de arroz melhoradas consiste na avaliação dos genótipos em ensaios, quando fica caracterizado seu desempenho em face de cultivares conhecidas com alto potencial produtivo de grãos, boa qualidade de grão e ampla adaptação.

No Brasil, têm sido realizados vários trabalhos em diversas culturas visando avaliar o progresso genético obtido com os programas de melhoramento. O melhoramento de soja no Paraná resultou em um ganho anual de produção de 1,3 a 1,8%, no período de 1981 a 1986 (Toledo *et al.*, 1990). Em Minas Gerais, Barili *et al.* (2015) obtiveram ganho de 6,75% no cultivar de feijão carioca no período de 1970 a 2013 e Abreu *et al.* (1994), 1,9%. Nesse mesmo estado, no período de 1975 a 2005 houve ganho de 1,84% ao ano para o trigo em sistema irrigado e 6,7% ao ano no cultivo em sequeiro (Cargnin, 2007). O sorgo aumentou a produtividade em média, 1,5% ao ano no período de 1974 a 1988 (Rodrigues, 1990). Carvalho *et al.* (1997) avaliando o progresso genético de algodão herbáceo no nordeste brasileiro obtiveram ganho de 1,03% ao ano para o rendimento de algodão em caroço. Na região centro-oeste, Moresco (2003) estimou o progresso genético do algodão em caroço em 3,8% ao ano.

2.3. A cultura do arroz

O arroz é um cereal classificado na divisão angiosperma, classe monocotiledônea, família *Poaceae*, gênero *Oryza* (Lu, 1999). Existem muitas contradições em relação à sua origem. Evidências indicam que esta espécie é originária do sudeste asiático, mais precisamente na região compreendida entre a Índia e Mianmar. A rica diversidade do arroz nestas regiões é um forte indicativo de sua origem (Grist, 1978; Pereira, 2002). É uma cultura anual, autógama e com

capacidade de perfilhamento. O sistema radicular possui sistema secundário de raízes adventícias fibrosas formadas a partir dos nós inferiores dos caules jovens, com várias ramificações e pelos radiculares (Chang e Bardenas, 1965). Também pode apresentar sistema radicular superficial caso as variedades sejam adaptadas ao sistema de cultivo irrigado, ou profundo no caso das que são cultivadas em sequeiro (Abichequer, 2004). As flores são hermafroditas e estão reunidas em uma inflorescência, panícula, que emerge da parte terminal do colmo. Essa inflorescência é composta por um grupo de flores, espiguetas (Fonseca, 2008).

A espécie *Oryza sativa* possui subespécies denominadas índica, japônica e javânica. Essa classificação foi proposta baseando-se em características morfológicas que distinguem as subespécies, porém com o passar do tempo, características fisiológicas que apresentavam variações descontínuas entre os grupos passaram a ser incluídas (Takahashi, 1984). Entre essas, destaca-se a tolerância ao frio, que diferencia japônica da subespécie índica (Takahashi, 1984). A subespécie índica é encontrada nas regiões inundadas da Ásia tropical e responde por 80% do arroz comercializado no mundo, produzido preferencialmente em clima quente. Estes grãos são mais longos e possuem intermediários a altos teores de amilose e por isso, não grudam quando cozidos. A subespécie japônica é encontrada nas regiões de terras altas e elevações do sul da Ásia, seus grãos são médios e curtos e apresentam baixo teor de amilose, conferindo liga após a cocção. São ideais para sushi, risoto e outros pratos. A subespécie javânica é encontrada na região equatorial da Indonésia e apresenta intermediários teores de amilose, devido a isso tem pouca importância econômica e social, exceto regionalmente (Garris, 2005).

O arroz possui grande importância social e econômica devido ser a base alimentar de cerca de 2,4 bilhões de pessoas no mundo. Além disso, é de grande relevância em muitos países em desenvolvimento, principalmente na Ásia e Oceania, onde se encontra 70% da população total dos países em desenvolvimento e cerca de dois terços da população mundial subnutrida. O arroz é responsável por garantir 20% de energia sob a forma de carboidrato e lipídeos, e 15% de proteína necessária na alimentação (Neves, 2007). Nos países mais pobres da Ásia, o consumo de arroz perfaz mais da metade da fonte energética e proteica dessas populações (Kennedy, 2003).

No Brasil, estudos indicam que o arroz era cultivado e consumido antes da chegada dos portugueses. Esse não se tratava da espécie *Oryza sativa* originária da Ásia, mas de espécies nativas da América do Sul (Silva, 1950a). Essa espécie silvestre ainda é encontrada no Pantanal Mato-Grossense e às margens dos igarapés na Amazônia (Pereira, 2002). Atualmente o sistema de cultivo do arroz no Brasil é proporcionado pelos ecossistemas de várzea e de terras altas (Guimarães e Sant'ana, 1999). Nas várzeas, são utilizados os sistemas irrigado por inundação e por irrigação não controlada (várzea úmida). Já em terras altas são utilizados ecossistemas de sequeiro tradicional ou de sequeiro sob irrigação suplementar por aspersão (Moraes, 2004).

O arroz de várzea, sistema irrigado por inundação, consiste no cultivo em várzeas sistematizadas com controle de lâmina de água, que é encontrado predominante nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. O sistema de irrigação não controlada é praticado em áreas que não têm bom nivelamento, portanto não permite o controle da lâmina de água. Este sistema caracteriza-se pela dependência de água proveniente da elevação natural dos rios, lagos e lençóis freáticos (Pereira, 2002). Sistemas como estes são implantados em todas as regiões do Brasil, com exceção do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

O arroz de terras altas caracteriza-se ainda pelo seu desenvolvimento em solos de baixa fertilidade e pelo baixo custo de produção (Morais, 2004). Para estes cultivos, o sistema de sequeiro tradicional utiliza apenas a água da chuva, da enchente dos rios e do afloramento natural do lençol freático para o desenvolvimento da cultura (Rangel, 1995). O referido sistema prevalece nas regiões do Cerrado. Já o sistema de sequeiro sob irrigação suplementar por aspersão difere do anterior pela possibilidade de se fazer irrigação suplementar sempre que for necessário. Este sistema é predominante nos estados de Minas Gerais, Goiás, Bahia, São Paulo e Mato Grosso (Pereira, 2002).

Minas Gerais é o segundo maior produtor de arroz da região sudeste e obteve uma produção no ano agrícola 2014/2015 de aproximadamente de 25 mil toneladas, enquanto em São Paulo, o maior produtor dessa região, a produção foi de 50 mil toneladas (CONAB, 2016). Com isso, Minas Gerais situa-se entre os principais estados produtores de arroz do País, que também expressivos os níveis de demanda do produto. O arroz de sequeiro e de várzeas úmidas responde por cerca

de 80% da produção mineira. O restante (20%) é produzido em várzeas sob condições de irrigação por inundação contínua.

2.4. Melhoramento genético do arroz

Os primeiros trabalhos com melhoramento genético de arroz foram realizados por Van der Stock, na Ilha de Java, Indonésia. Além destes, a partir de 1893, trabalhos pioneiros foram realizados no Japão na Estação Experimental Agrícola Nacional (Chang e Li, 1980). O primeiro método de melhoramento utilizado na cultura orizícola foi o de seleção de variedades nativas do Japão, seguido de seleção de linhas puras. Com o advento da hibridação artificial, o programa japonês de melhoramento genético de arroz passou utilizar os métodos do pedigree e do bulk (Pereira, 2002).

A partir de então, pôde-se incrementar de modo significativo as atividades de pesquisa agrícola no país. O programa cooperativo de melhoramento de arroz contribuiu decisivamente para a melhoria da eficiência da orizicultura brasileira nas décadas de 1980 e 1990. Somente após a implantação das Comissões Técnicas, foram lançados 85 cultivares de arroz; 32 para as condições de sequeiro e 53 para as lavouras irrigadas conduzidas em várzeas (Guimarães *et al.*, 1997). Nesse período, foram avaliadas mais de 10 mil linhagens. Ressalta-se, ainda, o fato de que a produtividade das lavouras, tanto de sequeiro quanto irrigadas, aumentaram cerca de 30%, devido principalmente à substituição dos cultivares antigos (tradicionais) pelos mais recentes (Morais & Rangel, 1997). Outro fato marcante é o avanço obtido nos últimos anos em termos de qualidade físico-química e culinária dos grãos desses novos cultivares.

A história do melhoramento genético do arroz em Minas Gerais converge basicamente para Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), criada em 1974. Até então, alguns trabalhos comparativos de genótipos de arroz foram conduzidos no estado, principalmente pelo extinto Instituto de Pesquisa Agropecuária do Centro-Oeste (IPEACO). O programa de avaliação e seleção de linhagens de arroz irrigado é realizado em parceria entre a EPAMIG, Embrapa Arroz e Feijão, Universidade Federal de Lavras (UFLA) e Universidade Federal de Viçosa (UFV).

O programa de melhoramento genético de arroz da EPAMIG possui linha de pesquisa voltada para avaliação e seleção de genótipos em populações segregantes (gerações F3, F4, F5 e F6) conduzidas pelos métodos do bulk modificado ou genealógico, visando extração de linhagens mais adaptadas às lavouras irrigadas cultivadas em várzeas de Minas Gerais. Esse programa também foca na realização dos ensaios de rendimento (observação, preliminares e avançados), nos quais são avaliados genótipos já fixados e introduzidos de instituições nacionais e internacionais. Como resultado das pesquisas de melhoramento realizadas em 43 anos (1974 a 2017) no estado de Minas Gerais, um total de 31 cultivares de arroz foram colocadas à disposição dos orizultores mineiros; 18 apropriados para as lavouras irrigadas em várzeas e 13 para as condições de sequeiro.

2.5. Progresso genético em programas de melhoramento do arroz

A busca por caracteres agronômicos de maior importância que acarretam em maior produtividade e melhor qualidade com menor custo de produção é principal objetivo dos programas brasileiros de melhoramento genético do arroz. Considerando que num determinado período, novas linhagens são inseridas no programa por serem supostamente melhores, as variáveis utilizadas para se praticar a seleção potencialmente avaliam a eficiência do mesmo. Nesse sentido, progresso é avaliado através da superioridade genética dos materiais que estão participando dos ensaios em determinado ano em detrimento aos anos anteriores (Vencovsky et al., 1988).

Trabalhos desta natureza já foram realizados objetivando a estimação dos ganhos anuais em arroz (Rangel et al., 2000; Souza et al., 2007). Entretanto, na grande maioria destes estudos, as análises são realizadas com valores fenotípicos pela metodologia de quadrados mínimos, e, devido aos elevados graus de desbalanceamentos (locais, repetições, anos, genótipos, etc.) e dinâmica dos programas de melhoramento com a inserção e exclusão de genótipos, a obtenção de estimativas fiéis do verdadeiro valor genético dos materiais avaliados é inviabilizada (Do Vale et al., 2010).

Existem diversos trabalhos e metodologias relacionadas com progresso genético disponíveis na literatura. Dentre eles está o trabalho realizado por

Breseghehlo et al. (2011), que avaliou o progresso genético do programa de melhoramento de arroz de terras altas da Embrapa no período de 1984 a 2009. Durante este período, os resultados obtidos foram divididos em três fases: 1984 a 1992; 1992 a 2002 e de 2002 a 2009. Nessa primeira fase, o ganho genético para produção de grãos não foi significativo, devido não possuir ideótipo disponível que contribuísse com o ganho genético para esta característica (Abbud, 1991; Soares et al., 1999).

A introdução de germoplasma oriundo do CIAT e dos Estados Unidos, foi descrita por Breseghehlo como a fase intermediária. Nesta, houve intensa introdução de linhagens e progênies segregantes no território brasileiro, e conseqüentemente estes cultivares proporcionaram tanto melhor qualidade de grãos, quanto melhores dimensões e teor de amilose.

Essa introdução foi explorada, avaliada e materiais foram selecionados para uso no programa de melhoramento genético de arroz no Brasil (Morais et al., 2006). Nesse sentido, foram selecionados materiais genéticos que têm como característica a qualidade de grãos, ou seja, grãos da classe agulhinha, de maior preferência dos consumidores, houve também uma redução da altura média, maior perfilhamento, folhas eretas e curtas e panículas abaixo do dossel, características que contribuíram com a redução do acamamento e, conseqüentemente, tornou possível o estabelecimento do ideótipo almejado pelos melhoristas.

Na terceira e última fase, que corresponde ao período de 2002 a 2009, a produção de grãos foi significativa e de elevada magnitude com estimativa de 1,44%, e a altura de plantas e florescimento mantiveram-se estáveis com aproximadamente, 95 cm e 80 dias, respectivamente. Agora, o objetivo dos programas de melhoramento de arroz é desenvolver cultivares resistentes à brusone (*Pyricularia grisea*) e tolerantes ao estresse hídrico.

Vários estudos têm demonstrado eficiência do melhoramento genético na melhoria da arquitetura e na redução do ciclo da cultura do arroz. Em Minas Gerais, Souza et al., 2007, avaliaram 25 cultivares desenvolvidos no período de 1950 a 2001 e obtiveram resultado de redução da altura (-21 cm no grupo precoce e -38 cm no tardio) e decréscimo no florescimento de 10 e 13 dias, respectivamente. Breseghehlo et al. (2011) observaram redução média no florescimento de 6,35 dias, 13 cm para altura e ganho em produção de grãos de 0,53% no período de 25 anos ao qual

priorizava a melhoria da qualidade de grãos. Outro trabalho realizado por Breseghello et al. (2006), no período de 1996 a 2000 em Goiás, Minas Gerais, Maranhão, Piauí e Mato Grosso demonstrou que o ciclo de florescimento reduziu em média 0,52 dia ao ano e a altura de planta reduziu em média 0,85 cm ao ano.

Soares et al. (1999) analisaram o progresso genético obtido pelo melhoramento do arroz de sequeiro em 21 anos de pesquisa em Minas Gerais. Esses autores observaram ganho genético médio anual de 1,26%, em relação às cultivares do grupo precoce e de 3,37% para o ciclo médio. Atroch et al. (1999) observaram ganho médio de 3,50% no estado do Amapá, que representa incremento de 83 kg.ha⁻¹ ao ano na produtividade.

Como verificado, os estudos demonstram que os ganhos genéticos na orizicultura brasileira, quando obtidos, não são de grande magnitude, o que reforça a importância dos bancos de germoplasma, bem como sua manutenção, conservação e utilização. No caso do arroz existem outros trabalhos na literatura relacionados com progresso genético. Abbud et al. (1991) obtiveram ganho de 1,30% ao ano para produtividade de grãos no Paraná no período de 1974 a 1995. Para o programa de melhoramento no Estado de Minas Gerais, Soares e Ramalho (1993) observaram progresso genético satisfatório no período de 1980 a 1989, com estimativa de 3,0% de ganho anual. Mais tarde nesse Estado, no período de 1974 a 1995 foi de 1,26% para linhagens precoces e de 3,37% para linhagens de ciclo médio. Este é um ganho muito elevado, especialmente se considerada a extensão do período avaliado naquele estudo. No Estado do Amapá, no período de 1991 a 1996 houve ganho médio anual de 3,50%, mas deve-se considerar que este estudo se baseou em dados de apenas 12 ensaios (Atroch et al., 1999). Em arroz irrigado os ganhos em geral têm sido mais baixos devidos à seleção ser baseada na qualidade de grãos. Na Região Nordeste do Brasil, o ganho médio anual foi estimado em 0,77% (Breseghello et al., 1999).

Por outro lado, no período de 1981 a 1996 não houve ganho significativo para produtividade, mas apenas para qualidade de grãos e resistência a doenças. Na região meio-norte do Brasil (Estados do Maranhão e Piauí), o progresso da produtividade do arroz irrigado, devido ao melhoramento genético, foi de 0,30% ao ano, no período de 1984 a 1997 (Rangel et al., 2000). As estimativas de ganho anual

em outras culturas têm sido intermediárias em relação ao arroz de terras altas e o irrigado, normalmente oscilando entre 1,0 e 2,0%.

Assim, é necessário a procura de métodos alternativos de acompanhamento do progresso genético. O ideal é que os métodos utilizem as informações já disponíveis no decorrer dos ensaios. A metodologia proposta por Breseghello prevê a estimativa do progresso genético através dos resultados dos experimentos regionais de avaliação de linhagens e cultivares. Esta metodologia consiste basicamente, na análise conjunta da série de dados dos experimentos regionais através de um modelo linear generalizado, de forma a obter médias ajustadas dos genótipos e a matriz de covariância destas médias, para o grupo de genótipos avaliados em cada ano, no cálculo da média aritmética das médias ajustadas obtidas na análise conjunta e na comparação direta dos anos, conforme as médias aritméticas obtidas. Por fim, obtém-se as estimativas do ganho genético médio, através de regressão. Aplicando-se o método de quadrados mínimos generalizados, é calculada uma estimativa ponderada do ganho genético médio no período (Breseghello et al., 1998).

Segundo Breseghello et al. (1998), este método permite anular as interações genótipos x anos e genótipos x experimentos/ano, resultando assim em estimativas mais precisas. Este método pode ser aplicado a dados desbalanceados, o que possibilita a estimativa dos ganhos genéticos em séries de experimentos multilocais de qualquer amplitude e duração. Utilizando esta metodologia, Breseghello (1995) estimou um ganho por ciclo de 0,77% para produtividade de grãos ao avaliar o programa de melhoramento de arroz irrigado conduzido na região nordeste do Brasil. Através da mesma metodologia, Rangel et al. (2000) obtiveram estimativa de ganho médio anual de 0,30% para produtividade de arroz irrigado no meio norte do Brasil.

A metodologia tradicional proposta por Vencovsky et al. (1986), propõe a avaliação do progresso genético a partir de ensaios de avaliação de cultivares para fins de recomendação, um vez que, utilizada para estimar o progresso genético na cultura do milho no Brasil. Esta metodologia visa contornar o problema de execução de experimentos para quantificar o progresso genético, ao qual utiliza os resultados dos experimentos de avaliação de cultivares conduzidos por vários anos. Considerando que nesses experimentos há substituição periódica de cultivares,

pode-se avaliar a eficiência em função da superioridade genética dos materiais presentes nos experimentos em determinado ano em relação à dos anos anteriores.

Vários trabalhos já foram realizados utilizando a metodologia tradicional para estimar o ganho genético (Soares et al., 1994; Carvalho et al., 1997; Fonseca Júnior et al., 1997; Arias e Ramalho, 1998; Atroch e Nunes, 2000; Maresco, 2003). Nessa metodologia, a diferença entre a produtividade média dos tratamentos comuns a cada par de anos, é utilizada para estimar o efeito do ano. O avanço genético anual é obtido pela diferença entre a produtividade média dos genótipos não comuns de um ano e a do ano imediatamente anterior, excluindo-se o efeito do ano (Vencovsky et al. 1986).

O ganho genético médio anual utilizando esta metodologia para a cultura do milho em 20 anos foi de 2,20% para a população e de 1,70% para os híbridos comerciais (Vencovsky et al. 1986). Para a cultura do algodão herbáceo no nordeste no período de 1976 a 1994, houve progresso genético de 1,03% ao ano para rendimento de algodão em caroço (Carvalho et al., 1997). Na cultura do feijão, a estimativa do ganho genético médio anual foi superior a 1,50% ao ano em relação a todos os grupos testados (Fonseca Júnior et al., 1997). Para a cultura do arroz, Soares et al. (1994) relataram ganho de 1,60% ao ano através deste método em Minas Gerais, no Amapá o progresso genético foi de 2,45% ao ano (Atroch e Nunes, 2000).

Segundo Arias et al. (1996), esta metodologia reflete melhor a condição prevalecente no campo, pois a cada ano são recomendados um número de genótipos, porém somente alguns agricultores mais inovadores adotam estes genótipos, a grande maioria continua com os materiais utilizados no ano anterior. Para Soares et al. (1994) esta metodologia é mais flexível, pois permite que o programa de avaliação de cultivares seja mais dinâmico.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados nesse estudo são referentes aos Ensaio Comparativos Avançados (ECA's) também denominados de ensaios de Valor e Cultivo e Uso (VCU's) realizados pela EPAMIG no programa de melhoramento de arroz irrigado de Minas Gerais provenientes de três locais distintos do estado: Leopoldina (latitude 21°

31' 48.01" S, longitude 42° 38' 24.00" W e altitude 257.29 m), Lambari (latitude 21° 58' 11.24" S, longitude 45° 20' 59.60" W e altitude 887.55 m) e Janaúba (latitude 15° 48' 0.77" S, longitude 43° 17' 59.09" W e altitude 533.77 m), conforme mostrado na Figura 1:

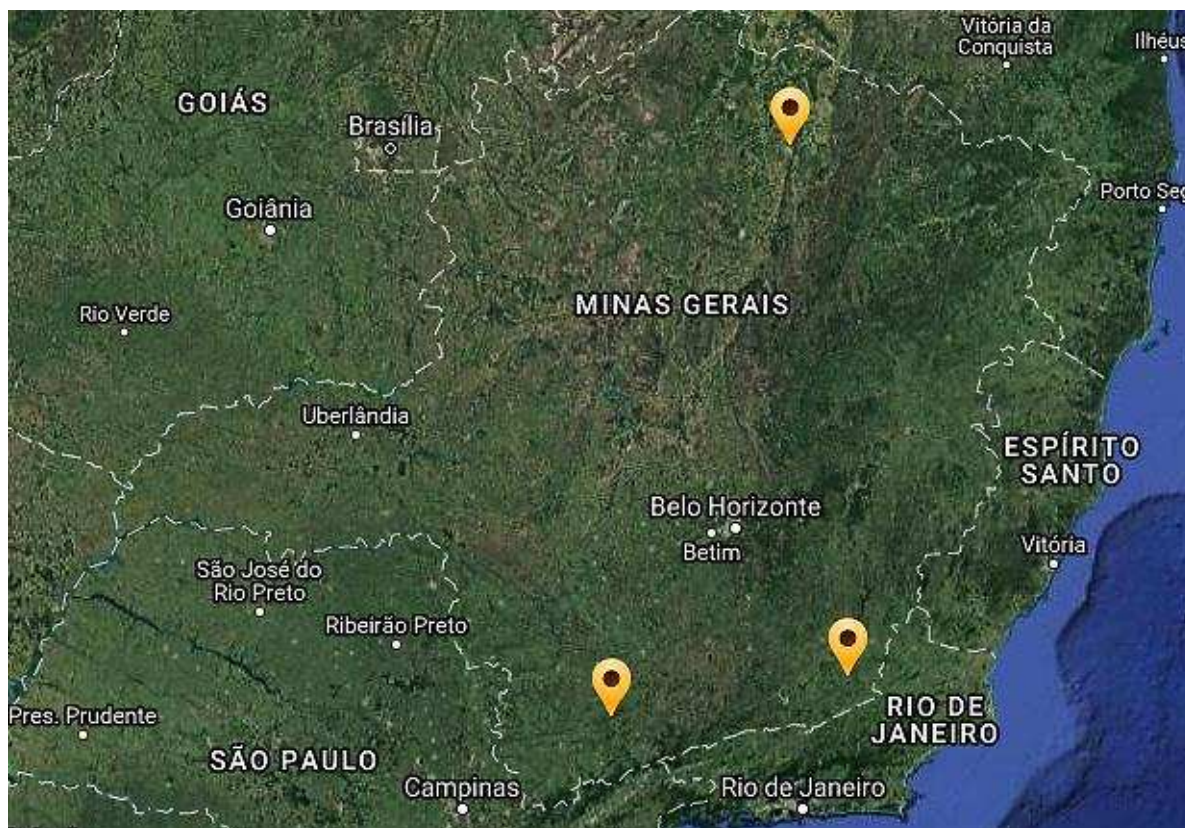


Figura 1: Disposição dos municípios integrantes da rede de ensaios do programa de melhoramento de arroz irrigado de Minas Gerais, Brasil. Fonte: Google Earth.

Foram avaliadas 210 linhagens e cultivares no período de 1993/1994 a 2015/2016 (Tabela 1). Em cada ano agrícola os ensaios foram conduzidos com 25 genótipos, com exceções do ano agrícola 1998/99, em que foram avaliados 26 e dos anos agrícolas 1993/1994 e 1994/95 com 24 genótipos, e 1993/1994 com 12. O ano agrícola 2011/2012 e em Lambari 1998/1999 foram desconsiderados para análise devido à ocorrência de intenso ataque de pássaros e capivaras que inviabilizou a seleção em todos os locais.

O delineamento estatístico utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições até o ano 2001/02, a partir de então foram utilizados três blocos. A casualização dos genótipos em cada bloco foi feita uma única vez a cada ano,

repetindo-se a mesma em todos os locais. Assim, em cada bloco os genótipos tiveram os mesmos vizinhos em todos os locais dentro de cada ano.

Tabela 1: Identificação das linhagens de arroz avaliados nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU's) de 1993/1994 a 2015/2016 no programa de melhoramento de arroz irrigado de Minas Gerais.

BR- IRGA 409	CNA 6808	CNA 9088	CNAI 9092	MGI 0901-5
BRA 01330	CNA 7151	CNA16556B2BB3	CNAI 9097	MGI 0902-7
BRA 01381	CNA 7204	CNA6808	CNAI9091	MGI 0902-8
BRA 01383	CNA 7550	CNA7204	EMBRAPA 7	MGI 0908-6
BRA 02655	CNA 7553	CNA7553	EPAGRI 109	MGI 0909-15
BRA 02691	CNA 7556	CNA7556	EPAGRI 97-01	MGI 0920-14
BRA 02697	CNA 7809	CNA7857	EPAGRI 97-05	MGI 0920-15
BRA 02704	CNA 7857	CNA8033	EPAGRI 97-06	MGI 1002-20
BRA 02706	CNA 7940	CNA8242	IAC1289	MGI 1009-4
BRA 02708	CNA 7941	CNA8244	IAPAR 58	MGI 1016-18
BRA 02718	CNA 7967	CNA8245	INCA	MGI 9008-6
BRA 031001	CNA 7971	CNA8262	IRGA 97-05	MGI0517-25
BRA 031006	CNA 8003	CNA8263	IRGA 97-10	MGI0712-1
BRA 031018	CNA 8033	CNA8277	IRGA 97-11	MGI0713-17
BRA 041099	CNA 8041	CNA8294	IRGA 97-28	MGI0901-5
BRA 041230	CNA 8242	CNA8369	JAVAÉ	MGI0902-7
BRA 041236	CNA 8244	CNA8728	JEQUITIBÁ	BRS OUIROMINAS
BRA 041241	CNA 8245	CNA8730	LINHA 17-1	PR 306
BRA 041253	CNA 8369	CNA8731	LINHA 17-25	PR 349
BRA02691	CNA 8450	CNAI 7556	LINHA 3-2	PR 380
BRA031001	CNA 8454	CNAI 8479	LINHA 8-13	PR 501
BRA041099	CNA 8479	CNAI 8575	LINHA 8-22	PR 631
BRA041230	CNA 8485	CNAI 8621	LINHA 8-23	PR 67
BR-IRGA 409	CNA 8496	CNAI 8857	METICAL	PR349
BR-MS 2	CNA 8573	CNAi 8859	MG 447	PR380
BRSMG SELETA	CNA 8575	CNAI 8868	MGI 0503-2	PR498
CAPIVARI	CNA 8616	CNAI 8872	MGI 0508-23	BRSMG PREDILETA
CARISMA	CNA 8618	CNAI 8874	MGI 0517-25	RIO FORMOSO
CICA 8	CNA 8619	CNAI 8875	MGI 0607-1	RIO GRANDE
CICAB	CNA 8621	CNAI 8879	MGI 0608-13	BRSMG RUBELITA
CN8732	CNA 8622	CNAI 8881	MGI 0608-22	SAPUCAÍ
CNA 1289	CNA 8624	CNAI 8883	MGI 0712-1	SC 138
CNA 5714	CNA 8625	CNAI 8885	MGI 0712-11	SC 141
CNA 5751	CNA 8626	CNAI 8919	MGI 0713-17	SC 158
CNA 6343	CNA 8722	CNAI 9055	MGI 0714-17	SC 2
CNA 6727	CNA 8728	CNAI 9056	MGI 0714-19	SAPUCAÍ

CNA 6771	CNA 8731	CNAI 9088	MGI 0714-27	TAIM
CNA 6804	CNA 8760	CNAI 9091	MGI 0717-18	URUCUIA

As parcelas experimentais nos anos 1998, 1999 e 2008 a 2012 foram constituídas por 5 fileiras de plantas com 5 metros de comprimento, espaçadas de 30 cm (5 m x 1,5 m, totalizando 7,50 m²). A área útil considerada foi constituída pelos 4 m centrais das três fileiras internas (4 m x 0,9 m, totalizando 3,60 m²). Já nos anos 2001 a 2007 as parcelas foram compostas por 6 fileiras de plantas, e considerou-se os 4 m centrais das 5 fileiras internas, totalizando uma área útil de 4,8 m² (Tabela 2).

Tabela 2: Número de repetições e linhagens, espaçamento, área total e área útil das parcelas dos ensaios de Valor e Cultivo e Uso (VCU's), conduzidos no período de 2015/16 a 1993/94, em Minas Gerais.

Anos Agrícolas	Nº de repetições	Nº de Linhagens	Tamanho da parcela (m)	Área total da parcela (m ²)	Área útil da parcela (m ²)
2015/16	3	25	5 x 1,50	7,50	3,60
2014/15	3	25	5 x 1,50	7,50	3,60
2013/14	3	25	5 x 1,50	7,50	3,60
2012/13	3	25	5 x 1,50	7,50	3,60
2010/11	3	25	5 x 1,50	7,50	3,60
2009/10	3	25	5 x 1,50	7,50	3,60
2008/09	3	25	5 x 1,50	7,50	3,60
2007/08	3	25	5 x 1,50	7,50	3,60
2006/07	3	25	5 x 1,50	9,00	4,80
2005/06	3	25	5 x 1,80	9,00	4,80
2004/05	3	25	5 x 1,80	9,00	4,80
2003/04	3	25	5 x 1,80	9,00	4,80
2002/03	3	25	5 x 1,80	9,00	4,80
2001/02	4	25	5 x 1,80	9,00	4,80
1999/00	4	25	5 x 1,50	7,50	3,60
1998/99	4	26	5 x 1,50	7,50	3,60
1997/98	4	25	5 x 1,50	7,50	3,60
1996/97	4	25	5 x 1,50	7,50	3,60
1995/96	4	25	5 x 1,50	7,50	3,60
1994/95	4	25	5 x 1,50	7,50	3,60
1993/94	4	25	5 x 1,50	7,50	3,60

No Campo Experimental de Leopoldina (CELP) as mudas foram previamente formadas em viveiros e, posteriormente, transplantadas em espaçamento de 0,20 m na linha. Nas demais localidades, a semeadura foi realizada na linha de plantio com densidade de 300 sementes.m⁻². Os ensaios foram conduzidos em solos de várzeas com irrigação por inundação contínua. O início da irrigação se deu em torno de 10 a 15 dias após a emergência das plântulas, no caso de plantio por sementes, ou quando as mudas se firmaram no solo. A lâmina de irrigação foi gradativamente aumentada conforme o desenvolvimento das plantas. A supressão da irrigação se deu em torno de 10 dias antes da maturação da linhagem mais tardia presente no ensaio.

Os demais tratos culturais foram realizados de acordo com o recomendado para a cultura para as regiões (Soares et al. 2005). Em cada local de cada ano agrícola avaliou-se o caráter produtividade de grãos. Para este trabalho foram utilizados dados de produção de grãos em gramas por parcela útil posteriormente convertida em quilos por hectare. Para as análises de variâncias e do progresso genético foi utilizado o software GENES (Cruz, 2013).

Para estimar o progresso genético baseado em regressão linear, Vencovsky et al. (1988) e posteriormente Rodrigues (1990) e Soares (1992), desenvolveram metodologia que melhor explica o ganho genético. Entretanto, esta metodologia apresenta deficiência, principalmente no que se refere à precisão das estimativas ou a exigência de tratamentos comuns a todos os pares de anos para obtenção da estimativa da variação ambiental. Nesse sentido, Breseghello (1995) desenvolveu nova metodologia utilizando médias ajustadas. Esse método é bastante eficiente e versátil diante de dados desbalanceados e não exige testemunhas-padrão.

Método proposto por Breseghello (1995)

Este método considera a produtividade média das linhagens avaliadas em um determinado ano, estimada com base em todas as observações disponíveis, e não apenas naquelas realizadas no ano específico. O ganho genético médio obtido é ponderado, o que confere maior consistência à estimativa. Esta metodologia considera uma série de dados e certo número de genótipos testados durante vários anos em um período de tempo, com número variável de locais/anos e

repetições/genótipos/locais/anos, conforme é descrito pelo seguinte modelo estatístico:

$$Y_{irk} = \mu + A_k + G_i + R/A_{kr} + \varepsilon_{irk}$$

em que:

Y_{irk} : valor observado do tratamento genético i no ano k e repetição r ;

μ : média geral;

A_k : efeito do ano k ($k=1, \dots, a$);

R/A_{kr} : efeito da repetição r no ano k ;

G_i : efeito do genótipo i ($i= 1, \dots, g$)

ε_{irk} : erro associado à observação Y_{irk} com distribuição normal e independente [$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$].

De acordo com este método, o valor do ano k é dado pela média aritmética das médias ajustadas das linhagens em avaliações naquele ano. Esta estimativa é identificada por Y_k^* . A média de cada genótipo é ajustada para todo o período estudado, de forma a permitir a comparação de linhagens que não foram avaliadas simultaneamente. As interações genótipos x anos foram excluídas do modelo e são consideradas, neste caso, parte do erro experimental. Entretanto, as médias para cada genótipo, ajustadas para efeito de anos, e repetições/ano, irão representar funções estimáveis (Searle, 1971).

As análises de variância devem ser executadas usando solução de quadrados mínimos ponderados do parâmetro Θ° e a solução depende da matriz inversa generalizada $(X'X)^G$ de $X'X$, sendo X a matriz que descreve a incidência dos parâmetros do modelo em cada observação.

O vetor Y das médias ajustadas dos genótipos (\bar{Y}_i) é obtido como se segue;

$$\hat{Y} = C \Theta^\circ$$

Sendo C é o coeficiente da matriz,

$$C = n \times (1 + a + \sum_{k=1}^a m_k + \sum_{k=1}^a \sum_{j=1}^{m_k} s_{jk} + n)$$

A matriz de covariância das médias ajustadas, $V(Y)$, é dada pela expressão:

$$\hat{V}(\hat{Y}) = C(X'X)^{-1}C'RMS$$

Em que:

RMS: estimador do quadrados mínimos residuais da análise de variância.

Para estimar o ganho genético e calcular a média Y^*_k , suas variâncias e covariâncias, é necessária a construção de uma matriz auxiliar S com dimensão axn , na qual cada linha se refere a um ano k e cada coluna a um genótipo i . Se o genótipo i for avaliado durante o ano k , a célula k_i é preenchida com $1/n_k$; n_k o número de genótipos avaliados durante o ano k ; se o genótipo não foi conduzido naquela ano, o valor da célula é zero. A coluna vetor de Y' da média Y^*_k é obtida pela equação:

$$\hat{Y}^* = S\hat{Y}$$

O ganho genético sobre dois anos, consecutivos ou não, podem ser estimados pela diferença nas respectivas médias Y^*_k . Para estimar o ganho genético médio ponderado é necessário obter a matriz de covariâncias das médias Y^*_k , com dimensão $a \times a$, dada por:

$$\hat{V}(\hat{Y}^*) = S(\hat{Y})S'$$

O ganho genético médio anual é estimado pelo coeficiente de regressão linear b_1 de Y^*_k como uma função do ano k , o qual é obtido pelo método dos quadrados mínimos generalizados (Hoffmann & Vieira, 1987). Nos casos em que o valor de b é significativo, calcula-se o seu valor percentual em relação ao intercepto da regressão, que representa o valor inicial teórico do período estudado.

$$\hat{\beta} = \begin{bmatrix} \hat{b}_0 \\ \hat{b}_1 \end{bmatrix} = (X'XD^{-1})^{-1}(X'D^{-1}\hat{Y}^*)$$

Em que:

\hat{b}_0 = intercepto da regressão;

\widehat{b}_1 = coeficiente de regressão linear para as médias ponderadas Y_k^* em função do ano, para estimativa do ganho genético médio anual;

X = matriz constante com dimensão $a \times 2$, consistindo de uma coluna vetor de 1's, relativo para \widehat{b}_0 e uma coluna vetor de 1,2, ..., a, relativa a b_1 ; a o número de anos.

A variância é o valor da célula na segunda linha e segunda coluna da matriz $V(\widehat{\beta})$, que é estimada por:

$$\widehat{V}(\widehat{\beta}) = (X' D^{-1} X)^{-1}$$

Se a estimativa do ganho genético for significativa é interessante calcular o percentual de ganho médio anual, utilizando como base de referência as médias dos genótipos testados no primeiro ano considerado no período Y_1^* . Para o ano agrícola em que foi utilizado o mesmo genótipo do ano anterior será considerado apenas um deles, evitando colinearidade nas matrizes utilizadas para os cálculos dos ganhos genéticos, os resultados finais serão corrigidos considerando-se a duração real do período. Entretanto, os dados podem ser desbalanceados devido alguns genótipos não serem avaliados em todos os locais dentro de ano.

Metodologia de Vencovsky et al. (1986)

Esta metodologia é baseada em quadrado mínimo ponderado e permite o cálculo das estimativas do progresso médio, da variância e do erro da média a partir das informações de conjuntos de genótipos avaliados num determinado período de tempo. Considera-se que a cada ano novos genótipos são produzidos no programa de melhoramento e incluídos em ensaios de competição juntamente com outros, que se mantêm pela sua capacidade produtiva, adaptabilidade e, principalmente, pela aceitação por parte dos produtores. Também ocorre a exclusão de genótipos que por algum motivo, vão sendo gradativamente superados.

Número e média de genótipos incluídos, mantidos e excluídos em cada ano

A partir de um conjunto de dados relativos ao desempenho de um grupo de genótipos avaliados num determinado período de tempo são obtidos os seguintes dados:

I : número de genótipos novos em relação ao ano anterior. Para o ano 1 tem-se I igual a zero. Para os demais anos, tem-se:

$$I_i = n_{ij} - n_{i,j-1}$$

Em que:

n_{ij} : número de genótipos avaliados no ano i ;

$n_{ij} = n_{j,i}$: número de genótipos avaliados no ano i e j .

M : número de genótipos mantidos para avaliação no ano posterior

$$M_i = n_{i,j+1}$$

Para o último ano ($i = a$) tem-se:

$$M_a = n_{aa}$$

E : número de genótipos excluídos da avaliação no ano posterior

$$E_i = n_{ii} - n_{i,i+1}$$

Para o último ano ($i = a$) tem-se:

$$E_a = 0$$

T : número de genótipos avaliados no ano

$$T_i = n_{ii}$$

MI : média dos genótipos novos (renovados) em relação ao ano anterior. Para o primeiro ano esta média é nula ($MI_a = 0$).

MM : média dos genótipos mantidos para avaliação no ano posterior.

ME: média dos genótipos excluídos da avaliação no ano posterior. Para o último ano esta média é nula ($ME_a = 0$).

MT: média de todos os genótipos avaliados no ano.

Matriz de ocorrências de genótipos comuns em pares de avaliações

Com base nas informações dos genótipos avaliados é estabelecida a matriz de ocorrência de genótipos comuns aos anos pares de avaliações:

$$N = \begin{bmatrix} n_{11} & \cdots & n_{1a} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ n_{a1} & \cdots & n_{aa} \end{bmatrix}$$

n_{11} = número de genótipos avaliados no ano 1;

n_{12} = número de genótipos avaliados tanto no ano 1 quanto no ano 2;

$n_{11} - n_{12}$ = número de genótipos avaliados apenas no ano 1.

Outra informação importante é o número de genótipos comuns avaliados em três anos consecutivos, representado por n_{ijk} . O número de genótipos comuns aos três anos consecutivos é $n_{123} = 1$

Matriz de soma dos valores dos genótipos em cada avaliação e nos pares de medições

Neste caso, é obtido para cada ano, o total dos genótipos avaliados e, para cada par de anos de avaliação, o total dos genótipos comuns. Assim,

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & \cdots & y_{1a} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{a1} & \cdots & y_{aa} \end{bmatrix}$$

Em que:

Y_{11} = total da variável, para todos os genótipos avaliados no ano 1;

Y_{12} = total da variável, no ano 1, dos genótipos avaliados tanto no ano 1 quanto no ano 2;

Y_{21} = total de variável, no ano 2, dos genótipos avaliados tanto no ano 1 quanto no ano 2.

Cálculo das diferenças bruta, ambiental e genética

Neste caso, é calculada a diferença bruta média de um ano para o outro e as diferenças médias atribuídas à melhoria do material genético e à melhoria tecnológica ou ambiental. Assim, tem-se:

i) Diferença bruta entre anos (DB)

É a diferença entre as médias obtidas em relação a todos os genótipos (comuns ou não) de um ano em relação aos do ano anterior, dada por:

$$DB_{ij} = \frac{Y_{jj}}{n_{jj}} - \frac{Y_{ii}}{n_{ii}} \quad (j = i+1)$$

Para os anos 1 e 2, tem-se: $DB_{12} = \bar{Y}_2 - \bar{Y}_1$ e $DB_{21} = -DB_{12}$

Em que:

$\bar{Y}_1 = \frac{Y_{11}}{n_{11}}$: média de todos os genótipos avaliados no ano 1;

$\bar{Y}_2 = \frac{Y_{22}}{n_{22}}$: média de todos os genótipos avaliados no ano 2;

ii) Diferença ambiental ou efeito do ambiente (EA)

É a diferença entre as médias dos genótipos de um ano e as do ano anterior, sendo estas médias obtidas considerando apenas aqueles genótipos de avaliação comum aos anos referenciados. É dada por:

$$EA_{ji} = \frac{Y_{ji}}{n_{ji}} - \frac{Y_{ij}}{n_{ij}} = \frac{Y_{ji} - Y_{ij}}{n_{ij}} \quad (j = i+1)$$

Sendo $n_{ij} = n_{ji}$

Para os anos 1 e 2: $EA_{21} = \frac{Y_{21}}{n_{21}} - \frac{Y_{12}}{n_{12}}$ e $EA_{12} = -EA_{21}$

iii) Diferença genética ou efeito genético (DG)

É dada pela diferença entre os valores da diferença bruta (DB) e o efeito do ambiente (EA).

$$DG_{ji} = DB_{ji} - EA_{ji} = \frac{Y_{jj}}{n_{jj}} - \frac{Y_{ii}}{n_{ii}} - \frac{Y_{ji} - Y_{ij}}{n_{ij}} \quad (j = i+1)$$

Para os anos 1 e 2: $DG_{21} = DB_{21} - EA_{21}$

Balanço genético e ambiental de um programa de melhoramento

Pelo método dos quadrados mínimos generalizados são obtidas as estimativas dos acréscimos na variável em consequência da melhoria do material genético disponível e das condições ambientais ou tecnológicas. Considerando a anos obtém-se $a-1$ diferenças genéticas (DG) e efeitos ambientais (EA) entre cada par de ambientes sucessivos. A partir destes dados são calculados:

i) Médias da diferença genética (μ_{DG})

Para obter o valor da média da diferença genética é adotado o modelo linear

$$Y = X\beta + \varepsilon, \text{ sendo:}$$

Y: o vetor $a-1 \times 1$, dado por:

$$Y = \begin{bmatrix} DG_{21} \\ DG_{32} \\ \dots \\ DG_{a,a-1} \end{bmatrix}$$

β : o vetor (1×1) a ser estimado, que expressa a média da diferença genética;

X : um vetor coluna ($a-1 \times 1$) cujos elementos são todos iguais a 1;
 $\varepsilon \sim N(\emptyset, V\sigma^2)$.

Estima-se β por meio de:

$$\hat{\beta} = \hat{\mu}_{DG} = (X'V^{-1}X)^{-1} X'V^{-1}Y$$

Em que:

$$V\sigma^2 = \begin{bmatrix} \hat{V}(DG_{21}) & \widehat{Cov}(DG_{21}, DG_{32}) & \dots & \widehat{Cov}(DG_{21}, DG_{ka,a-1}) \\ & \vdots & \ddots & \vdots \\ & & \dots & \widehat{V}(DG_{a,a-1}) \end{bmatrix}$$

Em que:

$$\hat{V}(DG_{ji}) = \left(\frac{2}{n_{ij}} - \frac{1}{n_{ii}} - \frac{1}{n_{jj}} \right) \sigma^2 \quad (j = i+1)$$

$$\widehat{Cov}(DG_{ji}, DG_{kj}) = \left(\frac{1}{n_{jj}} - \frac{n_{ijk}}{n_{ji}n_{kj}} \right) \sigma^2 \quad (j = i+1, k = j+1)$$

$$\widehat{Cov}(DG_{ji}, DG_{kj}) = 0$$

ii) Médias do efeito ambiental (μ_{EA})

Para obter o valor da média dado efeito ambiental, também é adotado o modelo linear $Y = X\beta + \varepsilon$.

Em que:

Y : o vetor $a-1 \times 1$, dado por:

$$Y = \begin{bmatrix} EA_{21} \\ EA_{32} \\ \dots \\ EA_{a,a-1} \end{bmatrix}$$

β : o vetor (1×1) a ser estimado, que expressa a média do efeito ambiental;

X : um vetor coluna ($a-1 \times 1$) cujos elementos são todos iguais a 1;

$$\varepsilon \sim N(\emptyset, V\sigma^2).$$

Estima-se β por meio de:

$$\hat{\beta} = \hat{\mu}_{DG} = (X'V^{-1}X)^{-1} X'V^{-1}Y$$

Em que:

$$V\sigma^2 = \begin{bmatrix} \hat{V}(AE_{21}) & \widehat{Cov}(AE_{21}, AE_{32}) & \dots & \widehat{Cov}(AE_{21}, AE_{ka,a-1}) \\ & \vdots & \ddots & \vdots \\ & & \dots & \hat{V}(AE_{a,a-1}) \end{bmatrix}$$

em que:

$$\hat{V}(AE_{ji}) = \frac{2}{n_{ij}} \sigma^2 \quad (j = i+1)$$

$$\widehat{Cov}(EA_{ji}, EA_{kj}) = \frac{n_{ijk}}{n_{ij}n_{kj}} \sigma^2 \quad (j = i+1, k = j+1)$$

$$\widehat{Cov}(EA_{ji}, EA_{kj}) = 0$$

Balanço do ganho genético

O balanço do ganho genético e ambiental é feito por meio dos seguintes valores percentuais:

$$\% \text{ Ganho Genético} = \frac{100\hat{\mu}_{DG}}{\hat{\mu}_{DG} + \hat{\mu}_{EA}}$$

e

$$\% \text{ Ganho ambiental} = \frac{100\hat{\mu}_{EA}}{\hat{\mu}_{DG} + \hat{\mu}_{EA}}$$

Taxa de substituição genotípica

A taxa de substituição genotípica quantifica o dinamismo do programa de melhoramento, fornecendo a taxa de genótipos incluídos, excluídos, mantidos e renovados de um ano para outro. Nesse caso, considera-se:

M: número de genótipos mantidos de um ano para o outro. Para os anos 1 e 2, tem-se:

$$M = n_{12}$$

E: número de genótipos excluídos no ano anterior. Para os anos 1 e 2, tem-se:

$$E = n_{11} - n_{21}$$

I: número de genótipos incluídos no ano subsequente.

No que se refere aos anos 1 e 2, tem-se:

$$I = n_{22} - n_{21}$$

Para estimar a porcentagem:

$$\% \hat{M} = \frac{100M}{M+E+I}$$

e

$$\% \hat{E} = \frac{100E}{M+E+I}$$

e

$$\% \hat{I} = \frac{100I}{M+E+I}$$

A taxa de genótipos novos criados pelo programa de melhoramento em relação ao ano anterior (%I) é também a medida da dinâmica deste programa de melhoramento. A porcentagem de renovação (%R), que expressa a taxa de genótipos novos entre aqueles que estão sendo testados em um determinado ano, é dada por:

$$\%R = \frac{100I}{M+I}$$

Foram realizadas análises de variância (ANOVA's) individuais para cada caráter e verificou-se que a relação entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo dos ambientes não ultrapassou a relação 7:1 (Pimentel Gomes, 2009), então, foi realizada a ANOVA conjunta segundo o modelo estatístico descrito na equação:

$$Y_{ijk} = \mu + B/E_{jk} + G_i + E_j + GE_{ij} + e_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} : observação no k-ésimo bloco, avaliada no i-ésimo genótipo e j-ésimo ambiente;

μ : média geral dos experimentos;

B/E_{jk} : efeito do bloco k dentro do ambiente j;

G_i : efeito do i-ésimo genótipo considerado como fixo;

E_j : efeito do j-ésimo ambiente considerado como aleatório;

GE_{ij} : efeito aleatório da interação entre o genótipo i e o ambiente j;

e_{ijk} : erro aleatório associado a observação Y_{ijk} .

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Dinâmica do programa de melhoramento de arroz

Nas Tabelas 3, 4 e 5 são apresentados o número de genótipos novos em relação ao ano anterior, número de genótipos mantidos para avaliação no ano posterior, número de genótipos excluídos da avaliação no ano posterior, número de genótipos avaliados no ano, média dos genótipos novos (renovados) em relação ao

ano anterior, média dos genótipos mantidos para avaliação no ano posterior, média dos genótipos excluídos da avaliação no ano posterior e a média dos genótipos avaliados no ano que permitem concluir sobre a dinâmica do programa de melhoramento de arroz em termos de reposição de variedades melhoradas ao longo dos anos.

Tabela 3: Número de linhagens e produtividade ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) das linhagens novas, mantidas, excluídas e avaliadas em cada ano no programa de melhoramento de arroz irrigado, no período de 1993 a 2016, em Lambari, no Estado de Minas Gerais.

ANO	I	M	E	T	MI	MM	ME	MT
1993/94	0	2	10	12	-	2.158	1.863	1.912
1994/95	22	13	11	24	4.584	4.516	4.307	4.420
1995/96	11	3	21	24	4.842	5.295	5.027	5.060
1996/97	22	1	24	25	3.449	4.069	3.372	3.400
1997/98	24	5	20	25	4.492	4.937	4.381	4.492
1999/01	20	7	18	25	3.026	3.136	3.030	3.059
2001/02	18	19	6	25	2.766	3.039	2.471	2.903
2002/03	6	12	13	25	7.213	6.655	6.957	6.812
2003/04	13	18	7	25	1.429	1.238	1.397	1.282
2004/05	7	12	13	25	2.879	3.172	2.351	2.745
2005/06	13	22	3	25	1.940	2.468	1.148	2.309
2006/07	3	14	11	25	5.057	5.096	3.912	4.575
2007/08	11	21	4	25	2.277	2.349	1.345	2.189
2008/09	4	15	10	25	4.820	4.239	4.313	4.269
2009/10	10	23	2	25	4.885	4.878	5.046	4.892
2010/11	2	12	13	25	8.733	0.9625	8.653	0.912
2012/13	13	18	7	25	5.280	5.455	5.500	5.468
2013/14	7	19	6	25	3.997	3.966	3.532	3.862
2014/15	6	18	7	25	5.043	4.773	4.157	4.600
2015/16	7	25	0	25	2.989	2.808	-	2.808

I: número de genótipos novos em relação ao ano anterior; M: número de genótipos mantidos para avaliação no ano posterior; E: número de genótipos excluídos da avaliação no ano posterior; T: número de genótipos avaliados no ano; MI: média dos genótipos renovados em relação ao ano anterior; MM: média dos genótipos mantidos para avaliação no ano posterior; ME: média dos genótipos excluídos da avaliação no ano posterior; MT: média dos genótipos avaliados no ano.

Tabela 4: Número de linhagens e produtividade ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) das linhagens novas, mantidas, excluídas e avaliadas em cada ano no programa de melhoramento de arroz irrigado, no período de 1993 a 2016, em Janaúba, no Estado de Minas Gerais.

ANO	I	M	E	T	MI	MM	ME	MT
1993/94	0	2	10	12	-	1.009	9.973	9.993
1994/95	22	13	11	24	8.003	8.412	7.673	8.073
1995/96	11	3	21	24	7.427	7.491	7.624	7.607

1996/97	22	1	24	25	6.666	6.336	6.687	6.673
1997/98	24	15	10	25	6.253	6.446	6.037	6.282
1998/99	11	7	19	26	6.391	6.550	6.389	6.432
1999/01	18	7	18	25	6.387	6.391	6.387	6.388
2001/02	18	19	6	25	8.313	8.308	8.191	8.280
2002/03	6	10	15	25	6.182	5.937	6.326	6.170
2003/04	15	25	0	25	5.191	5.213	-	5.213
2004/05	0	12	13	25	-	4.115	3.979	4.044
2005/06	13	22	3	25	6.978	6.747	6.268	6.689
2006/07	3	14	11	25	5.773	5.675	5.156	5.447
2007/08	11	21	4	25	8.282	8.409	7.812	8.314
2008/09	4	15	10	25	3.894	3.443	3.681	3.538
2009/10	10	23	2	25	5.465	5.446	4.904	5.403
2010/11	2	12	13	25	6.135	6.466	6.483	6.475
2012/13	13	18	7	25	4.248	4.171	4.251	4.194
2013/14	7	19	6	25	5.601	5.427	5.438	5.430
2014/15	6	18	7	25	5.352	5.695	5.303	5.585
2015/16	7	25	0	25	6.008	5.990	-	5.990

I: número de genótipos novos em relação ao ano anterior; M: número de genótipos mantidos para avaliação no ano posterior; E: número de genótipos excluídos da avaliação no ano posterior; T: número de genótipos avaliados no ano; MI: média dos genótipos novos (renovados) em relação ao ano anterior; MM: média dos genótipos mantidos para avaliação no ano posterior; ME: média dos genótipos excluídos da avaliação no ano posterior; MT: média dos genótipos avaliados no ano.

Tabela 5: Número de linhagens e produtividade ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) das linhagens novas, mantidas, excluídas e avaliadas em cada ano no programa de melhoramento de arroz irrigado, no período de 1993 a 2016, em Leopoldina, no Estado de Minas Gerais.

ANO	I	M	E	T	MI	MM	ME	MT
1993/94	0	2	10	12	-	7.186	6.909	6.955
1994/95	22	13	11	24	7.459	7.827	7.126	7.506
1995/96	11	3	21	24	5.680	5.443	5.656	5.629
1996/97	22	1	24	25	5.643	5.668	5.662	5.662
1997/98	24	15	10	25	5.318	5.687	4.768	5.320
1998/99	11	7	19	26	5.689	5.683	5.880	5.827
1999/01	18	7	18	25	5.270	5.609	5.270	5.365
2001/02	18	19	6	25	5.282	5.378	5.585	5.427
2002/03	6	12	13	25	6.060	5.538	5.146	5.334
2003/04	13	18	7	25	5.601	6.112	4.964	5.790
2004/05	7	12	13	25	6.141	6.532	5.757	6.129
2005/06	13	22	3	25	7.007	7.138	6.265	7.033
2006/07	3	14	11	25	8.435	8.185	7.574	7.916
2007/08	11	21	4	25	6.057	6.612	5.294	6.401
2008/09	4	15	10	25	4.076	4.039	4.036	4.038
2009/10	10	23	2	25	5.814	5.944	5.701	5.924
2010/11	2	12	13	25	4.391	5.071	4.803	4.932

2012/13	13	18	7	25	3.903	4.093	3.700	3.983
2013/14	7	19	6	25	2.708	2.647	2.753	2.673
2014/15	6	18	7	25	7.744	7.646	7.654	7.648
2015/16	7	25	0	25	7.085	6.854	-	6.854

I: número de genótipos novos em relação ao ano anterior; M: número de genótipos mantidos para avaliação no ano posterior; E: número de genótipos excluídos da avaliação no ano posterior; T: número de genótipos avaliados no ano; MI: média dos genótipos novos (renovados) em relação ao ano anterior; MM: média dos genótipos mantidos para avaliação no ano posterior; ME: média dos genótipos excluídos da avaliação no ano posterior; MT: média dos genótipos avaliados no ano.

Em todos os locais o número de genótipos avaliados no ano agrícola 1993/94 foi 12 e nos anos agrícolas 1994/95 e 1995/96, 24. Já em Janaúba e Leopoldina, no ano agrícola 1997/98 foram avaliados 26 genótipos e nos demais anos agrícolas de 25 (Tabelas 3, 4 e 5).

Em Lambari, a média dos genótipos avaliados nos períodos de 1993/94 a 2015/16 foi de 3.631 kg.ha⁻¹. Neste local, a maior média de todos os genótipos avaliados foi registrada no ano agrícola de 2002/2003 que corresponde a 6.812 kg.ha⁻¹ e a menor, 912 kg.ha⁻¹ no ano agrícola 2010/11. Nesse mesmo ano agrícola, foi obtida a maior média dos genótipos novos em relação ao ano anterior 8.733 kg.ha⁻¹ e também a maior média dos genótipos excluídos da avaliação no ano posterior de 8.653 kg.ha⁻¹ (Tabela 3).

Em Janaúba e Leopoldina, os resultados da média dos genótipos foram melhores em relação a Lambari. Em Janaúba foi obtida média geral de 6.282 kg.ha⁻¹ e em Leopoldina de 5.790 kg.ha⁻¹. Nestes locais e nos anos agrícolas, os genótipos foram os mesmos. Isso mostra a relação no desempenho relativo dos genótipos, em virtude de diferenças de ambiente, ou seja, a interação genótipos por ambientes. Para Janaúba, a maior média total dos genótipos 8.314 kg.ha⁻¹ no ano agrícola 2007/08 e a menor 3.538 kg.ha⁻¹ no ano agrícola de 2008/09 (Tabela 4). Porém, em Leopoldina houve média de 7.916 kg.ha⁻¹ ano agrícola de 2006/07 e a menor média de 2.673 kg.ha⁻¹ ano agrícola 2013/14 (Tabela 5). Em todos os locais as médias gerais foram maiores que a média no estado de Minas Gerais durante o período de 1993/1994 a 2015/2016.

Durante o período de 1975 a 2017 foram recomendadas para os orizicultores mineiros 31 variedades de arroz. Dentre estas, 18 são para lavouras irrigadas em várzeas e 13 para terras altas (Tabela 7). A primeira variedade recomendada para o estado foi a IR 841 em 1975, no mesmo ano da criação da EPAMIG, esta apresentava ótimas características como por exemplo resistência à brusone

(*Pyricularia grisea*) e ao acamamento. Mas a primeira variedade de arroz lançada pelo programa de melhoramento de arroz em Minas Gerais foi a variedade IAC 899 em 1978, que apresentava as mesmas características da IR 841. No ano agrícola de 1976/77, a produção foi de 897 kg.ha⁻¹ e, no primeiro ano agrícola após o lançamento da variedade IAC 899, a produtividade obtida no estado foi de aproximadamente de 1.300 kg.ha⁻¹ mostrando a eficiência do programa de melhoramento de arroz no estado (CONAB, 2016).

Para qualquer cultura agrícola, a obtenção de informações sobre as condições meteorológicas é de suma importância para reduzir custos e maximizar a produção. Por ser uma cultura sensível à variabilidade climática, a produtividade do arroz depende de condições ideais de clima, assim, as informações meteorológicas constituem importante componente para o desenvolvimento, crescimento e produtividade da cultura.

A temperatura do ar e índices pluviométricos são de suma importância para o crescimento, desenvolvimento e produtividade do arroz. Cada fase fenológica tem temperatura ótima, mínima e máxima. No geral, a cultura exige temperatura elevada da germinação à maturação e uniformemente crescente até a floração (antese). Posteriormente, é desejável que a temperatura decresça de forma suave. As faixas de temperatura ótimas variam de 20 a 35°C para germinação, de 30 a 33°C para floração e de 20 a 25°C maturação (Borém, 2015).

O fotoperíodo para a cultura do arroz não chega a ser um fator limitante, isso porque durante o processo de adaptação, e ou, criação de novos cultivares são selecionados aqueles que apresentem comprimento de ciclo compatíveis com as características fotoperiódicas da região. Portanto, o fotoperíodo pode ser fator limitante quando se pretende produzir arroz fora das épocas tradicionais de cultivo.

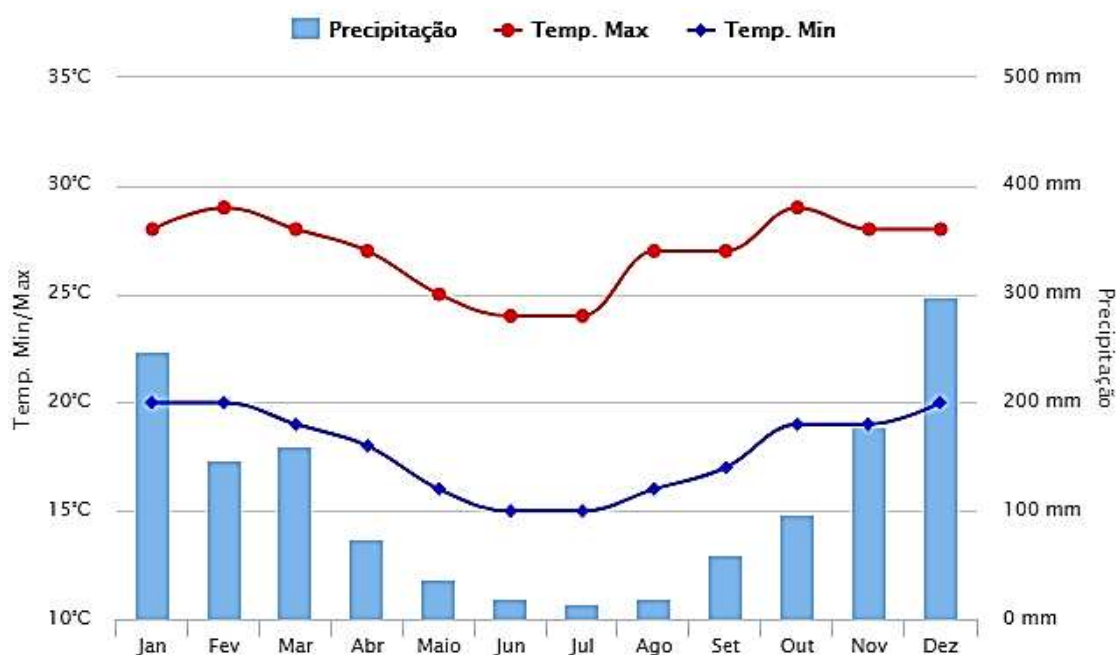
Segundo Peng et al., 1995, a alta temperatura que ocorre nas regiões tropicais contribui para a redução do rendimento de grãos, por diminuir o período vegetativo da cultura e por causar esterilidade de espiguetas no florescimento. Para tentar anemizar esta situação, deve-se realizar ajustes na semeadura, de modo que no verão, estação mais quente, esta deve ser atrasada a fim de evitar altas temperaturas no florescimento. Já em locais de alta latitude (39,9 °N), onde os verões são mais amenos, o aumento na temperatura possibilita dois cultivos por ano devido à antecipação da semeadura (Walter et al., 2010). Em latitudes entre 20 a 26

°N, segundo Krishnan et al., 2007, também encontra-se melhor rendimento com o atraso na data de semeadura. A latitudes em Lambari e Leopoldina são próximas umas das outras, já para Janaúba, esta é menor. Essas diferenças de latitude influenciam na temperatura média mínima e máxima para cada região.

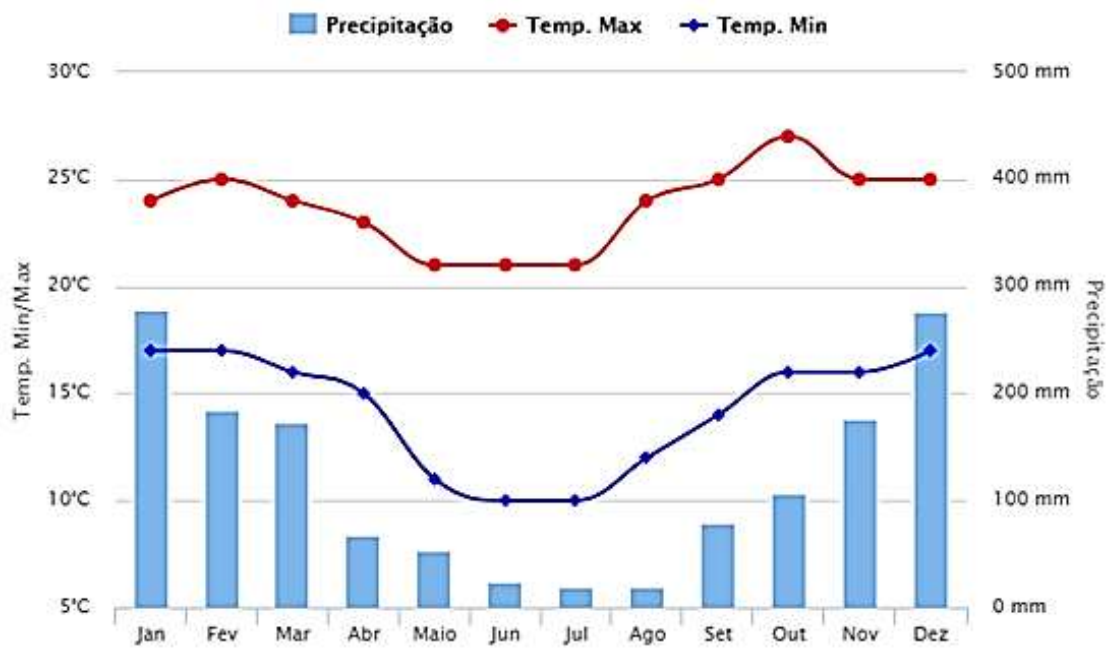
O arroz é considerado uma cultura sensível à variabilidade climática. Em geral, quando as exigências da cultura são satisfeitas, obtêm-se bons níveis de produtividade. Portanto, para a cultura ter um bom desenvolvimento, as respostas interativas clima-planta precisam ser adequadamente quantificadas e monitoradas (Borém, 2015).

Na Figura 2 encontram as médias de trinta anos de temperaturas máxima e mínima e a precipitação durante os meses do ano para os locais avaliados neste estudo. Em média, a floração ocorre no mês de dezembro de cada ano agrícola. Para Janaúba, no período de florescimento a temperatura média esteve em torno de 30°C, em Lambari esta temperatura foi de 25°C e em Leopoldina de 28°C. Em se tratando de temperatura no florescimento, Janaúba se destaca em relação aos outros locais, por apresentar maior florescimento e produtividade.

Leopoldina - MG



📍 Lambari - MG



📍 Janaúba - MG

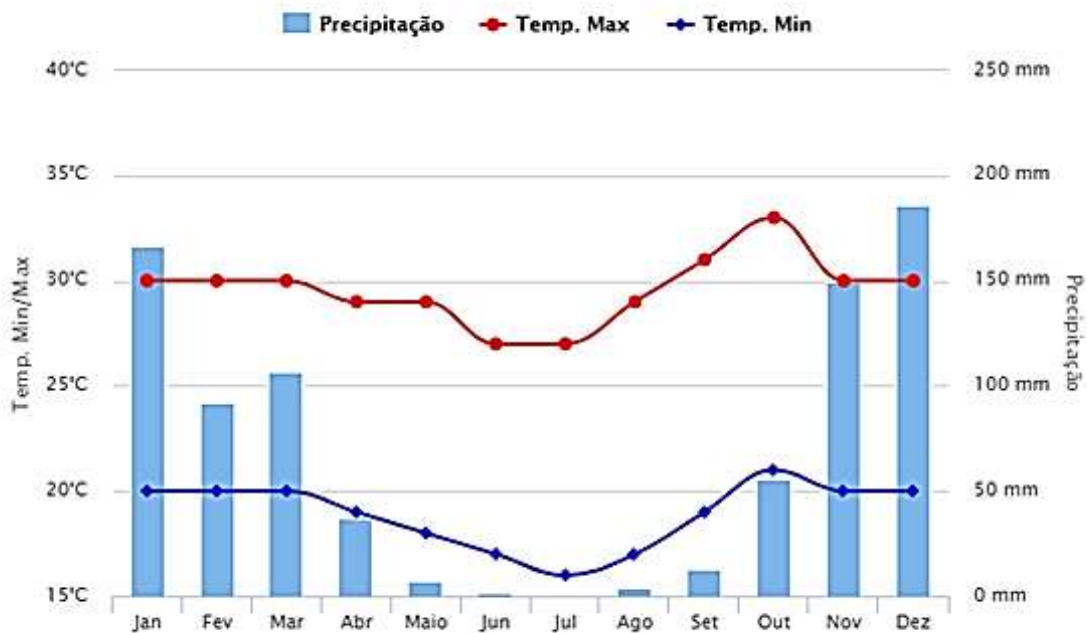


Figura 2: Valores médios de série de dados de 30 anos do comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano nos municípios de Lambari, Leopoldina e Janaúba. Fonte <http://www.climatempo.com.br/>.

Sob o ponto de vista de rigor no melhoramento de arroz irrigado em Minas Gerais, os anos agrícolas de 1993/1994 a 1999/2000, obtiveram maior número de genótipos novos em relação ao ano anterior e o menor número de genótipos mantidos para avaliação no ano posterior, e conseqüentemente, maior exigência do melhorista nesse período quanto à avaliação de genótipos (Tabelas 3, 4 e 5). Verifica-se, nas Tabelas 6 e 7 que o Programa de Melhoramento de Arroz Irrigado no Estado de Minas Gerais promoveu boa taxa de renovação de genótipos ao longo de todo o período avaliado, demonstrado o dinamismo do programa em lançar cultivares, fornecendo novas opções de cultivos para o agricultor.

Tabela 6: Taxa de substituição de genótipos (%), nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU's) de arroz irrigado em cada par de anos, no período de 1993 a 2016, no Estado de Minas Gerais.

Ambiente	Inclusão	Exclusão	Manutenção	Renovação
1994/95 -1993/94	0.65	0.29	0.06	0.92
1995/96 -1994/95	0.31	0.31	0.37	0.46
1996/97- 1995/96	0.48	0.46	0.07	0.88
1997/98- 1996/97	0.49	0.49	0.02	0.96
1998/99- 1997/98	0.44	0.44	0.11	0.8
1999/01-1998/99	0.42	0.42	0.16	0.72
2001/02- 1999/01	0.19	0.19	0.61	0.24
2002/03- 2001/02	0.34	0.34	0.32	0.52
2003/04- 2002/03	0.22	0.22	0.56	0.28
2004/05- 2003/04	0.34	0.34	0.32	0.52
2005/06- 2004/05	0.11	0.11	0.79	0.12
2006/07- 2005/06	0.31	0.31	0.39	0.44
2007/08- 2006/07	0.14	0.14	0.72	0.16
2008/09- 2007/08	0.29	0.29	0.43	0.4
2009/10- 2008/09	0.07	0.07	0.85	0.08
2010/11- 2009/10	0.34	0.34	0.32	0.52
2012/13- 2010/11	0.22	0.22	0.56	0.28
2013/14- 2012/13	0.19	0.19	0.61	0.24
2014/15-2013/14	0.22	0.22	0.56	0.28
Média	0.31	0.29	0.39	0.44

Tabela 7: Variedades de arroz recomendadas para o Estado de Minas Gerais no período de 1975 a 2017.

Variedade	Ano de lançamento	Responsabilidade pelo lançamento	Tipo de Cultura
Rio Paranaíba	1986	EPAMIG e EMBRAPA	Sequeiro
Guarani	1987	EPAMIG e EMBRAPA	Sequeiro
Douradão	1989	EPAMIG e EMBRAPA	Sequeiro

Rio Doce	1990	EPAMIG e EMBRAPA	Sequeiro
Caiapó	1992	EPAMIG e EMBRAPA	Sequeiro
Canastra	1996	EPAMIG, EMBRAPA, UFLA e UFV	Sequeiro
Confiança	1996	EPAMIG, EMBRAPA, UFLA e UFV	Sequeiro
Carisma	1999	EPAMIG, EMBRAPA, UFLA e UFV	Sequeiro
Primavera	2001	EPAMIG, EMBRAPA, UFLA e UFV	Sequeiro
Conai	2004	EPAMIG, EMBRAPA e UFLA	Sequeiro
Caravera	2007	EPAMIG, EMBRAPA e UFLA	Sequeiro
Relâmpago	2007	EPAMIG, EMBRAPA e UFLA	Sequeiro
Curinga	2004	EPAMIG, EMBRAPA e UFLA	Irrigado
Caçula	2012	EPAMIG, EMBRAPA e UFLA	Sequeiro
IR 841	1975	EPAMIG e EMBRAPA	Irrigado
IAC 899	1978	EPAMIG, IAC e EMBRAPA	Irrigado
Inca	1982	EPAMIG e EMBRAPA	Irrigado
MG 1	1984	EPAMIG e EMBRAPA	Irrigado
MG 2	1884	EPAMIG e EMBRAPA	Irrigado
Urucuia	1994	EPAMIG e EMBRAPA	Irrigado
Sapucaí	1994	EPAMIG e EMBRAPA	Irrigado
Capivari	1994	EPAMIG e EMBRAPA	Irrigado
Samburá	1995	EPAMIG e EMBRAPA	Irrigado
Mucuri	1995	EPAMIG e EMBRAPA	Irrigado
Jequitibá	1997	EPAMIG, EMBRAPA e UFLA	Irrigado
Rio Grande	1999	EPAMIG, EMBRAPA e UFLA	Irrigado
Ourominas	2001	EPAMIG e EMBRAPA	Irrigado
Seleta	2004	EPAMIG e EMBRAPA	Irrigado
Predileta	2007	EPAMIG e EMBRAPA	Irrigado
Rubelita	2012	EPAMIG e EMBRAPA	Irrigado
Alterosa	2017	EPAMIG e EMBRAPA	Irrigado

A eficiência de um programa de melhoramento está relacionada com a taxa de inclusão e exclusão. No entanto, a maior taxa de inclusão em relação à exclusão indica que o programa de melhoramento está contribuindo para liberação das variedades, possibilitando novas opções de cultivo para o orizicultor. Em todos os locais, a média de inclusão foi maior que a média de exclusão, indicando boa eficiência do programa de melhoramento de arroz irrigado em Minas Gerais (Tabela 6).

Gargnin (2007) trabalhando com trigo, obteve uma taxa de renovação de 33% e Soares et al. (1999), Atroch e Nunes (2000) trabalhando com arroz, encontraram taxas de renovação de 44% e 46% respectivamente, esses autores relataram que os

valores encontrados evidenciam alta vitalidade dos programas de melhoramento genético.

As taxas médias de manutenção foram de 39% e 40% (Tabela 6). A menor taxa de manutenção em Lambari, comparado a outros locais é devido a análise ter sido feita com 20 anos agrícolas, enquanto nos outros locais com 21 anos agrícolas. Isso possibilita obter estimativa da variação do ambiente entre os anos em avaliação. Nesse sentido, o efeito ambiental é devido ao contraste entre os genótipos comuns aos anos considerados (Atroch e Nunes, 2000). Quanto maior o número de tratamentos comuns a cada par de anos, mais acurada será a estimativa do efeito ambiental. Nesse sentido, a análise de dados leva a maior segurança na estimação do progresso genético pela conseqüente redução provocada pelos erros experimentais e as interações de genótipos com anos.

Em geral, a taxa de manutenção de genótipos neste trabalho é considerada média. Branquinho, et al. (2016), obtiveram resultado de 25%, considerado baixa. Já Soares et al. (1999) e Dovale et al. (2012) obtiveram resultados considerados bons (56% e 58%, respectivamente). Atroch e Nunes (2000) verificaram taxa média de manutenção em arroz de 38%. Em outras culturas, como no algodão Moresco (2003) encontrou taxa média de manutenção de 44% e Gargnin (2007) obteve taxa de 55% em trigo, valor considerado muito bom. A partir do resultado da taxa de manutenção encontrada neste trabalho, pode-se concluir que houve uma boa estimativa da variação ambiental entres os anos de avaliação. Essa observação demonstra a intensidade de seleção muito alta, eliminando grande parte dos genótipos já no primeiro ano de avaliação.

4.2. Ganhos genéticos na cultura do arroz - Metodologia de Vencovsky et al. (1986)

O ganho genético em arroz irrigado no estado de Minas Gerais durante o período de 1993 a 2016 foi muito discrepante entre os locais. Em Lambari, obteve-se maior ganho em relação ao outros locais ($1.062 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), que representa incremento atribuível ao melhoramento genético de $53,1 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, significando aumento de 1,46% ao ano (Tabela 8).

Tabela 8: Balanço do ganho genético e ambiental, média geral e porcentagem de ganho obtido pelo programa de melhoramento de arroz irrigado, no período de 1993 a 2016 no estado de Minas Gerais.

Ganho	Lambari	Janaúba	Leopoldina
Genético	1062.82	182.34	139.72
Ambiental	-2548.4	-902.48	-822.18
Média geral	3631	6282	5790
% Ganho	1,46	0,14	0,11

Em Janaúba, o ganho genético consistiu 182,34 kg.ha⁻¹, o que corresponde a 8,68 kg.ha⁻¹ ano⁻¹. Este resultado representa incremento de 0,14% ao ano (Tabela 8), considerado muito baixo para a cultura. Já em Leopoldina, houve ganho de 139,72 kg.ha⁻¹, que representa acréscimo de 6,65 kg.ha⁻¹ ano⁻¹, ou 0,11 % ao ano, resultado também muito baixo (Tabela 8).

O plantio de arroz ocorre sempre nos meses de outubro de cada ano agrícola, porém a fase vegetativa ocorre entre 50 a 60 dias após a germinação. A temperatura máxima em Leopoldina foi de 27 °C e a mínima de 19°C, com índice pluviométrico apontando para aproximadamente de 180 mm no período. Em Lambari nessa fase, a temperatura máxima foi de 25°C e a mínima 16°C, o índice pluviométrico foi de aproximadamente de 180 mm. Em Janaúba a temperatura máxima atingiu os 30 °C e a mínima, 20°C, enquanto o índice de pluviométrico foi de 150 mm. A fase reprodutiva, que dura em média de 30 a 40 dias, ocorre em dezembro de cada ano agrícola e as temperaturas máximas e mínimas foram aproximadamente as mesmas do mês de novembro. Já o índice pluviométrico aumentou em todos os locais. Em Leopoldina o índice foi de 300 mm, Lambari, 280 mm e em Janaúba de 180 mm.

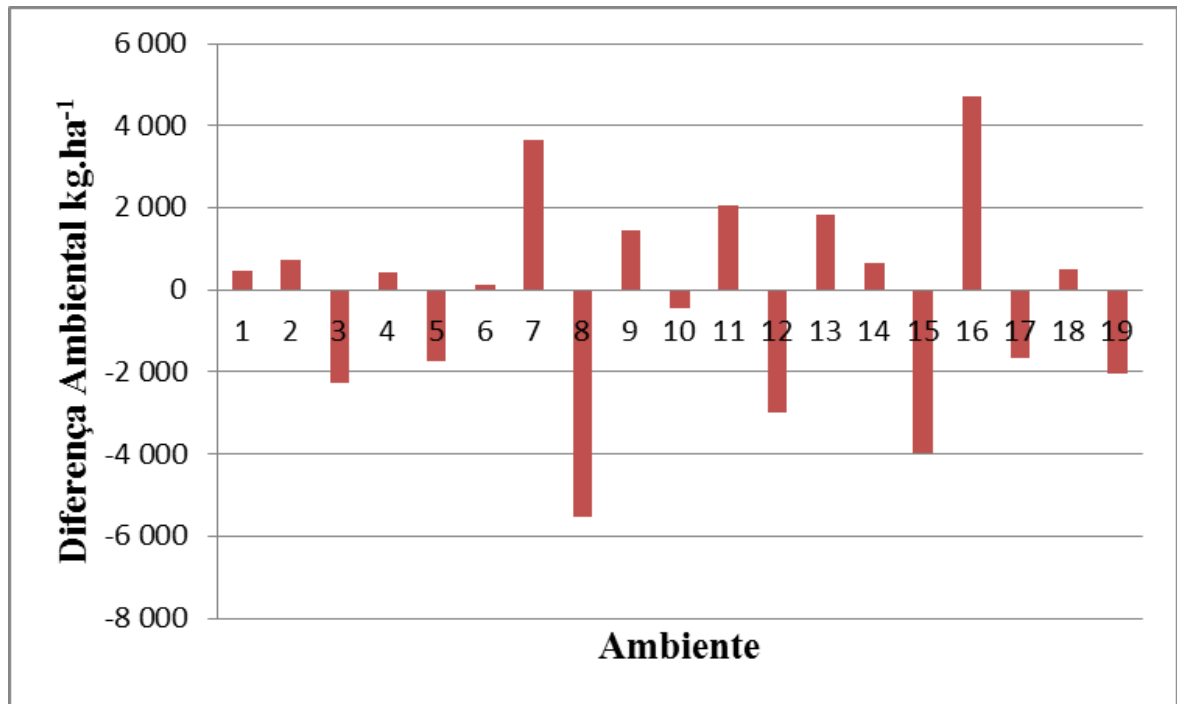
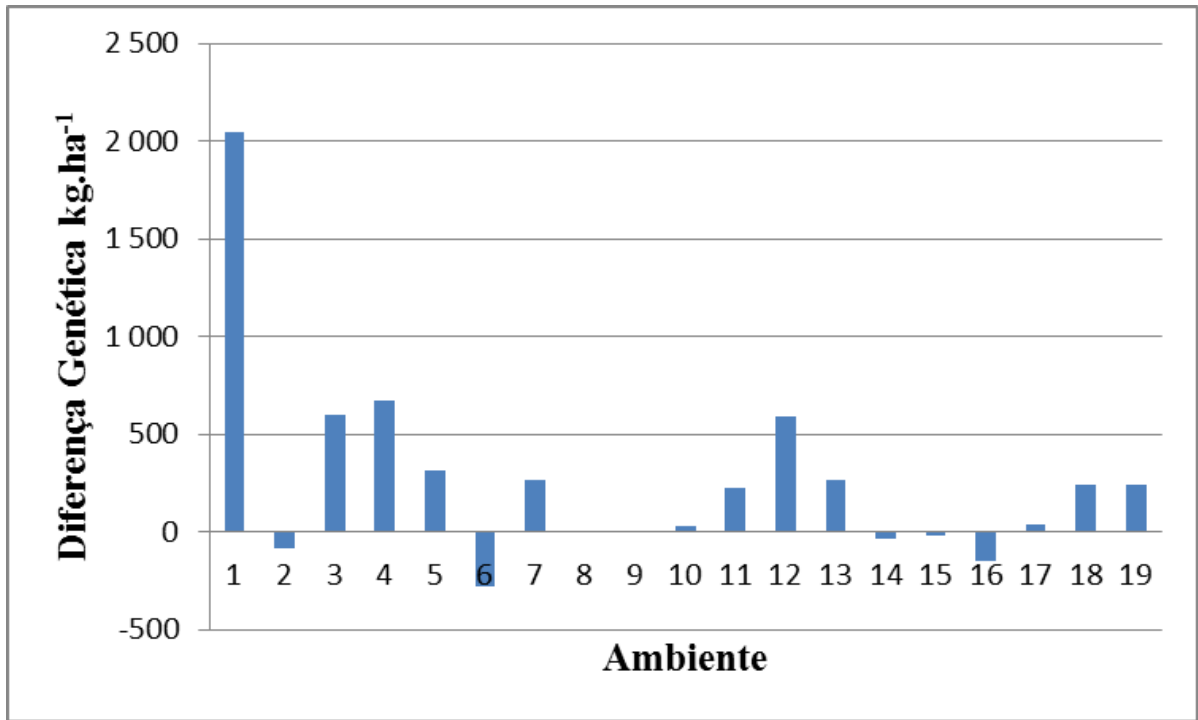
Outros autores trabalhando com a cultura do arroz obtiveram resultados semelhantes. Abbud (1991) estimou ganho de 1,3% ao ano no período de 1975 a 1988 no Paraná; Soares et al. (1999) estimou o progresso de 0,84 a 1,6% ao ano em Minas Gerais; Breseghello et al. (1999) estimou ganho genético para a cultura do milho de 0,77% ao ano no período de 1984 a 1993, no nordeste brasileiro. Os resultados encontrados na cultura da soja mostraram ganho de 1,30% a 1,80% no Paraná no período de 1981 a 1986 (Toledo et al., 1990); Na cultura do sorgo houve aumento médio na produtividade de 1,50% ao ano no período de 1974 a 1988 (Rodrigues, 1990); para o algodão herbáceo no nordeste brasileiro, Carvalho et al.

(1997) obtiveram ganho de 1,03% ao ano para o rendimento de algodão em caroço e no Mato Grosso, Moresco (2003) estimou o progresso genético do algodão em caroço em 3,70% a 5,20% ao ano.

A ausência de ganho ambiental e tecnológico durante todos os períodos analisados pela metodologia de Vencovsky et al. (1986) indica que as condições ambientais recentes exerceram maiores efeitos danosos à cultura do que as condições ambientais no passado. Deve-se ter em mente que este efeito representa um conjunto complexo de fatores que atua de forma aleatória. Isto envolve fatores climáticos, incidência de pragas e doenças além de fatores peculiares a certos momentos no tempo e no espaço, como o simples azar de ataque de pássaros, capivaras, dentre outros. Assim, não se espera, ao contrário da ação direcionada do melhoramento, uma ação temporal favorável do ambiente no decorrer dos anos.

Em Lambari, o ganho ambiental ou flutuação ambiental observada de $-2.548,4 \text{ kg.ha}^{-1}$, representou 171,54% do progresso genético total obtido (Tabela 8). Em Janaúba, o resultado obtido foi de $-902,48 \text{ kg.ha}^{-1}$, que corresponde a 125,32% do progresso genético total (Tabela 8). Já em Leopoldina, a flutuação (ou ganho ambiental) estimado foi $-822,18 \text{ kg.ha}^{-1}$, representando 120,47% do progresso genético total. De fato, isso pode ter acontecido devido ao intenso ataque de capivaras e pássaros nos campos experimentais que influenciaram nesses resultados. Sob o ponto de vista tecnológico, o controle de doenças, pragas e plantas daninhas pode também ter influenciado nos resultados atrapalhando o desempenho das cultivares.

Contudo, nos processos de estimação do progresso genético e ambiental observou-se que as diferenças brutas, devido ao ambiente e genética de um ano para outro ao longo do período, foram de magnitudes bastante variáveis (Figura 3, 4 e 5).



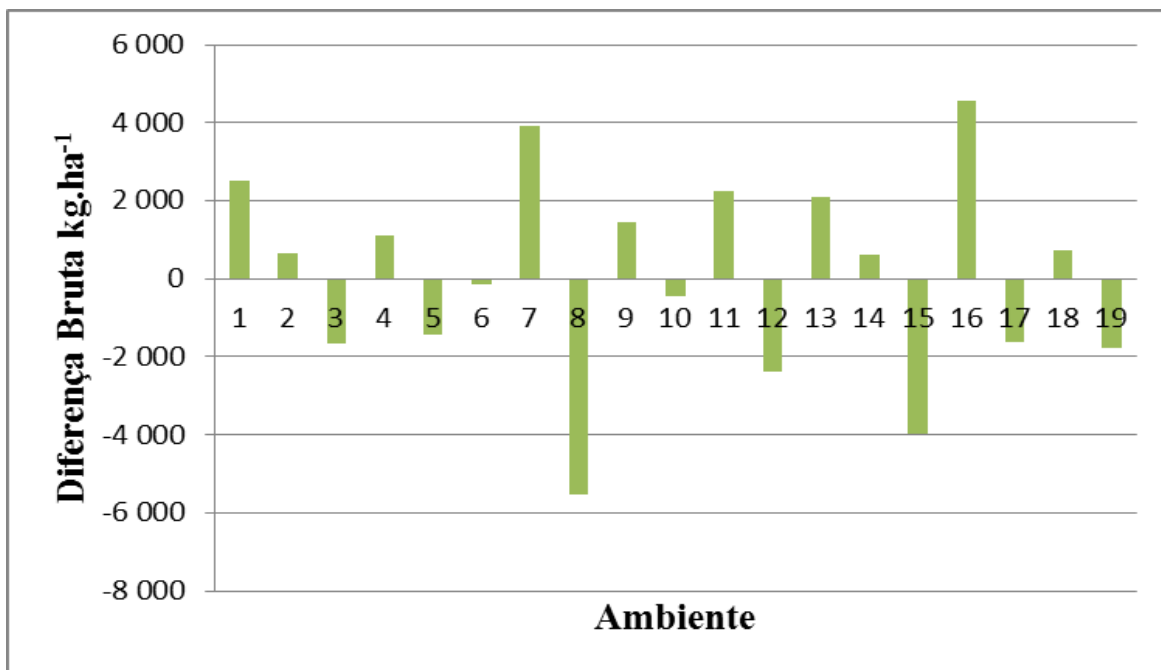
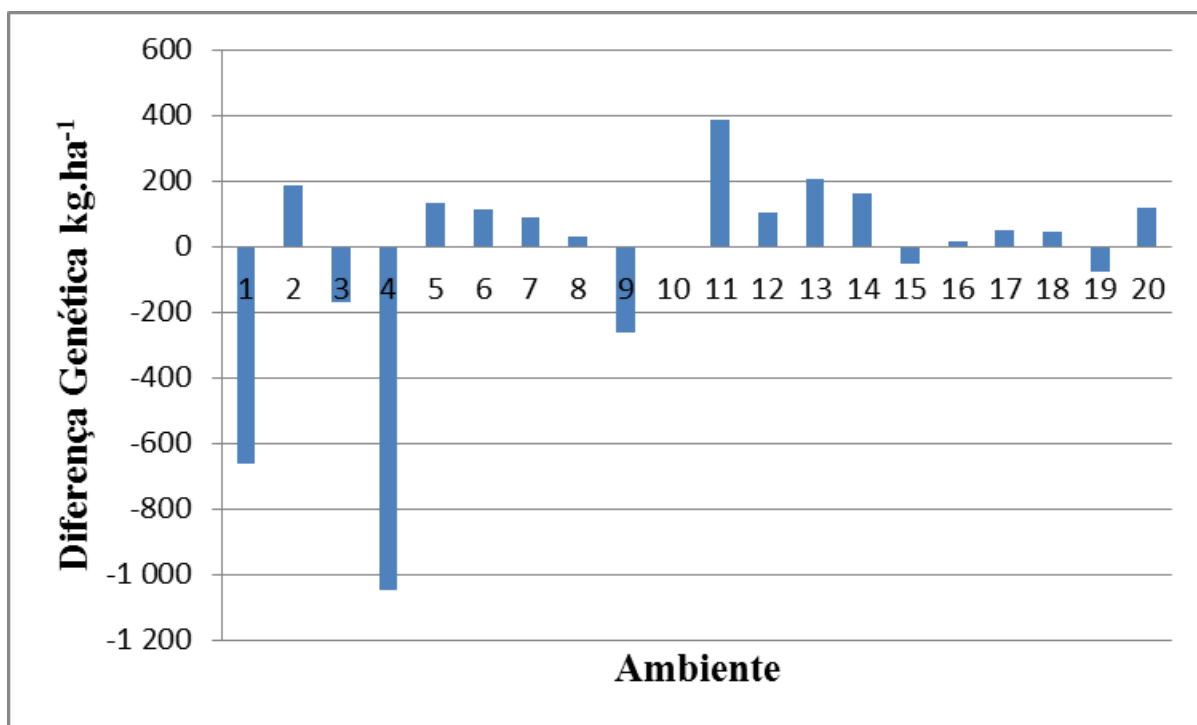


Figura 3: Diferenças brutas, ambientais e genéticas nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU's) de arroz irrigado em cada par de anos, no período de 1993 a 2016, em Lambari, no estado de Minas Gerais.



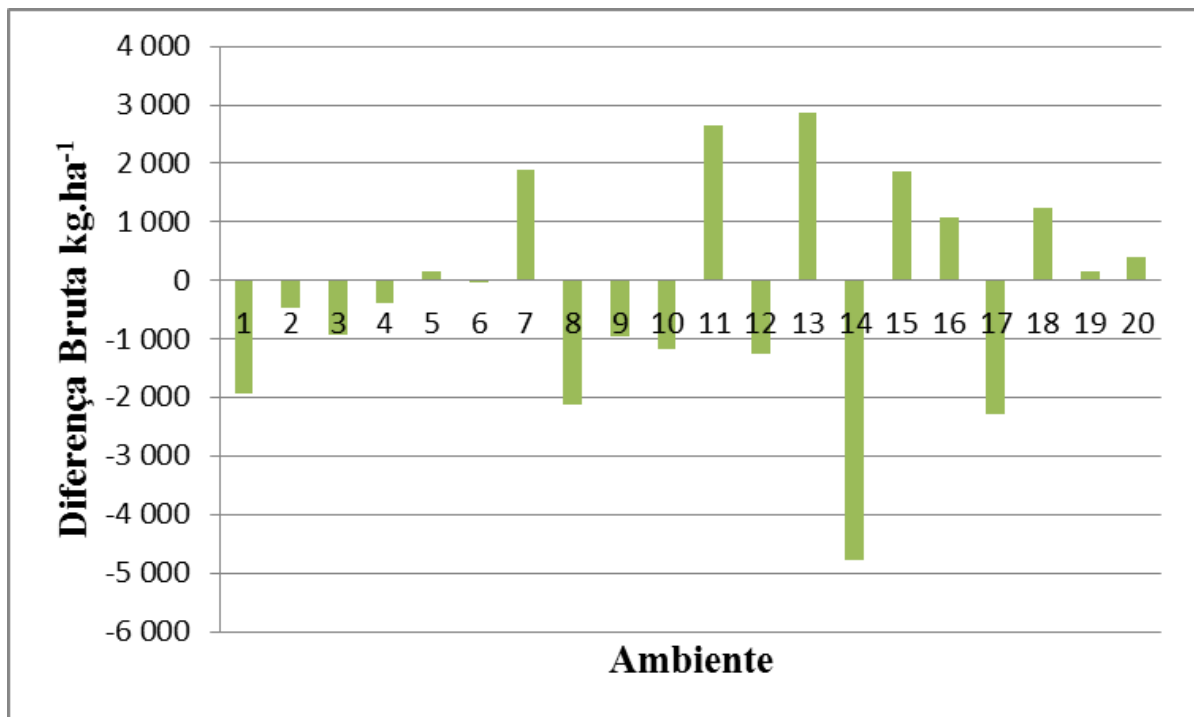
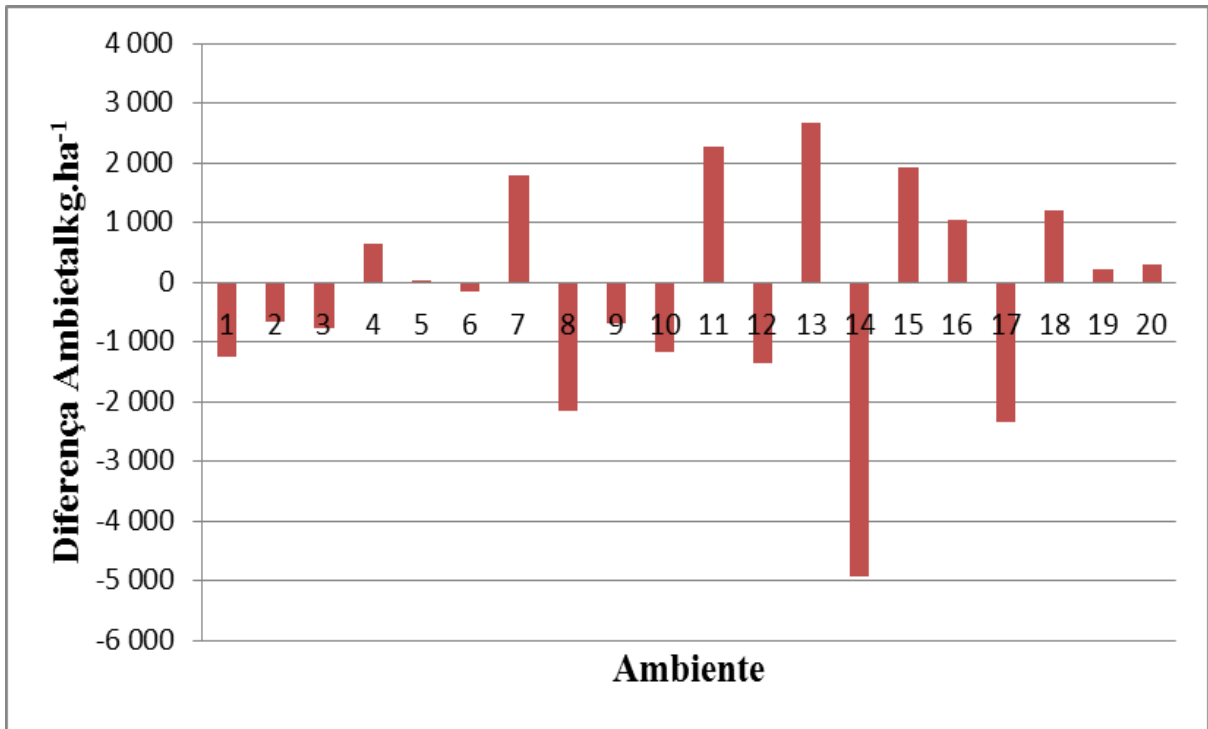
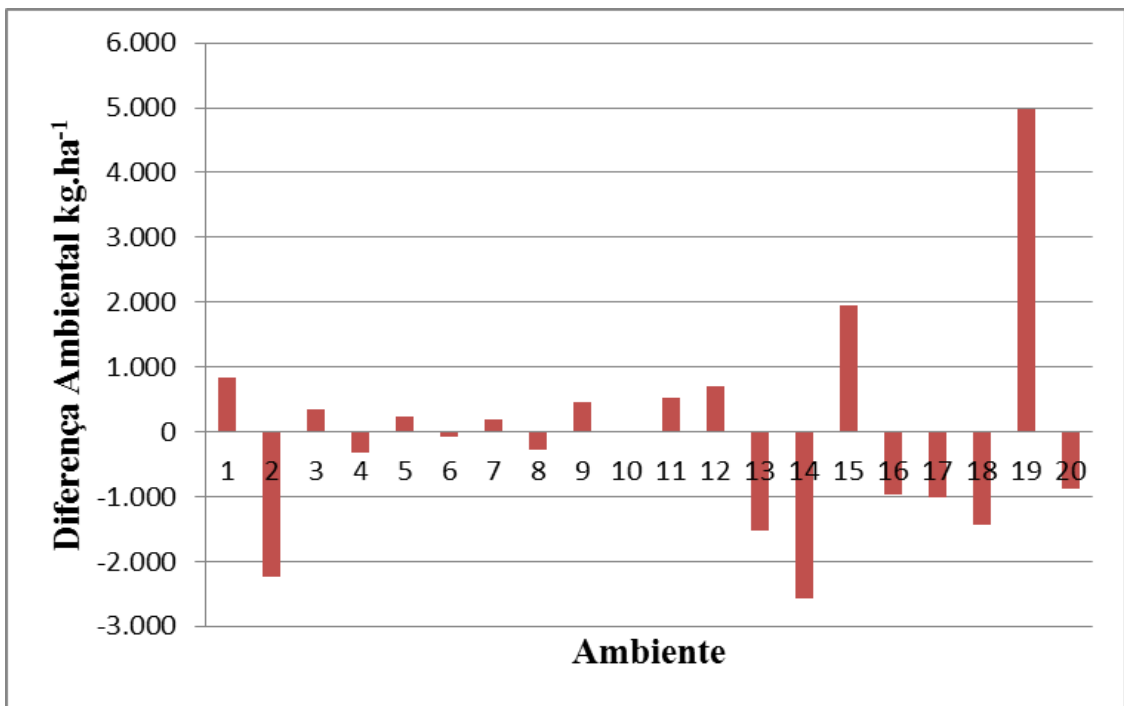
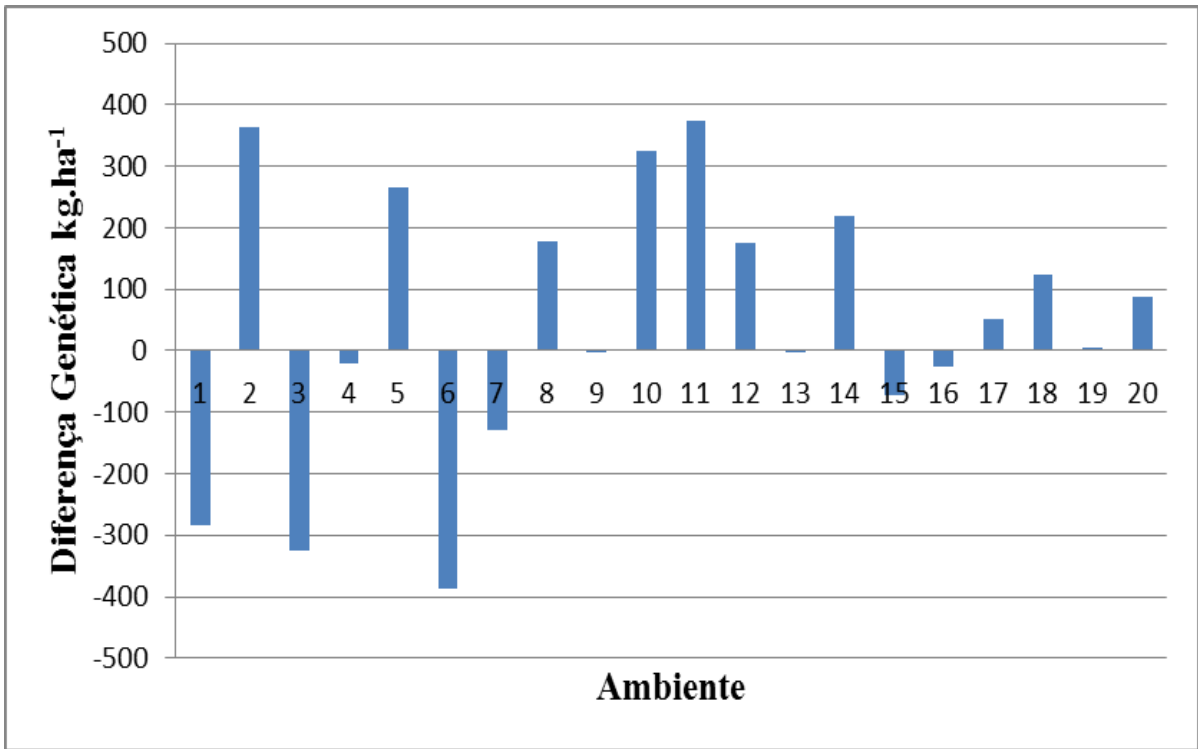


Figura 4: Diferenças brutas, ambientais e genéticas nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU's) de arroz irrigado em cada par de anos, no período de 1993 a 2016, em Janaúba, no estado de Minas Gerais.



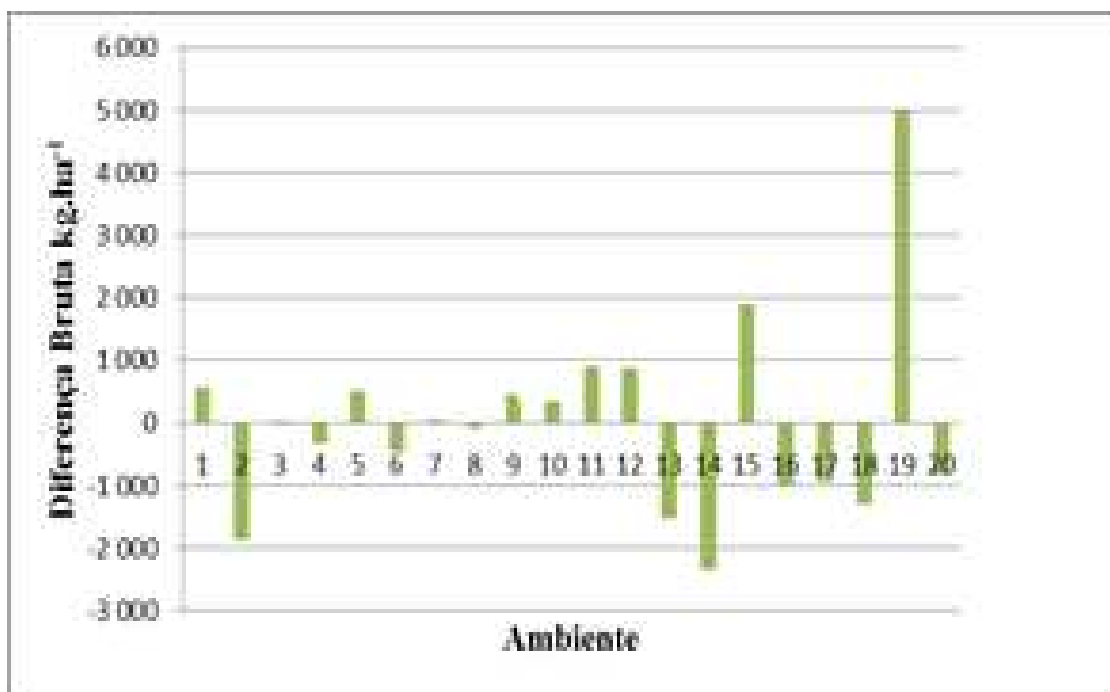


Figura 5: Diferenças brutas, ambientais e genéticas nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU's) de arroz irrigado em cada par de anos, no período de 1993 a 2016, em Leopoldina, no estado de Minas Gerais.

A variação nas diferenças brutas está fortemente associada às diferenças dos efeitos ambientais que ocorreram entre os anos. Provavelmente elas devem ter ocorrido na medida em que os efeitos de ambientes foram mais ou menos importantes na determinação da produção de grãos daquele mesmo par de ano. Segundo Carvalho et al. (1980) as condições ambientais são o principal fator determinante das variações de média de rendimento de grãos entre anos. Isso torna de suma importância o ano e/ou ambiente para a estimativa do progresso genético de arroz irrigado no estado de Minas Gerais.

Em Lambari, observou-se que as diferenças genéticas e brutas anuais também foram de magnitudes bastante variáveis, oscilando de -276 a 2.048 kg.ha⁻¹ e -5.530 a 4.556 kg.ha⁻¹, respectivamente (Figura 3). Entretanto, as diferenças na produtividade média devido ao efeito genético foram positivas em praticamente todos os anos, demonstrando o progresso genético ao longo dos anos neste local. Já em Janaúba, as diferenças genéticas e brutas foram de -1.047 a 384 kg.ha⁻¹ e de -4.775 a 2.866 kg.ha⁻¹, mas nos últimos anos esta oscilação foi muito baixa em relação a Lambari (Figura 4). Em Leopoldina, a diferença genética e bruta oscilou de -388 a 375 kg.ha⁻¹ e -2.363 a 4.975 kg.ha⁻¹, respectivamente (Figura 5).

Sob o ponto de vista de melhoramento genético esta diferença ou avanço genético anual é obtido pela diferença entre produtividade média dos genótipos de um ano e a do ano imediatamente anterior, excluindo-se o efeito do ano (Vencovsky et al., 1986). Reis (2013) avaliando o progresso genético do Programa de Melhoramento de Arroz Irrigado em Minas Gerais, encontrou resultados de diferenças genéticas positivas em praticamente todos os anos com exceção de 2000/1999 e 2011/2010. O autor mostrou que as linhagens inseridas a cada par de anos foram no geral, superiores geneticamente àquelas excluídas, obtendo ganho genético médio anual de 0,62%. Este mesmo autor, também observou diferenças ambientais cujas magnitudes foram altamente negativas na maioria dos pares de anos. O progresso genético e ambiental teve decréscimo de -15,38% de ganho médio anual no estado.

Para os resultados negativos de progresso ambiental, as conclusões se assemelham àquelas obtidas para a acurácia seletiva, em que o número mínimo de repetições deve passar a ser igual ou superior a quatro, e o delineamento em látice deve começar a ser uma prioridade do programa de forma a possibilitar maior controle ambiental nos tratamentos (Gomes & Garcia, 1991). Além disso, é proposto que seja feita uma nova estratificação ambiental, como alternativa para contornar os inconvenientes proporcionados pela interação genótipos x ambientes, principalmente aquelas de natureza complexa, evidenciada pela inconsistência da superioridade dos genótipos com a variação ambiental (Cruz et al., 2006).

Allard & Bradshaw (1964) explicam que as respostas diferenciais dos genótipos frente às alterações ambientais são dadas por dois tipos: previsíveis e não previsíveis, estas últimas são decorrentes de flutuações climáticas como quantidade de chuvas, variações na temperatura, dentre outros. As causas previsíveis são avaliadas nas análises ao se estudar as interações genótipos x locais e genótipos x anos, porém as causas imprevisíveis são as que mais contribuem com estas interações, bem como outras mais complexas como genótipos x anos x locais, ainda mais quando o período de avaliação foi longo como o deste estudo Fehr (1987).

4.3. Ganhos genéticos na cultura do arroz - Metodologia de Breseghelo et al. (1995)

Na Tabela 9 são apresentados os resultados do progresso genético utilizando a metodologia de Breseghelo et al. (1995) que se baseia em regressão linear.

Tabela 9: Coeficiente angular e intercepto obtido pelo programa de melhoramento de arroz irrigado em Minas Gerais utilizando a metodologia de Breseghelo, no período de 1993 a 2016.

	Lambari		Janaúba		Leopoldina ¹		Leopoldina ²	
	Média	Variância	Média	Variância	Média	Variância	Média	Variância
Int.	1.659	1.988	5.703	1.436	8.354	8.584	4.764	739
CA	167,62	13,11	57,88	8,2	-685.03	703.97	93,93	10,78

¹Período de 1993 a 1998; ² Período de 1999 a 2016. Int.: Intercepto; CA: Coeficiente Angular.

Pelas Figuras 6, 7, 8 e 9, pode-se observar o comportamento do progresso genético para produtividade nos ensaios de VCU de arroz irrigado em Janaúba, Lambari e Leopoldina. Na metodologia de Breseghelo, que se baseia em regressão linear como descrito anteriormente, foram obtidas as equações e a respectivas médias ponderadas descritas nos gráficos.

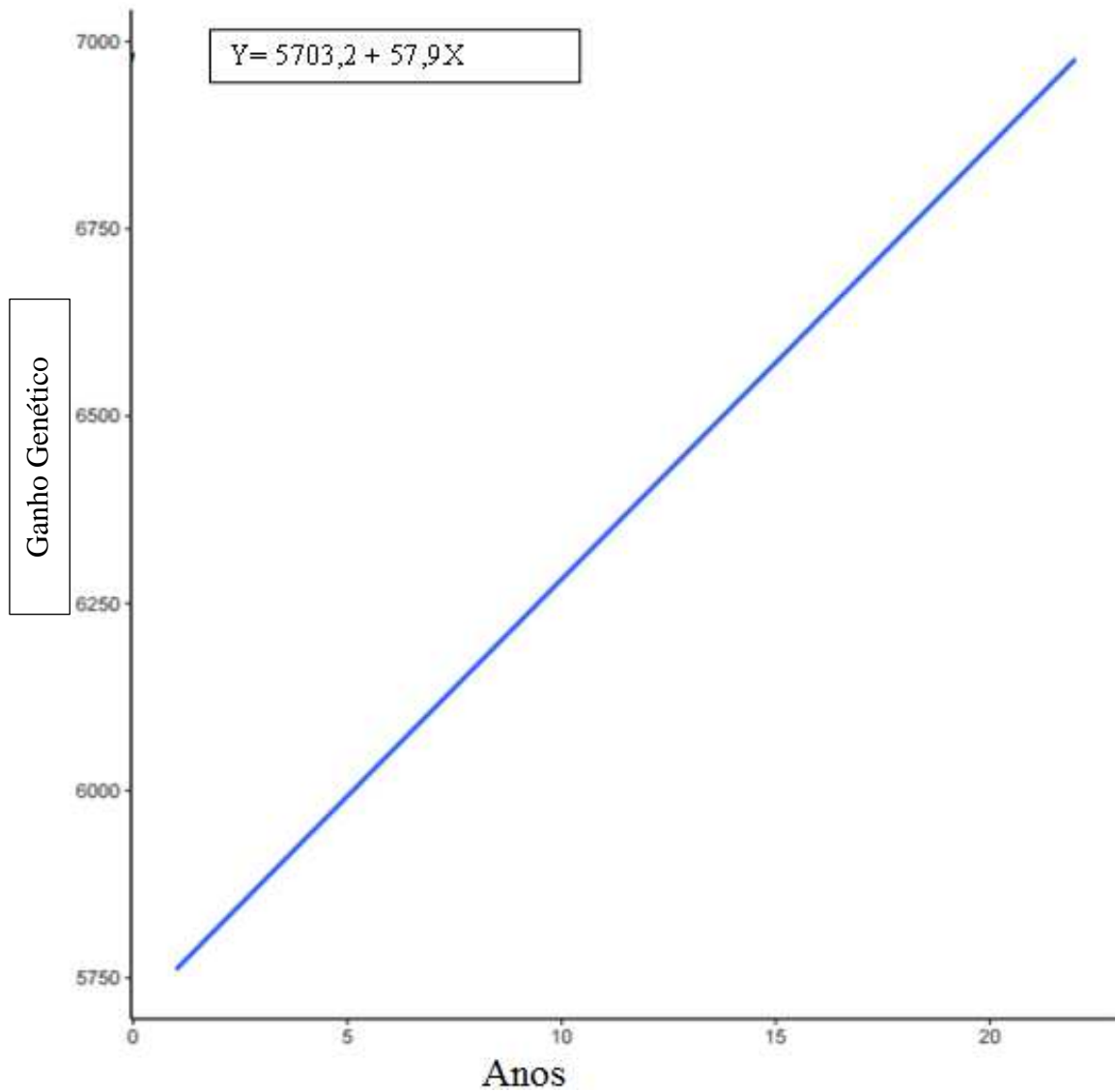


Figura 6: Progresso genético para produtividade nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU's) de arroz irrigado, em Janaúba no período de 1993 a 2016.

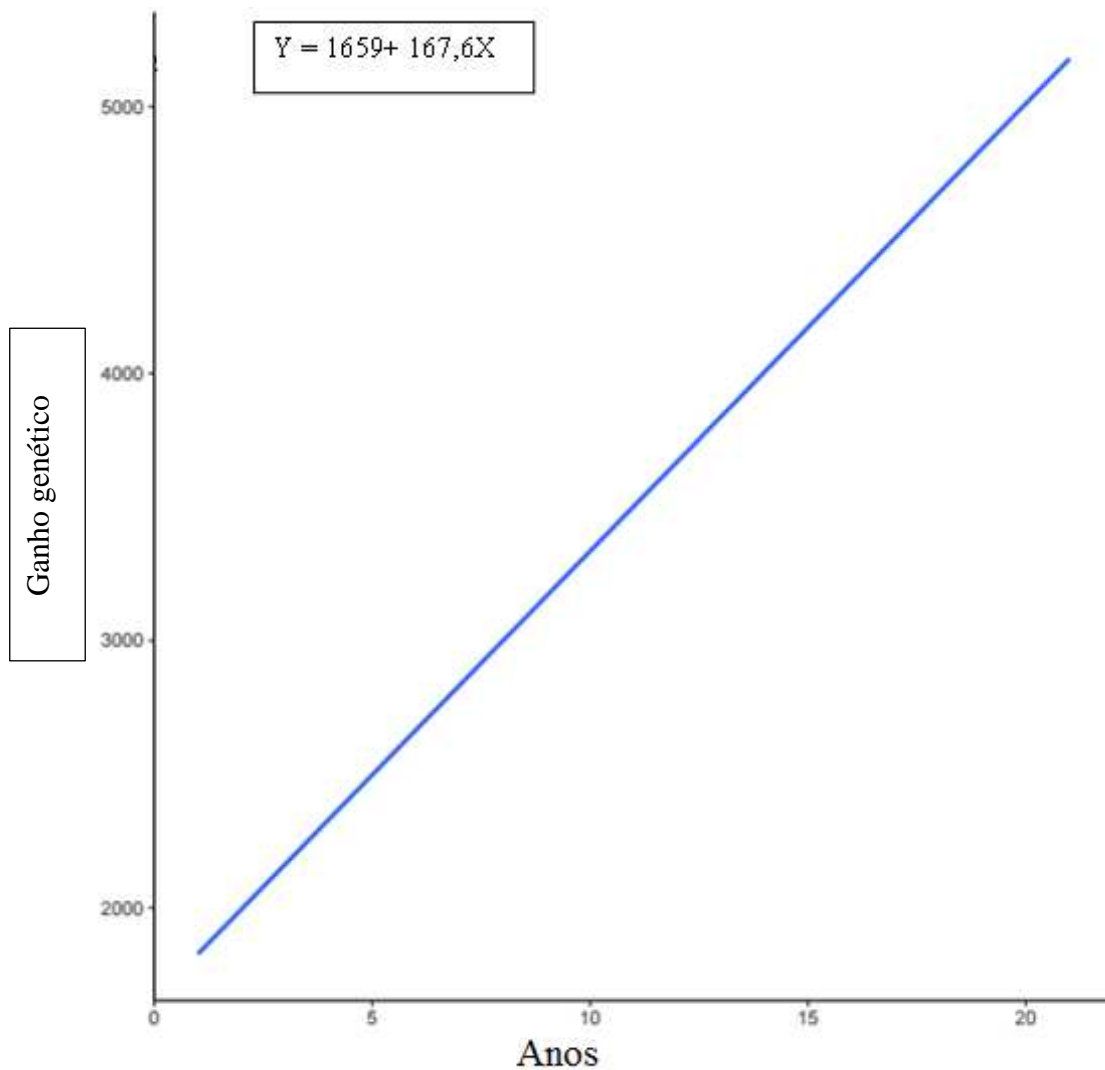


Figura 7: Progresso genético para produtividade nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU's) de arroz irrigado, em Lambari no período de 1993 a 2016.

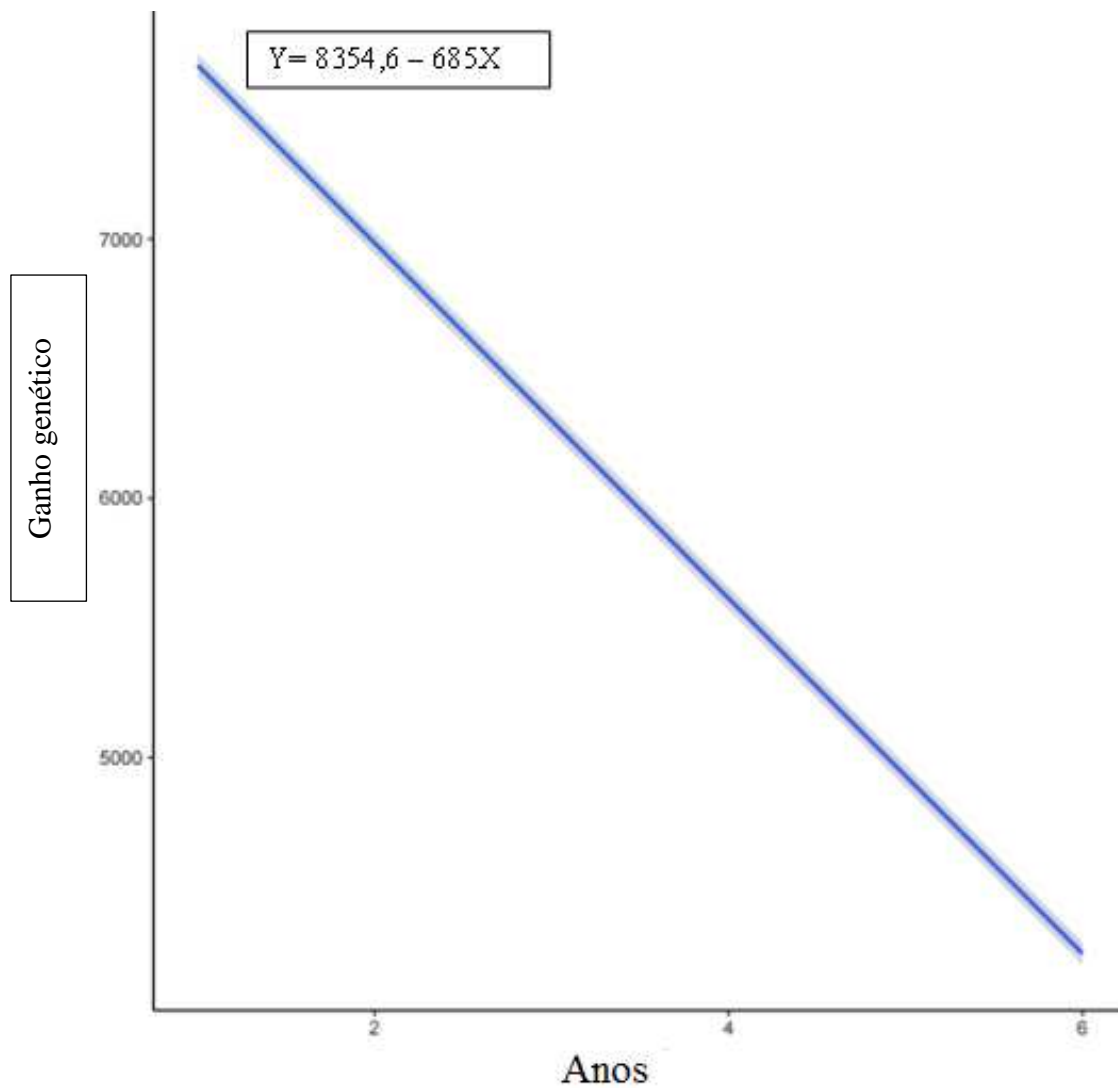


Figura 8: Progresso genético para produtividade nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU's) de arroz irrigado, em Leopoldina no período de 1993 a 1999.

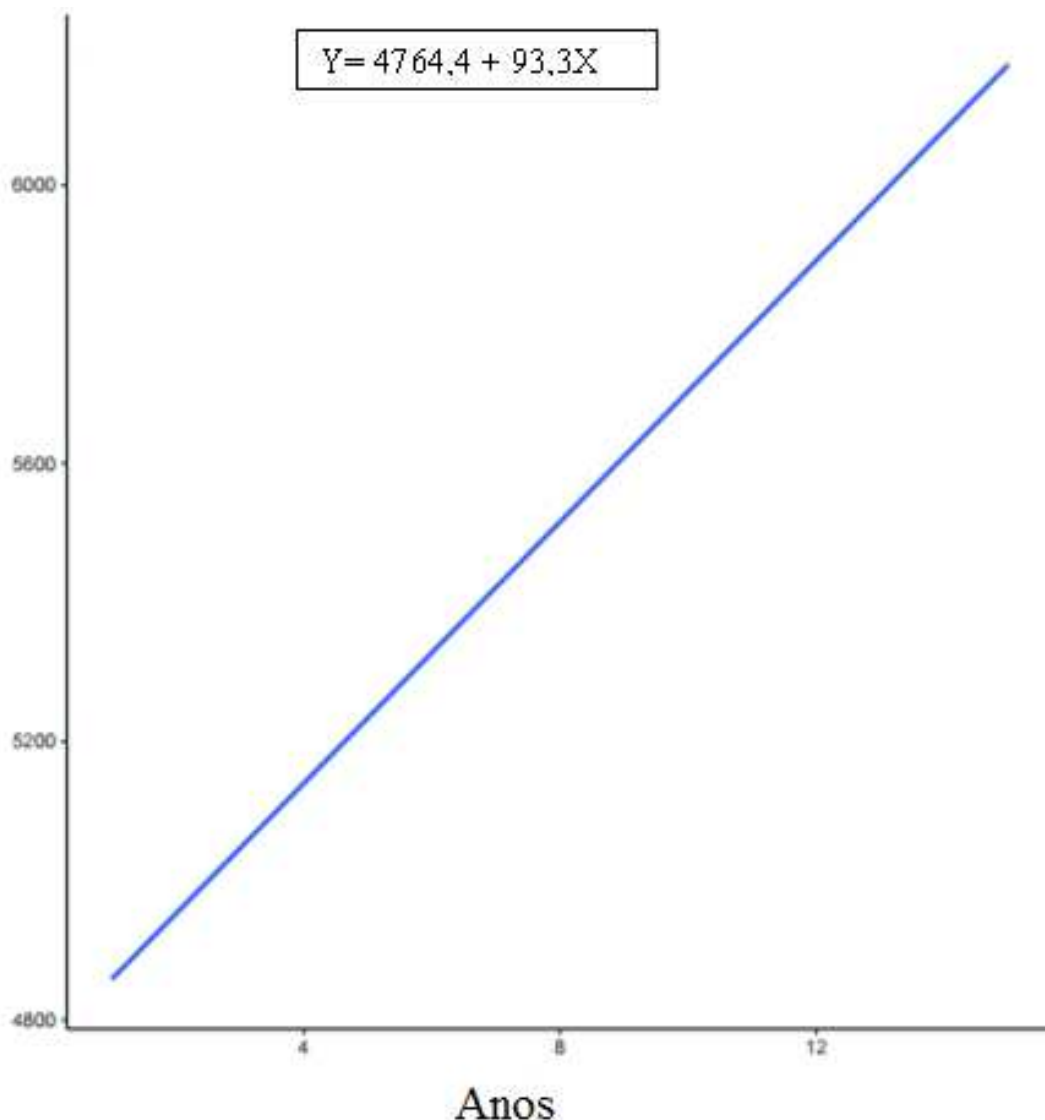


Figura 9: Progresso genético para produtividade nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU's) de arroz irrigado, em Leopoldina no período de 1999 a 2016.

A cada ano do programa de melhoramento, o rendimento médio dos genótipos avaliados obteve ganho genético médio anual de $167,62 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, desvio-padrão de 3,62 e ganho de 0,23% ao ano em Lambari (Tabela 9 e Figura 7). Em Janaúba, este ganho foi de $57,88 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ e o desvio-padrão de 2,86 e ganho que representa 0,04% ao ano (Tabela 9 e Figura 6).

As médias de produtividade de grãos em cada ano apresentaram ajuste ruim ao modelo de regressão linear não segmentado, como evidenciado pela baixa estimativa do coeficiente de determinação, $R^2 = 0,18$ e $0,02$ em Lambari e Janaúba, respectivamente. Para Leopoldina, independente da fase de avaliação dos anos

agrícolas, o coeficiente de determinação foi o mesmo de 2016 a 1993, $R^2 = 0,04$. Branquinho et al. (2016) obtiveram resultados similares aos encontrados nesse trabalho, estes autores estimaram valor de coeficiente de determinação de 0,08, e ganho genético médio anual em $22,8 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, inferior ao estimado por Breseghelo et al. (2011) ($44,5 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) para o programa de melhoramento de arroz. Esses resultados reforçam a necessidade de que o avanço genético do programa de melhoramento de arroz seja estudado por meio de regressão bissegmentada. Tendo em vista esta recomendação optou-se para a análise de Leopoldina, em dividir os anos agrícolas para melhor entendimento do progresso genético. Para o período que compreendeu os anos agrícolas de 1999/2000 até 2015/2016, o ganho genético foi de $93,93 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, desvio-padrão de 3,28, e ganho correspondente a 0,1 % ao ano. Já para o período de 1993/1994 a 1998/99, o ganho foi de $-685 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e desvio-padrão de 26,53, que representa perda de -2,37 ao ano (Tabela 9 e Figuras 8 e 9).

Outros trabalhos têm demonstrado reduzidos ganhos nos diferentes programas de melhoramento de arroz. Ao avaliar o programa de melhoramento genético de arroz irrigado no nordeste do Brasil, Breseghelo et al. (1999), notaram que os ganhos de produtividade atingiram 0,77% ao ano. No meio-norte do Brasil, Rangel et al. (2000) detectaram ganho médio de 0,50% por ciclo para produtividade, e ganho médio anual ainda menor, de 0,30%. Em Minas Gerais, no período de 1980/1981 a 1995/1996, fase posterior à substituição das cultivares tradicionais pelas de porte baixo, a estimativa de ganho para produtividade foi de 0,25% ao ano (Santos et al., 1997).

Breseghelo et al. (2011) avaliaram o programa de melhoramento de arroz de terras altas da Embrapa no período de 1984 a 2009. Durante este período, os resultados obtidos foram divididos em três fases: 1984 a 1992; 1992 a 2002 e de 2002 a 2009, respectivamente. Essa constatação faz suscitar a hipótese de a terceira fase do melhoramento, identificada por Breseghelo et al. (2011), ter se estendido até 2016. Conforme esses autores, a terceira fase desse programa caracterizou-se pela ênfase em alcançar elevada produtividade de grãos, concentrando os esforços de pesquisa em reduzido número de linhagens altamente produtivas. Isso pode explicar o pequeno ganho genético dos materiais avaliados entre os anos 1993 e 2016.

Nesse período, a produção de grãos foi significativa e de elevada magnitude, com estimativa de 1,44% no período, enquanto a altura de plantas e florescimento se mantiveram estáveis com aproximadamente, 95 cm e 80 dias, respectivamente. Atualmente, o objetivo dos programas de melhoramento de arroz é desenvolver cultivares resistentes à brusone (*Pyricularia grisea*) e tolerantes ao estresse hídrico devido a sua importância no ambiente tropical.

Os resultados das duas metodologias podem ser comprovados pela terceira fase de Breseghelo, que corresponde ao período de 2002 a 2009 até os dias atuais, e também pelos genótipos oriundos da Embrapa. Os objetivos e prioridades dos programas de melhoramento têm sido alterados, acompanhando as mudanças da distribuição geográfica da cultura, do manejo e da preferência do consumidor quanto ao tipo de grão.

No melhoramento de arroz irrigado a produtividade e resistência à brusone (*Pyricularia grisea*) são prioridades constantes desde seu início. Outra prioridade é a resistência ao acamamento e precocidade, que tornaram-se mais importantes com a inclusão do arroz em sistemas de rotação de culturas, onde a produtividade é mais elevada que no antigo sistema de abertura de áreas. A qualidade de grãos, entretanto, foi a maior mudança ocorrida nos cultivares de arroz de terras altas na última década. A passagem do grão longo e largo, típico do germoplasma japonês tropical, para grãos longo-finos, até então representado no Brasil pelo arroz irrigado, exigiu um grande esforço do programa de melhoramento de arroz.

Outro fator importante foi introdução de germoplasma exótico no programa em grande proporção e a intensificação na pressão de seleção para características relacionadas à qualidade de grãos, o que dificultou a obtenção de ganhos para outras características. O germoplasma elite da Embrapa Arroz e Feijão atingiu recentemente uniformidade dos grãos na classe longo-fino, portanto as prioridades do programa de melhoramento poderão voltar-se para outros caracteres, como produtividade, resistência à brusone e à seca (Embrapa, 2006). Segundo Prabhu (2003), a brusone nas folhas e nas panículas reduz a produtividade. Portanto, o melhoramento de arroz irrigado deve priorizar além da qualidade de grãos, a resistência à brusone. Esse fato pode explicar o resultado apresentado nesse trabalho.

4.4. Efeitos ambientais e da interação genótipos x ambientes sobre o desempenho de cultivares

Nos anos agrícolas avaliados, o coeficiente de variação (CV%) oscilou entre 7,61% a 48,57% nos locais individualmente e em conjunto, variou de 28,22% e 12,35%, nos anos agrícolas 2002/03 e 2001/02, respectivamente. Percebe-se que os maiores valores para coeficiente de variação foram obtidos em Lambari, o que indica menor precisão experimental se comparado aos demais locais (Tabela 10).

Tabela 10: Resumo das análises de variância conjuntas em relação aos anos agrícolas do programa de melhoramento genético de arroz irrigado de Minas Gerais.

Ano Agrícola	FV	GL	QM	F	AMBIENTE	MÉDIA	C.V.(%)
2015/16	G	24	873713	1,23 ^{ns}	Leopoldina	6854	12,48
	A	2	340487066	96,09 ^{**}	Lambari	2808	18,00
	G x A	48	709251	1,23 ^{ns}	Janaúba	5990	14,29
					Geral	5537	14,52
2014/15	G	24	1345533	0,99 ^{ns}	Leopoldina	7648	10,65
	A	2	181390414	107,18 ^{**}	Lambari	4600	27,20
	G x A	48	1359771	1,40 ^{ns}	Janaúba	5585	14,77
					Geral	5945	16,57
2013/14	G	24	2190731	1,01 ^{ns}	Leopoldina	2673	25,00
	A	2	143436420	22,09 ^{**}	Lambari	3862	24,71
	G x A	48	2177569	3,11 ^{**}	Janaúba	5430	15,84
					Geral	3988	20,97
2012/13	G	24	874699	0,82 ^{ns}	Leopoldina	3983	16,51
	A	2	48398625	11,01 ^{**}	Lambari	5468	15,15
	G x A	48	1072950	2,2 ^{**}	Janaúba	4194	14,05
					Geral	4548	15,37
2010/11	G	24	765345	0,67 ^{ns}	Leopoldina	4932	11,88
	A	2	618639406	283,11 ^{**}	Lambari	912	46,44
	G x A	48	1142713	2,25 ^{**}	Janaúba	6475	15,41
					Geral	4106	17,32
2009/10	G	24	37355772	1,98 [*]	Leopoldina	5924	14,27
	A	2	39999609	3,88 ^{ns}	Lambari	4892	16,53
	G x A	48	37676673	1,01 ^{ns}	Janaúba	5403	18,16
					Geral	5406	16,31

2008/09	G	24	1480506	0,93 ^{ns}	Leopoldina	4038	18,52
	A	2	10458749	3,57 ^{ns}	Lambari	4269	23,04
	G x A	48	1594877	1,98 ^{**}	Janaúba	3538	26,59
					Geral	3948	22,71
2007/08	G	24	4109081	2,16 [*]	Leopoldina	6401	14,93
	A	2	736426858	49,11 ^{**}	Lambari	2189	36,24
	G x A	48	1897508	2,53 ^{**}	Janaúba	8314	10,08
					Geral	5634	15,35
2006/07	G	24	4881568	1,29 ^{ns}	Leopoldina	7916	10,78
	A	2	225279161	100,42 ^{**}	Lambari	4575	19,93
	G x A	48	3771370	4,87 ^{**}	Janaúba	5447	16,05
					Geral	5979	14,72
2005/06	G	24	3363850	1,01 ^{ns}	Leopoldina	7033	16,00
	A	2	520196668	87,27 ^{**}	Lambari	2309	53,98
	G x A	48	3308685	2,94 ^{**}	Janaúba	2309	11,10
					Geral	5344	19,84
2004/05	G	24	3345662	2,82 ^{**}	Leopoldina	6129	8,72
	A	2	218621297	36,84 ^{**}	Lambari	2745	26,91
	G x A	48	1185058	3,06 ^{**}	Janaúba	4044	14,20
					Geral	4306	14,45
2003/04	G	24	2856746	1,97 [*]	Leopoldina	5790	12,84
	A	2	451259983	99,44 ^{**}	Lambari	1282	32,40
	G x A	48	1446432	3,11 ^{**}	Janaúba	5213	15,65
					Geral	4095	16,64
2002/03	G	24	533452	1,05 ^{ns}	Leopoldina	5334	13,32
	A	2	41211198	10,83 [*]	Lambari	6812	28,11
	G x A	48	3241704	1,09 ^{ns}	Janaúba	6170	12,44
					Geral	6105	28,22
2001/02	G	24	3671528	4,26 ^{**}	Leopoldina	5427	7,61
	A	2	723760679	170,09 ^{**}	Lambari	2903	27,71
	G x A	48	861415	1,84 ^{**}	Janaúba	8280	9,24
					Geral	5537	12,35
1999/01	G	24	5545612	5,94 ^{**}	Leopoldina	5352	9,89
	A	2	289682338	27,26 ^{**}	Lambari	3059	25,27
	G x A	48	932570	2,02 ^{**}	Janaúba	6384	11,16
					Geral	4932	13,78

1998/99	G	24	874699	0,82 ^{ns}	Leopoldina	3983	16,51
	A	1	48398625	11,01 ^{**}	Lambari	-	-
	G x A	24	1072950	2,19 ^{**}	Janaúba	4194	14,05
					Geral	4548	15,36
1997/98	G	24	4716714	5,22 ^{**}	Leopoldina	5266	24,39
	A	2	76381021	6,72 [*]	Lambari	4449	22,62
	G x A	48	903021	0,70 ^{ns}	Janaúba	6196	17,68
					Geral	5303	21,40
1996/97	G	24	4380216	1,63 ^{ns}	Leopoldina	5599	20,93
	A	2	277474100	33,47 ^{**}	Lambari	3367	29,02
	G x A	48	2679966	2,33 ^{**}	Janaúba	6625	15,93
					Geral	5197	20,61
1995/96	G	23	1494258	0,92 ^{ns}	Leopoldina	5637	13,32
	A	2	170286187	48,42 ^{**}	Lambari	5086	32,09
	G x A	46	1618343	1,09 ^{ns}	Janaúba	7618	14,35
					Geral	6114	19,86
1994/95	G	23	9032476	1,16 ^{ns}	Leopoldina	7515	10,25
	A	2	371526168	45,64 ^{**}	Lambari	4411	23,04
	G x A	46	7737630	6,71 ^{**}	Janaúba	8056	16,79
					Geral	6661	16,12
1993/94	G	11	782357	2,68 [*]	Leopoldina	6956	8,89
	A	2	799731672	64,22 ^{**}	Lambari	1912	48,57
	G x A	22	291818	0,47 ^{ns}	Janaúba	9993	7,91
					Geral	6287	12,56

^{ns}, ^{**} e ^{*}: não significativo, significativo a 5 e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; FV: fontes de variação; CV: coeficiente de variação.

Certamente, a principal razão para explicar a relação do coeficiente de variação dos genótipos com ambientes de cultivo, está relacionada com diferenças menores entre as médias de produtividade. Essa informação pode ser constatada com base na produtividade média geral obtida em 2015/2016 (5.537 kg/ha) e o CV desse mesmo ano (14,52%), e aquela obtida em 1993/94 que foi 6.287 kg/ha e CV de 12,56% (Tabela 10). A menor produtividade obtida foi em Lambari, com exceção dos anos agrícolas 2012/13, 2008/09 e 2002/03 que apresentam maior CV nesses anos agrícolas (Tabela 10).

Segundo Resende e Duarte (2007) recomendações baseadas em experimentos com três repetições e coeficiente de variação mínimo de 20% ou 30% são inadequadas para informar sobre a qualidade de ensaios cujo propósito é prever o valor de cultivo e uso de tratamentos genéticos. Estes autores propuseram abordagem para avaliação da qualidade de cultivares que se baseia na acurácia, e que avalia a melhoria das condições do experimento utilizando apenas o teste F (que é o valor da razão de variâncias para os efeitos de genótipos, associada à análise de variância). Os números de repetições atualmente empregados nos ensaios de VCU, entre dois e quatro, não possibilitam níveis ideais de acurácia seletiva iguais ou superiores a 90%.

O baixo ganho genético obtido para o programa de arroz irrigado em Minas Gerais utilizando as duas metodologias pode ser explicado pela maior produtividade das testemunhas em relação à média total dos genótipos avaliados no ano. Abreu et al. (1994) e Fonseca Junior (1997) utilizaram como referência em seus trabalhos, testemunhas comuns durante todos os anos agrícolas, porém nesse trabalho as testemunhas não eram comuns durante o período para estimar o ganho genético em Minas Gerais.

5. CONCLUSÕES

O programa de melhoramento genético de arroz irrigado desenvolvido em Minas Gerais, nos anos agrícola de 1993/1994 a 2015/2016 mostrou ser dinâmico.

O ganho genético durante o período de 1993 a 2016 foi muito discrepante entre os locais, demonstrando a importância dos efeitos ambientais e da interação genótipos x ambientes na orientação dos programas de melhoramento genético.

As estimativas de ganhos genéticos por ano foi 1,46% para Lambari, 0,14% para Janaúba e 0,11% para Leopoldina utilizando a metodologia de Vencovsky et al. (1986).

As estimativas de ganhos genéticos ao ano foram 0,23% para Lambari, 0,04% para Janaúba e 0,10% para Leopoldina, utilizando a metodologia de Breseghelo et al. (1995).

As metodologias de Breseghelo e a tradicional foram eficientes em quantificar o ganho obtido e a dinâmica do programa de melhoramento genético do arroz irrigado no estado de Minas Gerais, quanto à produtividade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBUD, N. S. *Melhoramento genético do arroz de sequeiro (Oryza sativa L.) no Estado do Paraná de 1975 a 1989*. 1991. 141f. **Tese** (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

ABICHEQUER A.D. **Morfologia e distribuição de arroz irrigado por inundação e sua relação com absorção de nutrientes e o rendimento de grãos**. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

ABREU, A. de F. B.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; MARTINS, L. A. Progresso do melhoramento genético do feijoeiro nas décadas de setenta e oitenta nas regiões Sul e Alto Paranaíba, em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 1, p. 105-112, jan. 1994.

ARIAS, E.R.A. Adaptabilidade e estabilidade das cultivares de milho avaliadas no Estado de Mato Grosso Sul e avanço genético obtido no período de 1986/87 e 1993/94. Lavras, 1996. 118p. **Tese** (Doutorado)- Universidade Federal de Lavras.

ARIAS, E.R.A.; RAMALHO, M. A. P. Progresso genético em milho no Estado de Mato Grosso do Sul, no período de 1986/87 a 1993/94. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.33,n.9, p.1549-1554, 1998.

ATROCH, A. L.; MORAIS, O. P.; RANGEL, P. H. N.; CASTRO, E. M. Progressos do melhoramento genético do arroz de sequeiro no estado do Amapá. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 9, p. 1623-1632, set. 1999.

ATROCH, A. L.; NUNES, G. H. S. 2000. Progresso genético em arroz de várzea úmida no Estado do Amapá. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.767-771.

BARILI, L. D., Universidade Federal de Viçosa. 2015. **Tese**. Evolução do melhoramento genético do feijão carioca no Brasil.

Biotechnology 2: 111-120.

BORDIN, L.C.; CASA, R.T.; MARCUZZO, L.L.; BOGO, A.; ZANCAN, R.L. Effect of fungicide application on the control of leaf diseases of irrigated rice and its relationship with industrial yield. **Summa Phytopathologica**, v.42, n.1, p.85-88, 2016.

BORÉM, A. & NAKANO, P. H. **Arroz: do plantio à colheita**-Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015.

BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. Viçosa : UFV, 1997. 547p.

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. de; 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. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 478-490, ago. 2009.

BORLAUG, N. E. **A Green Revolution yields a golden harvest**, Columbia J.World Bus. \$:9-19, 1969.

BORLAUG, N. E. Wheat breeding and its impact on world food Supply. Public lecture at the Third International Wheat Genetics Symposium, **Australian Academy of Science**, p. 5-9, 1968.

BOUIS H. 1996. Enrichment of food staples through plant breeding: a new strategy for fighting micronutrient malnutrition. *Nutrition Reviews* 54, 131-137. breeding in Brazil - progress and perspectives. **Crop Breeding and Applied**

BRANQUINHO, R. G. Regionalização de áreas produtoras de arroz de terras altas e dimensionamento de sua rede experimental para avaliação genotípica. 2016. 117 f. **Tese** (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas)–Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, 20161 .

breeding in Brazil - progress and perspectives. **Crop Breeding and Applied**

BRESEGHELLO, F. Ganhos para produtividade pelo melhoramento genético do arroz irrigado no Nordeste do Brasil. Goiânia, 1995. 93p. **Dissertação** (Mestrado)–Universidade Federal de Goiás

BRESEGHELLO, F.; MORAIS, O. P.; PINHEIRO, P. V.; SILVA, A. C. S.; CASTRO, E. M.; GUIMARÃES, E. P.; CASTRO, A. P.; PEREIRA, J. Á.; LOPES, A. M.; UTUMI, M. M. OLIVEIRA, J. P. Results of 25 years of upland rice breeding in Brazil. **Crop Science**, Madison, v. 51, n. 3, p. 914-923, maio. 2011.

BRESEGHELLO, F.; MORAIS, O.P.; RANGEL, P.H.N. A new method to estimate genetic gain in annual crops. **Genetics and Molecular Biology**, v.21, n.4, p.551-555, 1998

BRESEGHELLO, F; CASTRO, E. M.; MORAIS, O. P. **Progresso genético pelo melhoramento de arroz de terras altas da Embrapa para os Estados de Goiás, Minas Gerais, Maranhão, Piauí e Mato Grosso**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 24 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento).

BRESEGHELLO, F; RANGEL, P. H. N; MORAIS, O. P. Ganho de produtividade pelo melhoramento genético do arroz irrigado no Nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.34, n.3, p.399-407, mar. 1999.

CARGNIN, ADELIANO, D.Sc.,Universidade Federal de Viçosa, março de 2007. **Tese**. Progresso genético em trinta anos de melhoramento do trigo em Minas Gerais.

CARVALHO, L.P; BARBOSA, M.H.P; COSTA, J.N.; FARIAS, F.J.C.;SANTANA, J.C.F.; ANDRADE, F.P. Progresso genético de algodoeiro herbáceo no Nordeste. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasilia,v.32 n.3,p.283-291,1997.

CHANG, T.T.; BARDENAS, E.A. The morphology and varietal characteristics of the rice plna. Los Boños: IRRI, 1965. 40p.

CHANG, T.T.; Li, C.C. Genetics and Breeding. In: Luh, B. S. Rice: production and utilezation. Westposrt: AVI, 1980. p. 87-146.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento)
http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_12_09_00_46_boletim_graos_janeiro_2016.pdf

COX, T.S.; SHROYER, J.P.; BEM-HUI, L.; SEARS, R.G.; MARTIN, T.J. Genetic improvement in agronomic traits of hard red winter wheat cultivars from 1919 to 1987. **Crop Science**, Madison, v.28, p.756-760, 1988.

CRUZ, C. D. & CARNEIRO, P. C. S. 2003. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Vol.2. Viçosa: Editora UFV, 2003. 585p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. 2012. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Volume 1. 4ª ed. Editora UFV, Viçosa - MG.

CRUZ, C.D. GENES - software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. v.35, n.3, p.271-276, 2013

DOVALE, J. C.; SOARES, P. C.; CORNÉLIO, V. M. O.; REIS, M. S.; BORGES, W.; BISI, R. B.; SOARES, A. A.; FRITSCHÉ-NETO, R. 2012. 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.

DOVALE, 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. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (Goiânia, GO). 1977. **Manual de métodos de pesquisa em arroz**. Goiânia, 106p.

FEHR, W.R. (ed.) 1984. Genetic contributions to yield gains of five major crop plants. CSSA Spec. Publ. 7. ASA and CSSA, Madison, WI.

FERNANDES, J.S.C. Estabilidade ambiental de cultivares de milho (*Zea mays* L.) na região Centro Sul do Brasil. Piracicaba, 1998.94p. **Dissertação** (Mestrado)—Escola Superior de agricultura “Luiz deQueiroz”, Universidade de São Paulo

FONSECA J. R. *et al.*, **Descritores Botânicos, Agronômicos e Fenológicos do Arroz (*Oryza sativa* L.)**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa, Dezembro, Santo Antônio de Goiás – GO. 2008.

FONSECA JÚNIOR, N.S. da. Progresso genético na cultura do feijão no Estado do Paraná para o período de 1977 a 1995. Piracicaba, 1997. 160p. **Tese** (Doutorado)—Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

GARRIS, A. J.; TAI, T. H.; COBURN, J.; KRESOVICH, S.; MCCOUCH, S. Genetic Structure and Diversity in *Oryza Sativa* L. **Genetics**, v. 169, n. 3, p. 1631–1638, 1 mar. 2005.

GODFRAY, H. CHARLES J., et al. Science 327, 812 (2010). Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. DOI: 10.1126/science.1185383

GRAHAM, R.D.; SENADHIRA D.; BEEBE S.; IGLESIAS C.; MONASTERIO I. 1999. Breeding for micronutrient density in edible portions of staple food crops: conventional approaches. **Field Crops Research** 60, 57-80.

GRAHAM, R.D.; WELCH, R.M. 1996. Breeding for staple-food crops with high micronutrient density. Agricultural Strategies for Micronutrients Working Paper No. 3. Washington, DC: **International Food Policy Research Institute**, 1- 72.

GRAHAM, R.D.; WELCH, R.M.; BOUIS, H.E. 2001. Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: principles, perspectives and knowledge gaps. **Advances in Agronomy** 70, 77- 142

GRAHAM, R.D; SENADHIRA, D; BEEBE, S.E.; IGLESIAS, C. 1998. A strategy for breeding staple-food crops with high micronutrient density. **Soil Science and Plant Nutrition** 43, 1153-1157.

GRIST, D. H. **Rice**. 5. ed. London: Longman, 1978. 601 p

GUIMARÃES, E. P.; SANT'ANA, E. P. Sistemas de cultivo. In: Vieira, N.R. A.; Santos, A.B.; Sant'ana, E.P. A cultura do arroz no Brasil. **Santos Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão**, 1999.p. 17-35.

GUIMARÃES, E.P.; SANTANA, E.P.; RANGEL, P.H.N. **EMBRAPA e parceiros lançam 85 cultivares de arroz em 15 anos de pesquisa**. Goiânia: EMBRAPA Arroz e Feijão. 1997.N.P. (EMBRAPA Arroz e Feijão. pesquisa em foco, 4).

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. Lavras, v.17, n.1, p.27-34, 1993.

KRISHNAN, P. et al. Impact of elevated CO₂ and temperature on rice yield and methods of adaptation as evaluated by crop simulation studies. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.122, n.2, p.233-242, 2007. Disponível em: Acesso em: 07 jul. 2008. doi:10.1016/j.agee.2007.01.019. PENG, S. et al. (Eds.) *Climate change and rice*. Los Baños: International Rice Research Institute, 1995. 377p.

MAPA, 2015 (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) *Projeções do Agronegócio - Brasil 2014/15 a 2024/2025*. <http://www.agricultura.gov.br/>

MARINHO, C. D.; MARTINS, F. J.; AMARAL, S. C.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; GONÇALVES, L. S.; DE MELLO, M.P. 2011 Revisiting the Brazilian scenario of registry and protection of cultivars: an analysis of the period from 1998 to 2010, its dynamics and legal observations. **Genetics and Molecular Research**, v. 10, n. 2, p. 792-809.

MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. 2008. Seleção recorrente para três caracteres do feijoeiro. **Bragantia**, v.67, p.833-838.

MORAES, M. F.; SANTOS, M. G.; BERMUNDEZ-ZEMBRANO, O. D. Responde of greenhouse grow rice plant to sources of micronutrientes with diferente granulometry and solubility. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39,n.6,p.611-614, 2004.

MORAIS, O. P. de; RANGEL, P. H. N. Melhoramento de arroz no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO. **Anais...**, Lavras-UFLA: GEN, 1997. P. 147-166.

MORESCO, E.R. Progresso genético no melhoramento do algodoeiro no Estado de Mato Grosso. 2003. 79p. **Tese** (Doutorado)- Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz, Piracicaba.

NAVES, M. M. V., CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E NUTRICIONAIS DO ARROZ. B.CEPPA, Curitiba, v. 25, n. 1, p. 51-60, jan./jun. 2007

NEVES, I. P. 2007. Dossiê técnico - cultivo de arroz. **Rede de tecnologia da Bahia - RETEC/BA**, 21.

PEREIRA, J. A. Cultura do Arroz no Brasil: subsídios para a sal história. **Teresina: Embrapa Mio-Norte**, 2002. 226p.

PIMENTEL GOMES, F. Curso de estatística experimental. 15.ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451p.

Prabhu, A.; Araújo, L. G.; Berni, R. F. Estimativa de danos causados pela brusone na produtividade de arroz de terras altas. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1045-1051, set. 2003.

RAMALHO, M.A.P., J.B. DOS SANTOS, and M.J. de O. ZIMMERMANN. 1993. **Genética Quantitativa em Plantas Autógamas**. 1st ed. Editora UFG, Lavras.

RAMALHO, M.A.P.; DIAS, L.A.S.; CARVALHO, B.L. (2012) Contributions of plant

RANGEL, P. H. N.; PEREIRA, J. A.; MORAIS, O. P.; GUIMARAES, E. P..YOKOKURA, T. Ganhos na produtividade de grãos pelo melhoramento genético do arroz irrigado no Meio-Norte do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.8, p.1595-1604.

RANGEL, P.H. N. Desenvolvimento de cultivares de arroz irrigado para o Estado do Tocantins. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v. 48, n.424, p.11-13, 1995.

RANGEL, P.H.N.; PEREIRA, J.A.; MORAIS, O.P. de; GUIMARÃES, E.P.; YOKOKURA, T. Ganhos na produtividade de grãos pelo melhoramento genético do arroz irrigado no Meio-Norte do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**,v.35, n.8, p.1595-1604, 2000.]

RAY, D.K.; MUELLER, N.D.; WEST, P.C.; FOLEY, J.A. (2013) **Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050**. PLoS ONE 8(6): e66428.doi:10.1371/journal.pone.0066428

REIS, G.G.; Progresso Genético de Caracteres Agronômicos de Arroz Irrigado em Minas Gerais entre 1998-2012. Viçosa-MG, 2013. **Dissertação de Mestrado**-Universidade Federal de Viçosa.

RESENDE&DUARTE, M. D. V.; J.B. PRECISÃO E CONTROLE DE QUALIDADE EM EXPERIMENTOS DE AVALIAÇÃO DE CULTIVARES. **Pesq Agropec Trop**: 182-194, set. 2007. Goiânia-GO, Brasil – www.agro.ufg.br/pat.

RODRIGUES, J.A.S. Progresso genético e potencial de risco da cultura do sorgo granífero(*Sorghum bicolor* L. Moench) no Brasil. Piracicaba,1990. 171p. **Tese** (Doutorado)–Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

RUSSELL, W.A. Comparative performance for maize hybrids representing different eras of maize breeding. In: ANNUAL CORN & SORGHUM RESEARCH CONFERENCE, 29.,1977, Chicago. Proceedings. **Washington : American Seed Trade Association**, 1977. p.81-101.

SANTOS, P. G.; SOARES, P. C.; SOARES, A. A.; MORAIS, O. P.; CORNÉLIO, V. M. O. 1999. Avaliação do progresso genético obtido em 22 anos no melhoramento do arroz irrigado em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.10, p.1889-1896.

SEARLE, S. R. Linear models. **New Yprk**: Jphn Wiley & Sons, 1971. 260p.

SILVA, M. V. Elementos para a história do arroz no Brasil. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 4,n. 39, p. 11-16, 1950a.

SOARES, A.A. Desempenho do melhoramento genético do arroz de sequeiro e irrigado da década de oitenta em Minas Gerais. Lavras : ESAL, 1992. 188p. **Tese de Doutorado**.

SOARES, A.A.; RAMALHO, M.A.P.; SOUZA, A.F. de; Estimativa do progresso genético em vinte anos de melhoramento de milho no Brasil. In: 79 CONGRESSO genético obtido pelo programa de melhoramento de arroz irrigado da EPAMIG, na época de oitenta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.1, p.97-104, 1994.

SOARES, A.A.; SANTOS, P.G.; MORAIS, O.P.; SOARES, P.C.; REIS, M.S. e SOUZA, M.A. Progresso genético obtido pelo melhoramento do arroz de sequeiro em 21 anos de pesquisa em Minas Gerais. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.34, n.3, p.415-424, mar. 1999.

SOARES, P. C.; MELO, P. G. S.; MELO, L. C.; SOARES, A. A. 2005. Genetic gain in an improvement program of irrigated rice in Minas Gerais. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.5, p.142-148.

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.

SOUZA, M. A. de; MORAIS, O. P.; HERÁ, R. E. C.; CARGNIN, A.; PIMENTEL, A. J.SQUILASSI, M.G. Melhoramento de plantas e a produção de alimentos. 18 p, 2003. (**Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 56**). Disponível em <http://www.cpatc.embrapa.br>

TAKAHASHI, N. Differentiation of ecotypes in *Oryza sativa* L. In: TAKAHASHI, N., TSUNODA, S. (Eds). **Biology of rice**. Tokyo : Japan Sci Soc, 1984. p.31-67. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000140&pid=S0103-8478200000050003100046&lng=en

TIKMAN, D., BALZER, C., HILL, J. & BEFORT, B. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA** **108**, 20260–20264 (2011).

TOLEDO, J.F.F.; ALMEIDA, L.A. de; KIIHL, R.A. de S.; MENOSSO, O.G. Ganho genético em soja no Estado do Paraná, via melhoramento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.1, p.89-94, jan. 1990.

VENCOVSKY, R.; MORAIS, A. R.; GARCIA, J. C.; TEIXEIRA, N. M. 1988. Progresso genético em vinte anos de melhoramento de milho no Brasil. In: **Congresso nacional de milho e sorgo**, Belo Horizonte. 1986. Anais..., Sete Lagoas: Embrapa/CNPMS, p.300- 307.

Walter, L. C.; Streck, N. A.; Rosa, H. T.; Krüger, C. A. M. B. Mudança climática e seus efeitos na cultura do arroz. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.11, p.2411-2418, nov, 2010 ISSN 0103-8478

WOLF, E.C. **Beyond the Green Revolution**. Worldwatch paper 73, 1986.