

ROBERTO EVARISTO CELI HERÁN

PROGRESSO E DIVERSIDADE GENÉTICA DO ARROZ DE SEQUEIRO NO
PERÍODO DE 1950 A 2001

Tese 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
2003

ROBERTO EVARISTO CELI HERÁN

PROGRESSO E DIVERSIDADE GENÉTICA DO ARROZ DE SEQUEIRO NO
PERÍODO DE 1950 A 2001

Tese 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 EM: 20 de fevereiro de 2003.

Prof. Cosme Damião Cruz
(Conselheiro)

Prof. Carlos Siqueyuki Sedyama
(Conselheiro)

Prof. Valterley Soares Rocha

Dr. Plínio César Soares

Prof. Moacil Alves de Souza
(Orientador)

Ao meu pai.

À minha mãe.

Aos meus irmãos.

À minha filha.

À Maribel.

AGRADECIMENTO

Ao Programa de Modernização de Serviços Agropecuários (PROMSA) do Equador, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Instituto Nacional Autônomo de Investigações Agropecuárias (INIAP) do Equador, por ter-me concedido o afastamento para este treinamento.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do Curso.

Ao Professor Moacil Alves de Sousa, pela amizade, por todo o apoio incondicional e indispensável e pela orientação, imprescindível na condução deste trabalho.

Ao Professor Cosme Damião Cruz, pelos ensinamentos, pela amizade e pela disposição em sanar dúvidas relacionadas com a análise dos dados.

Ao Professor Carlos Sigureyuki Sedyama, pela ajuda, pelas sugestões e pelas críticas essenciais à conclusão desta pesquisa.

Ao Professor Valterley Soares Rocha e ao Dr. Plínio César Soares, pela disposição em participar da banca desta tese e pelas importantes sugestões.

Aos demais professores do Curso de Genética e Melhoramento, pela acolhida, pela amizade e pelos ensinamentos valiosos.

Ao Dr. Orlando Peixoto de Moraes, da EMBRAPA Arroz e Feijão, pelas sugestões e pela grande colaboração na condução dos ensaios de Goiânia, GO.

Aos meus colegas e amigos do Curso de Genética e Melhoramento de Plantas, especialmente a Digner, João e Fábio, pela amizade e pelo convívio.

Aos estudantes Juarez, Luciana, Janaina e Mônica, estagiários do Programa Arroz e Trigo, pela contribuição na obtenção dos dados experimentais.

Aos funcionários de campo da Agronomia e do Aeroporto, pelos auxílios prestados na condução dos experimentos.

À minha gratidão a todos que não foram citados, mas que estão conscientes de haverem cooperado para o meu sucesso, pelo apoio e pela torcida.

BIOGRAFIA

ROBERTO EVARISTO CELI HERÁN, filho de Jose Celi e Gastonia Herán, nasceu em 26 de outubro de 1963, na Cidade de Milagro, Província do Guayas, Equador.

Em dezembro de 1995, concluiu o Curso de Agronomia na Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Agrária do Equador.

Em maio de 1997, ingressou no Instituto Autônomo de Investigações Agropecuárias (INIAP) como pesquisador de arroz.

Em abril de 2001, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, em nível de mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em fevereiro de 2003.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Interação genótipos x ambientes	3
2.2. Adaptabilidade e estabilidade de comportamento	4
2.3. Correlação entre caracteres.....	8
2.4. Ganhos genéticos	9
2.5. Diversidade genética.....	11
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.1. Cultivares, implantação e condução dos experimentos	13
3.2. Características avaliadas	16
3.3. Análise dos dados.....	18
3.3.1. Estimção da interação genótipos x ambientes	19
3.3.2. Estimção da adaptabilidade e estabilidade.....	19
3.3.3. Estimção das correlações entre caracteres	21
3.3.4. Ganhos genéticos	23
3.3.5. Divergência genética.....	23

	Página
4. RESULTADOS.....	24
4.1. Análise de variância e interação genótipos x ambientes	24
4.2. Estabilidade e adaptabilidade	37
4.3. Correlação entre caracteres.....	39
4.4. Ganho genético	39
4.5. Diversidade genética.....	43
5. DISCUSSÃO	50
6. CONCLUSÕES	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

RESUMO

CELI HERÁN, Roberto Evaristo, M. S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2003. **Progresso e diversidade genética do arroz de sequeiro no período de 1950 a 2001**. Orientador: Moacil Alves de Souza. Conselheiros: Cosme Damião Cruz e Carlos Siqueyuki Sedyama.

Foram instalados quatro experimentos de campo, sendo dois em Viçosa, MG, nas localidades denominadas Aeroporto e Campo Experimental Prof. Diogo Alves de Mello, também conhecido como Agronomia, no “Campus” da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Os outros foram conduzidos nas Fazendas Capivara e Palmital, pertencentes à EMBRAPA Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás, GO. Os objetivos do trabalho foram quantificar o progresso genético obtido pelo melhoramento na cultura do arroz de sequeiro, avaliar sua adaptabilidade e estabilidade de comportamento, estimar as correlações fenotípicas, genotípicas e de ambiente e determinar a divergência genética dos cultivares. Para isso, avaliaram-se os 25 cultivares mais plantados no período de 1950 a 2001. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos ao acaso, com três repetições, no ano agrícola 2001/02. Para melhorar a eficiência da determinação do ganho genético, optou-se por dividir os cultivares em grupos precoces e tardios, verificando ganhos médios em produtividade de grãos de 0,3% ao ano no grupo dos precoces e de 2,09% no dos tardios. Observou-se, também, que os cultivares mais produtivos foram os

mais estáveis e mais bem adaptados às condições do arroz de sequeiro. Os componentes que mais influenciaram o rendimento de grãos foram grãos/panícula, percentagem de esterilidade das espiguetas, peso de 1.000 grãos e índice de colheita. Os cultivares Guarani e Bico Ganga foram os mais divergentes e os Amarelão e IAC 25, os mais similares. De modo geral, pode-se dizer que o melhoramento genético do arroz de sequeiro tem sido eficiente em produzir novos cultivares de boa estabilidade e ampla adaptação às diferentes condições ambientais, mantendo-se a variabilidade genética da população.

ABSTRACT

CELI HERÁN, Roberto Evaristo, M. S., Universidade Federal de Viçosa, February 2003. **Progress and genetic diversity of dry land/non-flooded rice from 1950 to 2001.** Adviser: Moacil Alves de Souza. Committee members: Cosme Damião Cruz and Carlos Siqueyuki Sediama.

Genetic progress obtained by the enhancement of dry land rice crop was quantified, the adaptability and behavior stability evaluated, phenotypic, genotypic, and environmental correlations estimated, and the genetic cultivar divergence determined. Four field experiments were installed, where the 25 most planted cultivars in the years 1950 to 2001 were evaluated. Two experiments were carried out in Viçosa, Minas Gerais State, Brazil; one at the airport and the other at the experimental field Prof. Diogo Alves de Mello, also called Agronomia, on the Campus of the Universidade Federal de Viçosa. The other two were conducted on the rice and bean EMBRAPA farms Capivara and Palmital, in Santo Antônio de Goiás, Goiás State. A completely randomized block design was used with three repetitions, in the year 2001/2002. In order to improve the efficiency of the determination of genetic gains, the cultivars were divided in the groups early and late. The average grain yield increased 0.3% per year in the early, and 2.09% in the late cultivars. The most productive cultivars were also the most stable and best adapted to the conditions of non-flooded rice. The most influential factors on the grain yield were grain/panicle,

percentage of sterile ears, weight of a thousand grains, and harvest index. The cultivars Guarani and Bico Ganga were the most divergent and Amarelão and IAC 25 the most similar. Generally speaking, the genetic improvement of dry land rice has been efficient at spawning new cultivars with a good stability and a vast adaptation to different environmental conditions, maintaining the genetic variability of the population.

1. INTRODUÇÃO

O ecossistema de terras altas desempenhou papel de grande relevância na produção de arroz sob o sistema de cultivo de sequeiro, nas décadas de 60 a 80, em que a cultura chegou a ocupar 4,5 milhões de hectares. Devido à sua rusticidade e adaptação aos solos ácidos, foi uma alternativa altamente satisfatória para o desbravamento dos cerrados (Breseghello et al., 1998).

Certamente, por desempenhar esse papel de cultura de abertura, o arroz de sequeiro foi, por muito tempo, conduzido com pouca tecnologia e, conseqüentemente, apresentava baixa produtividade, pois os cultivares desenvolvidos até aquela época visavam, sobretudo, à rusticidade e resistência às doenças. Desde a década de 80, em decorrência do alto risco da exploração e da redução da expansão da fronteira agrícola, essa cultura no sistema de sequeiro vem decrescendo, ou seja, com um cultivo de menos de dois milhões de hectares nos últimos anos (Guimarães et al., 1999).

Segundo esses autores, a partir de 1982, com a participação de várias instituições de pesquisa, foi criado o Programa Nacional de Avaliação de Linhagens de Arroz, objetivando, especificamente, aumentar a produtividade; incorporar resistência aos estresses edafoclimáticos, priorizando o manejo integrado de pragas e doenças; eliminar, de forma racional e integrada, a ocorrência de plantas daninhas; melhorar a qualidade culinária e comercial do grão; aperfeiçoar sistemas de produção; e manejar, adequadamente, o solo e a adubação.

Em razão dessas pesquisas, foram liberados cultivares de maior potencial genético, que, utilizados em conjunto com outras tecnologias agropecuárias e mecanização, atingiram aumentos de 30,6% no rendimento médio da lavoura no Brasil, nas safras 1985/86 e 1995/96 (Yokoyama et al., 1999). Nas safras seguintes, ocorreram pequenas quedas na produção, em virtude da diminuição da área plantada, o que tornou necessário aumentar os rendimentos por unidade de área, mediante o melhoramento genético.

Com o intuito de avaliar a eficiência dos programas de melhoramento genético do arroz de sequeiro, selecionaram-se 25 cultivares mais utilizados em cultivo no período de 1950 até 2001. Os objetivos foram quantificar o progresso genético obtido pelo melhoramento na cultura do arroz de sequeiro, avaliar a adaptabilidade e estabilidade de comportamento dos cultivares, estimar as correlações fenotípicas, genotípicas e de ambiente entre caracteres e investigar a diversidade genética entre os cultivares utilizados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Interação genótipos x ambientes

A resposta diferenciada dos genótipos quando submetidos a ambientes diferentes propicia a interação genótipos x ambientes. Considerações a respeito dessa interação são essenciais para a eficiência do melhoramento de plantas. De todas as fases de um programa de melhoramento de plantas, a avaliação dos genótipos em diferentes condições ambientais representa a mais trabalhosa e a mais cara. Dessa forma, o tamanho do programa fica limitado pela capacidade de avaliação experimental do referido material (Chaves,2001).

Segundo Robertson (1959), a interação genótipos x ambientes pode ser simples e complexa. Uma interação simples é proporcionada pela diferença de variabilidade entre os genótipos nos ambientes, de forma que a posição relativa deles não seja alterada. Ela não representa problema para o melhorista, uma vez que os melhores genótipos em um ambiente também o são em outros. O outro tipo de interação, denominado complexo, ocorre pela falta de correlação no desempenho dos genótipos, de modo que apresentarão diferentes respostas às variações ambientais, causando alteração na posição relativa dos genótipos nos diversos ambientes. Essa interação dificulta o trabalho do melhorista, uma vez que o melhor genótipo em um ambiente não o será em outro.

A seleção de genótipos e populações com boa adaptação e alta produtividade em vários ambientes é um dos objetivos básicos do melhoramento de plantas. Entretanto, essa seleção é prejudicada pela presença da interação genótipos x ambientes, resultando em comportamento variável dos materiais sob diferentes condições ambientais (Bueno et al., 2001). Para reduzir essa interação, vem sendo usada, eficientemente, a estratificação de ambientes. Entretanto, observa-se que, mesmo assim, parte da interação ainda permanece, em razão da ocorrência de fatores incontroláveis dos ambientes, como temperatura, precipitações etc., contra os quais a estratificação não oferece eficácia (Cruz e Regazzi, 1997).

Em se tratando de programas de melhoramento genético, deve ser ressaltado que um dos objetivos sempre presentes é o aumento de produtividade dos cultivares gerados. A cultura do arroz de sequeiro, além de apresentar menor rendimento médio que os demais sistemas de produção (várzea úmida e irrigado), caracteriza-se por sua maior oscilação ao longo das regiões e dos anos. Essa diferença na estabilidade de rendimento é atribuída à deficiência hídrica nesse arroz durante os veranicos, cuja duração varia entre as zonas produtoras, pois se tem notado grande diferença na quantidade e distribuição da precipitação pluvial durante seu período de cultivo (Soares et al., 1987).

2.2. Adaptabilidade e estabilidade de comportamento

As metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade destinam-se à avaliação de um grupo de genótipos, testados numa série de ambientes, e deverão ser empregadas quando ocorrerem interações genótipos x ambientes significativas. Assim, esse procedimento é complementar ao da análise de variância individual e conjunta de dados experimentais resultantes de ensaios realizados em vários ambientes.

Entre as alternativas para se amenizar a influência da interação genótipos x ambientes, tem sido recomendado o emprego de cultivares com ampla adaptabilidade e boa estabilidade, termos que têm recebido as mais diversas definições. Marriott et al. (1976), citados por Soares (1992),

consideram, para o caso de produção agrícola, adaptabilidade como a capacidade dos genótipos em aproveitar vantajosamente o estímulo ambiental e estabilidade como a capacidade de os genótipos mostrarem comportamento altamente previsível.

Atualmente, há grande número de metodologias para estimar a adaptabilidade e a estabilidade de comportamento de cultivares testados em uma série de ambientes. A escolha do método de análise depende dos dados experimentais, principalmente daqueles relacionados com o número de ambientes disponíveis, da precisão requerida e do tipo de informação desejada.

A metodologia mais antiga para avaliar a adaptabilidade e estabilidade de comportamento é a tradicional, que consiste na análise conjunta dos experimentos, considerando-se todos os ambientes e o posterior desdobramento da soma de quadrados dos efeitos de ambientes e da interação genótipos x ambientes, em efeitos de ambientes dentro de cada genótipo. A variação de ambientes dentro de cada genótipo é utilizada como estimativa da estabilidade, de tal forma que o genótipo que proporcionar menor quadrado médio, nos vários ambientes, será considerado o mais estável. Esse método apresenta a vantagem de poder ser aplicado nas situações em que se dispõe de um número restrito de ambientes. Apresenta, entretanto, como desvantagem o fato de o parâmetro de estabilidade ser pouco preciso e fazer uso de um conceito de estabilidade que não é de grande interesse para o melhorista. O conceito de estabilidade de um genótipo, expresso pela mínima variância entre ambientes, tem sido pouco utilizado pelos melhoristas, possivelmente pelo fato de os genótipos que mantêm comportamento regular entre os ambientes serem, em geral, pouco produtivos. Além disso, esse conceito não é apropriado para avaliar o padrão de comportamento dos genótipos diante das variações ambientais. Essa metodologia é descrita por Cruz e Regazzi (1997).

Plaisted e Peterson (1959) desenvolveram uma metodologia que difere da tradicional pelo conceito de estabilidade adotado. Nela, quantifica-se a contribuição relativa de cada genótipo para a interação genótipos x ambientes e são identificados aqueles de maior estabilidade; também apresenta a vantagem de poder ser aplicada a um número reduzido de ambientes. Suas

desvantagens devem-se à imprecisão das estimativas do parâmetro de estabilidade, inerente a qualquer componente de variância e à falta de informações a respeito dos ambientes avaliados e do direcionamento da resposta dos cultivares à variação ambiental.

Wricke (1965) estimou a estabilidade decompondo a soma de quadrados da interação genótipos x ambientes nas partes devidas a cada genótipo isolado. Essa metodologia apresenta basicamente as mesmas vantagens e desvantagens daquela proposta por Plaisted e Peterson (1959), estando, de certa forma, inter-relacionadas, uma vez que as estimativas de estabilidade de Wricke são obtidas pela decomposição da soma de quadrados da interação genótipos x ambientes, enquanto as de Plaisted e Peterson são obtidas pela decomposição do componente de variância dessa interação.

Para Finlay e Wilkinson (1963), Allard e Bradshaw (1964) e Eberhart e Russell (1966), genótipo estável é aquele que apresenta baixa sensibilidade às variações ambientais. Várias metodologias baseadas em regressão vêm sendo propostas para avaliar a estabilidade dos genótipos (Finlay e Wilkinson, 1963; Eberhart e Russell, 1966; Verma et al., 1978; Silva e Barreto, 1985; Cruz et al., 1989).

No método de Finlay e Wilkinson (1963), foi introduzido o conceito de índice ambiental, definido como a diferença entre a média de cada ambiente e a de todos os ambientes. Com esse índice, calcula-se a regressão linear de produtividade de cada cultivar. Os dados originais sofrem uma transformação logarítmica, com a finalidade de aumentar a linearidade na regressão, e uma razoável homogeneidade nos erros experimentais. A estabilidade de um genótipo é dada em função de seu coeficiente de regressão (β), ou seja, se o valor de $\beta=0$ indica estabilidade máxima, o cultivar responde muito pouco às mudanças do ambiente; se o β for próximo de 1, associado à alta produtividade, o cultivar é considerado de boa adaptabilidade; e, se for associado à baixa produtividade, é pobremente adaptado, porém, em ambos os casos, apresenta estabilidade média. Se o β for maior que 1,0, a estabilidade é muito baixa, e o cultivar só responde a ambientes bons. Esses autores definiram o cultivar ideal com adaptabilidade geral aquele que apresenta

máximo potencial de produção no ambiente mais favorável e máxima estabilidade fenotípica.

No método de Eberhart e Russell (1966), utilizam-se os mesmos parâmetros que no de Finlay e Wilkinson (1963), diferindo basicamente quanto ao fato de que os dados não são transformados e de incluir um novo índice, a variância dos desvios da regressão. Para esses autores, o cultivar ideal é o que apresenta média alta, $\beta=1$ e desvio de regressão o menor possível.

Verma et al. (1978) consideraram que um genótipo ideal deve apresentar produtividade e estabilidade elevadas, pouca sensibilidade às condições adversas e capacidade de responder satisfatoriamente à melhoria do ambiente. A identificação desse cultivar não é possível pelas metodologias de Finlay e Wilkinson (1963) e Eberhart e Russell (1966), por isso esses autores propuseram uma técnica de regressão alternativa, utilizando duas equações de regressão: uma envolvendo ambientes desfavoráveis e, a outra, os ambientes favoráveis. O método pode ser aplicado quando os genótipos são avaliados em número elevado de ambientes, de modo a proporcionar comparações estatísticas válidas.

Silva e Barreto (1985) propuseram uma modificação na aplicação desses princípios, em que o ajustamento é obtido por uma única equação, representado por uma reta bissegmentada, para a estimação dos parâmetros de estabilidade e adaptabilidade. Posteriormente, Cruz et al. (1989) tornaram esse método mais simples operacionalmente, no que se refere à obtenção das estimativas dos parâmetros de regressão e das somas de quadrados. Nesse método modificado, os autores indicaram que o cultivar desejável seria aquele que apresenta média de produção alta, β_{1i} o menor possível, $(\beta_{1i}+\beta_{2i})$ o maior possível e a variância dos desvios da regressão próxima ou igual a zero.

Annicchiarico (1992) propôs um método em que a estabilidade e a adaptabilidade são medidas pela superioridade do genótipo com relação à média de cada ambiente. O método baseia-se na estimação de um índice de confiança de determinado genótipo mostrar comportamento relativamente superior. Consiste em expressar as médias dos genótipos como percentagem da média ambiental. Os maiores valores desse índice serão obtidos pelos

genótipos que apresentarem maior média percentual (\hat{u}_i) e menor desvio (\hat{s}_{z_i}).

Puderam ser notadas, nos últimos anos, mudanças importantes nos modelos de análise que substituem o enfoque tradicional univariado por métodos que incluem análise multivariada, no estudo e aproveitamento do fenômeno da interação genótipos com ambientes, como é o caso da análise Additive Main effects and Multiplicative Interaction (AMMI). A abordagem AMMI combina análises de variância e de componentes principais (ACP) em um único modelo, aditivo quanto aos efeitos principais de genótipos e ambientes e multiplicativo no detalhamento dos efeitos dessa interação (Duarte e Vencovsky, 1999).

Estudos de adaptabilidade e estabilidade vêm ser realizados em várias espécies: trigo (Souza, 1985), milho (Carvalho et al., 2001; Vendruscolo et al., 2001; Costa et al., 1999; Pixley e Bjarnason, 2002; Scapim et al., 2000), amendoim (Santos et al., 1999), arroz (Morais, 1980; Atroch et al., 2000; Cooper, 1999; Wade et al., 1999) e girassol (Vega et al., 2001), entre outros.

2.3. Correlação entre caracteres

Um dos objetivos básicos dos programas de melhoramento é a obtenção de genótipos mais produtivos. A produtividade é um caráter complexo e resultante da expressão e associação de diferentes componentes. O conhecimento do grau dessa associação, por meio de estudos de correlações, possibilita identificar caracteres que podem ser usados como critério de seleção indireta para a produtividade.

O conhecimento da associação entre caracteres é de grande importância nos trabalhos de melhoramento. A correlação, que pode ser diretamente mensurada a partir de medidas de dois caracteres em certo número de indivíduos da população, é a fenotípica, que tem causas genéticas e ambientais. A correlação genética é devida ao pleiotropismo e desequilíbrio de ligações gênicas, que são causas transitórias, especialmente em populações derivadas de cruzamentos entre linhagens divergentes (Falconer, 1981).

O ambiente é a causa de correlação quando dois caracteres são influenciados pelas mesmas diferenças de condições ambientais. Valores negativos dessa correlação indicam que o ambiente favorece um caráter em detrimento do outro; valores positivos indicam que os dois caracteres são beneficiados ou prejudicados pelas mesmas causas de variações ambientais (Cruz e Regazzi, 1997).

As correlações genéticas e de ambiente são, freqüentemente, muito diferentes em magnitude e, algumas vezes, em sinal. A diferença em sinal entre as duas correlações indica que as causas de variações genética e de ambiente afetam os caracteres, por meio de diferentes mecanismos fisiológicos (Falconer, 1981).

2.4. Ganhos genéticos

O aumento da produção de alimentos depende da manipulação das características genéticas das diferentes espécies vegetais (Borém, 2001). A seleção natural é um processo antigo, mas o melhoramento vegetal, por meio de técnicas científicas, é relativamente recente. O desenvolvimento de novos cultivares, por meio do melhoramento de plantas, tem sido a base de sustentação da agricultura moderna (Bueno et al., 2001)

A produtividade agrícola envolve muitos fatores, e os pesquisadores devem estar aptos para separar a contribuição do melhoramento genético daquela devida às mudanças favoráveis no ambiente natural ou manipulado pelo homem. Muitos fatores interagem na produção de uma cultura, a exemplo de clima, solo, práticas agrícolas e escolha do cultivar (Queiroz, 2001). O potencial produtivo dos cultivares de algumas espécies vem aumentando ao longo dos tempos, entretanto outros fatores que afetam a produção também são alterados, como o uso de fertilizantes e pesticidas, melhores máquinas de plantio e colheita (Bueno et al., 2001).

O melhoramento genético tem papel fundamental na viabilização das culturas, mediante o desenvolvimento de cultivares adaptados a cada região (Fornasieri filho e Fornasieri, 1993). A avaliação da eficiência de um programa de melhoramento tem como alvo a definição das estratégias a serem seguidas, a fim de que cada unidade de recursos investidos resulte no máximo ganho

possível. Para estimar essa eficiência, diversos trabalhos foram feitos com o objetivo de determinar o ganho genético obtido pelos programas de melhoramento, sendo eles apresentados nos tópicos subseqüentes.

O progresso genético obtido pelo programa de melhoramento de arroz irrigado desenvolvido em Minas Gerais (Santos et al.,1997), no período de 1974 a 1996, foi de 6,06% na primeira fase, compreendida entre os anos agrícolas 1974/76 e 1979/80, e de 0,25% na segunda fase, representada pelos anos agrícolas 1980/81 a 1995/96. As diferenças encontradas entre os dois períodos estão na primeira fase, pois inúmeros cultivares do grupo tradicional participaram do programa e, após serem substituídos por genótipos melhorados, implicaram ganhos menores, ou quase nulos, na segunda fase. Além disso, nesta fase houve maior necessidade de se considerar como objetivo maior do programa a seleção para outras características além da produção de grãos, como qualidade de grãos e resistência às enfermidades.

O ganho genético obtido pelo programa de melhoramento de arroz de sequeiro desenvolvido em Minas Gerais, no período de 1974/75 a 1994/95, foi de 1,26% ao ano nos cultivares precoces e de 3,37% ao ano nos genótipos de ciclo médio (Soares et al., 1999). O arroz irrigado desenvolvido no meio-norte do Brasil obteve ganho genético anual de 0,3% no período de 1983–1987 (Rangel et al., 2000). Ganhos genéticos anuais de 3,02% na produtividade do arroz de várzea úmida no Estado do Amapá foram estimados por Atroch et al. (2000). Bresghello et al. (1999) indicam que o ganho genético para rendimento de grãos do arroz irrigado no Nordeste do Brasil, no período compreendido entre os anos de 1984 e 1993, foi baixo devido, em grande parte, ao fato de o melhoramento genético ter sido direcionado para a obtenção de cultivares com melhor qualidade de grãos, em que se alcançaram ganhos genéticos consideráveis.

Em sorgo granífero, no Brasil, houve na produtividade de grãos ganhos, em média, de 1,5% ao ano, no período de 1974 a 1978 (Rodrigues, 1990). Miller e Kebede (1984), citados por Rodrigues (1990), estimaram em cerca de 39% o ganho genético para rendimento de grãos do sorgo, no período de 24 anos (1956 a 1980).

Avaliando o ganho genético de novos cultivares de trigo, Nedel (1994) encontrou que o rendimento de grãos dos cultivares novos foi substancialmente

maior do que os dos cultivares mais antigos, pois foram obtidos incrementos de 17,3 kg/ha/ano, no período de 1940 a 1992. Mellado (2000), avaliando os cultivares obtidos em diferentes períodos pelo Programa de Melhoramento Genético do Trigo desenvolvido no Chile, não constatou ganhos genéticos para a produção de grãos. Segundo esse autor, a substituição dos cultivares em geral foi devida, principalmente, à melhor sanidade dos novos cultivares quando lançados ao mercado, o que lhes conferia, comparativamente, maior rendimento com respeito às variedades mais antigas.

Comparando cultivares de feijoeiro desenvolvidos na década de 60 com os obtidos mais recentemente (década de 90), Alves et al. (2001) observaram que a produtividade de grãos dos cultivares oriundos da década de 90 foram 12% mais produtivos que os daquela. Lange (2001), avaliando o progresso genético para rendimento de grãos da soja em 20 anos de melhoramento no Rio Grande do Sul, encontrou ganhos de 1% ao ano.

Em milho, o melhoramento genético provocou alterações nas características agronômicas das plantas, originando vegetais mais precoces e produtivos, o que permite o aumento de sua eficiência de produção (Borges, 1990).

2.5. Diversidade genética

Os estudos a respeito da diversidade genética apresentam grande relevância no melhoramento de plantas, por fornecerem parâmetros para identificação de genitores que, quando cruzados, possibilitam o aparecimento de cultivares superiores, além de facilitarem o conhecimento da base genética da população. Segundo Falconer (1981), a variabilidade genética de uma população segregante depende da diversidade genética entre os pais envolvidos nos cruzamentos.

No estudo da diversidade genética, o grau de dissimilaridade entre os indivíduos dentro ou entre espécies, ou entre genótipos dentro de uma população melhorada, pode ser estimado por meio de técnicas multivariadas, como: análise de componentes principais, variáveis canônicas e análise de agrupamento (Cruz e Regazzi, 1997). Nesse contexto, a utilização da teoria da análise multivariada tem-se mostrado promissora, pois permite combinar todas

as informações contidas na unidade experimental, de modo que as inferências sejam fundamentadas em um complexo de variáveis (Ferrão et al., 2002). Conforme Cruz e Regazzi (1997), a análise multivariada é um processo alternativo para a avaliação do grau de similaridade genética entre tratamentos, cujo princípio consiste em resumir um grande número de características em outro menor, facilitando as análises dos dados. Permite, também, conhecer a similaridade entre os indivíduos, por meio de suas distâncias ou de sua dispersão gráfica no espaço bi ou tridimensional, e avaliar a importância de cada variável para a variação total observada entre as unidades amostrais, possibilitando a eliminação das que pouco contribuem para essa variação.

Muitos trabalhos de melhoramento vegetal vêm empregando técnicas multivariadas no estudo da diversidade genética, como o de Cruz (1990) e Fuzatto et al. (2002), em milho; Morais (1992) e Pereira (1999), em arroz; Vidigal et al. (1997), em mandioca; Coimbra e Carvalho (1998), Ferrão et al. (2002) e Machado et al. (2002), em feijão; Naoe et al. (2001), em soja; e Reis et al. (2001), em trigo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Cultivares, implantação e condução dos experimentos

Para a realização deste trabalho, foram utilizados 25 cultivares melhorados, desenvolvidos pelos programas de melhoramento genético do arroz de sequeiro do Brasil, durante o período compreendido entre 1950 e 2001. Foram selecionados os cultivares mais representativos por década de estudo, ou seja, aqueles mais utilizados em lavouras (Tabela 1).

Instalaram-se quatro experimentos de campo, nas localidades denominadas Aeroporto e Campo Experimental Prof. Diogo Alves de Mello, também conhecido como Agronomia, no “Campus” da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG; e nas Fazendas Capivara e Palmital, pertencentes à EMBRAPA Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás, GO. Os dados da precipitação pluvial por decêndios e análises de solo são apresentados nas Tabelas 2 e 3. Os experimentos foram conduzidos no delineamento de blocos ao acaso, com três repetições de 25 tratamentos cada. A parcela experimental foi constituída de cinco fileiras de 5,0 m de comprimento e espaçadas 0,5 m entre si (12,5 m²), das quais as três linhas centrais foram consideradas como área útil na colheita, eliminando-se 0,5 m em suas extremidades (6 m²).

No preparo do solo foram utilizadas, em geral, as práticas convencionais de uma aração e uma ou duas gradagens, de acordo com as necessidades do terreno, com exceção da Fazenda Capivara, onde foi efetuado o plantio direto.

Tabela 1 – Genealogia e década de utilização dos cultivares de arroz em estudo

Cultivar	Cruzamento	Década
Pratão	CULTIVAR TRADICIONAL	Antes 1960
Pérola	CULTIVAR TRADICIONAL	"
Amarelão	CULTIVAR TRADICIONAL	"
Bico Ganga	CULTIVAR TRADICIONAL	"
Batatais	CULTIVAR TRADICIONAL	"
Dourado Precoce	SELEÇÃO MASSAL DO DOURADÃO	60-70
Pratão Precoce	SELEÇÃO MASSAL DO PRATÃO	"
IAC 1246	PRATÃO/PÉROLA	"
IAC 25	DOURADO PRECOCE/IAC 1246	70-80
IAC 47	IAC 1246/IAC 1391	"
IAC 165	DOURADO PRECOCE/IAC 1246	"
IAPAR 9	IAC F-3-7/BATATAIS	80-90
Rio Paranaíba	IAC 47/63-83	"
Guarani	IAC 25/63-83	"
Araguaia	IAC 47/TOS 2578/7-4-2-3-B2	"
Xingu	IAC 47/IRAT 13	"
Caiapó	IRAT 13/BEIRA CAMPO//CNAx104/PÉROLA	90-2000
Canastra	TOX 939-107-2-101-1B/(COLOMBIA 1xM 312A)//TOX 1780-2-1-1P-4	"
Primavera	IRAT 10/LS 85-158	"
IAC 202	LEBONET/IAC25	"
Carajás	REM 293-B/IAC 81-176	"
Bonança	CT 7244-9-2-1-52-1/CT 7232-5-3-7-2-1P//CT 6196-33-11-1-3-AP	Depois 2000
Carisma	CT 72244-9-1-5-3/CT 6196-33-11-1-3//CT 6946-2-5-3-3-2-M	"
CNA 8711 (BRS SOBERANA)	CUIABANA/CNAx 1235-8-3//CNA 6673	"
CNA 8983	KEYBONNET/CNA 7119	"

Tabela 2 – Precipitação pluvial (mm), por decênio, ocorrida nas localidades Aeroporto e Campo Experimental Prof. Diogo Alves de Mello, da UFV, em Viçosa (MG), e Fazendas Capivara e Palmital, da EMBRAPA Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás (GO), no período de novembro de 2001 a abril de 2002

Local	Decênio	Mês					
		Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril
Aeroporto e Agronomia/UFV *	1	85,0	76,7	45,6	162,2	48,9	1,8
	2	125,5	66,5	145,0	32,3	9,3	0,0
	3	21,0	75,1	79,5	82,3	40,3	0,0
Fazenda Capivara/EMBRAPA	1	115,9	38,6	32,3	105,6	12,5	22,5
	2	84,0	32,1	141,4	114,1	53,3	12,2
	3	67,9	91,3	42,5	29,0	110,1	0,0
Fazenda Palmital/EMBRAPA	1	72,4	97,0	101,5	90,8	15,3	10,2
	2	104,7	29,4	204,3	138,6	50,8	2,5
	3	71,2	83,3	19,6	25,8	120,8	1,2

* Dados obtidos do posto meteorológico da Universidade Federal de Viçosa.

Tabela 3 – Resultados da análise química do solo dos locais onde foram instalados os ensaios de arroz, em 2001/02

Local	Análise Química					
	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	P	K
	H ₂ O	Cmol/dm ³			mg/dm ³	
Agronomia	5,86	3,37	0,72	0,00	34,15	140,00
Aeroporto	5,35	1,82	0,96	0,12	3,60	65,00
Fazenda Palmital	6,30	27,00	10,90	0,00	4,40	114,00
Fazenda Capivara	5,40	11,70	3,70	2,00	3,20	86,00

A semeadura foi feita na primeira quinzena de dezembro de 2001, em todas as localidades, colocando-se entre 55 e 60 sementes por metro de sulco. Na adubação de semeadura, utilizaram-se 400 kg/ha da fórmula 4-14-8, e aos 40 dias, como adubação de cobertura, foram aplicados 40 kg/ha de nitrogênio, utilizando-se como fonte o sulfato de amônio. O controle de plantas daninhas foi realizado mediante capinas manuais, em número variável de acordo com a necessidade de cada localidade, mantendo sempre as plantas de arroz livres da concorrência das invasoras. Com o objetivo de determinar a suscetibilidade ou tolerância dos cultivares às enfermidades, não se efetuou o controle de doenças em nenhuma das localidades. Quanto às pragas, detectou-se a incidência de *Spodoptera frugiperda* no ensaio da Agronomia, a qual foi controlada com uma pulverização de Chlorpyrifós, na dosagem de 750 mL/ha. As parcelas foram colhidas, manualmente, em função do ciclo de cada cultivar, cujos grãos já trilhados foram secados até atingirem 13% de umidade e, em seguida, beneficiados para a eliminação das impurezas e posterior pesagem.

3.2. Características avaliadas

Avaliaram-se nas três fileiras centrais, ou seja, na área útil das parcelas, a produção de grãos por parcela, a altura das plantas na maturação e o número de dias para o florescimento, nos ensaios de Viçosa e de Santo Antônio de Goiás. Outras características, como estande inicial, estande final, perfilhamento útil, comprimento e largura da folha-bandeira, número de espiguetas por panícula, percentagem de espiguetas estéreis por panícula, peso de 1.000 grãos e índice de colheita, foram avaliadas somente nos ensaios de Viçosa.

Estande inicial – Esta característica, equivalente ao número inicial de plantas por parcela, foi determinada pela contagem do número de plantas em 3,0 m de uma das linhas, da parcela útil, após a emergência e antes do perfilhamento.

Estande final – Equivalente ao número de panículas por parcela útil, esta característica foi determinada por meio da contagem das panículas no estádio

de maturação, nos mesmos 3,0 m da linha da parcela útil onde se determinou o estande inicial.

Perfilhamento útil (PU) – Os dados deste foram obtidos pela divisão do número de panículas do estande final, no estágio de maturação, pelo número de plântulas avaliadas no estande inicial.

Número de dias para o florescimento (DAF) – Corresponde ao número de dias transcorridos entre a emergência das plântulas e o momento em que 50% das panículas da unidade experimental atingiram a floração.

Comprimento e largura da folha-bandeira – Os dados foram obtidos após o florescimento das plantas, para o que se procedeu à medição do comprimento e largura, no primeiro terço, da folha-bandeira de 10 plantas, tomadas ao acaso, da área útil de cada unidade experimental.

Altura da planta na maturação (APM) – Refere-se ao comprimento médio de cinco plantas tomadas ao acaso, medidas após o florescimento, desde a superfície do solo até a extremidade da panícula do colmo mais alto, sem considerar as aristas.

Número de espiguetas por panícula (NEP) – No momento da colheita foram colhidas 10 panículas ao acaso dentro da área útil de cada tratamento, efetuando-se logo a contagem do número total de espiguetas cheias e vazias; posteriormente, obteve-se a média das 10 observações.

Porcentagem de espiguetas estéreis por panícula (PEE) – Nas mesmas panículas utilizadas anteriormente, foi registrado o número médio de espiguetas vazias, relacionando-as com o número médio total daquelas das 10 observações, sendo expresso em porcentagem.

Peso de 1.000 grãos (PMG) – Refere-se ao peso de 1.000 grãos, em gramas, secos e limpos, obtidos das 10 panículas utilizadas anteriormente. Para a

determinação desta característica, utilizou-se uma balança com precisão de um centigrama.

Índice de colheita (IC) – Para obter o índice de colheita, utilizou-se 1,0 m do sulco das linhas da parcela útil, no qual foi determinada a relação entre o peso de grãos e o peso da matéria seca total da planta. A coleta da amostra foi feita ceifando-se as plantas ao nível do solo. Depois da debulha, os grãos foram submetidos à secagem em estufa durante 72 horas, a 70 °C, para atingir a umidade zero.

Produção de grãos da parcela útil total (PGP) – Os dados foram obtidos pela pesagem, em balança com precisão de um centigrama, de todos os grãos da parcela útil, após a limpeza e a secagem uniforme ao sol, a fim de conseguir uma homogeneização da umidade em torno de 13%. Os pesos dos grãos das parcelas foram expressos em kg/ha.

3.3. Análise dos dados

Inicialmente, procedeu-se à análise de variância por experimento, com o objetivo principal de estimar a variância residual de cada ensaio para posterior utilização no teste de homogeneidade. Consideraram-se como fixos a média e o efeito de cultivares, enquanto os demais efeitos foram estimados como aleatórios, conforme o modelo estatístico:

$Y_{ij} = \mu + b_j + c_i + e_{ij}$, em que Y_{ij} é o valor observado do cultivar i no bloco j ; μ , a média geral; b_j , o efeito do bloco j ($j = 1, 2$ e 3); c_i , o efeito do cultivar i ($i = 1, 2, \dots, 25$); e e_{ij} , o erro experimental, com $e_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

A análise de variância conjunta foi efetuada para todas as características avaliadas em pelo menos dois locais. Consideraram-se fixas a média geral e os efeitos de cultivares, enquanto os demais efeitos, como aleatórios, conforme o modelo:

$Y_{ijk} = \mu + c_i + a_k + b_{(k)j} + (ca)_{ik} + e_{kij}$, em que Y_{ijk} é a observação do cultivar i no bloco j , no local k ; μ , a média geral; c_i , o efeito do cultivar i ($i = 1, 2, 3, \dots, 25$); a_k , o efeito do local k ($k = 1, 2, 3$ e 4); $b_{(k)j}$, o efeito do bloco j dentro do local k

(j= 1, 2 e 3); $(ca)_{ik}$, o efeito da interação cultivares i e locais k; e e_{kij} , o erro experimental do i-ésimo cultivar, no k-ésimo local e na j-ésima repetição.

O modelo considerado obedeceu às seguintes pressuposições:

$$\sum c_i = 0$$

$$E(a_j) = E(b_{(k)j}) = E(ca_{ik}) = E(e_{ijk}) = 0$$

$$E(a_j^2) = \sigma_a^2, \quad E(b_{(k)j}^2) = \sigma_b^2, \quad E(ca_{ik}) = \sigma_{ca}^2, \quad E(e_{ijk}^2) = \sigma_e^2$$

$$a_j \sim \text{NID}(0, \sigma_a^2), \quad b_{(k)j} \sim \text{NID}(0, \sigma_b^2), \quad ca_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma_{ca}^2), \quad e_{ijk} \sim \text{NID}(0, \sigma_e^2)$$

A análise de variância conjunta teve como objetivo principal verificar a magnitude da interação dos cultivares com o ambiente. A significância dos efeitos foi avaliada, utilizando-se o teste F. Para o agrupamento das médias dos cultivares, empregou-se o método de Scott e Knott (1974).

3.3.1. Estimação da interação genótipos x ambientes

Esta interação ocorre quando há respostas diferenciais dos genótipos em relação à variação do ambiente. Sua existência está associada a dois fatores: o primeiro, denominado simples, é proporcionado pela diferença entre genótipos nos ambientes; e o segundo, denominado complexo, é dado pela falta de correlação entre genótipos avaliados em ambientes diferentes. A interação atribuída a esta última causa é a que proporciona dificuldades no melhoramento. Para a determinação das interações simples e complexa, foi utilizada a metodologia proposta por Cruz e Castoldi (1991).

3.3.2. Estimação da adaptabilidade e estabilidade

Para estimar os parâmetros indicadores da adaptabilidade e da estabilidade de comportamento dos cultivares, seguiu-se a metodologia proposta por Annicchiarico (1992). Nesse método, a estabilidade é medida pela superioridade do genótipo com relação à média de cada ambiente. O método baseia-se na estimação de um índice de confiança de determinado genótipo

mostrar comportamento relativamente superior. Para a obtenção desse índice, considera-se:

Y_{ij} = média do i-ésimo cultivar no j-ésimo ambiente; e

\bar{Y}_j = média do j-ésimo ambiente.

São obtidos os valores percentuais para cada cultivar, conforme descrito a seguir:

$$Z_{ij} = \frac{100Y_{ij}}{\bar{Y}_j}$$

A partir desses valores são obtidas as medidas de adaptabilidade e estabilidade, dadas por:

$$\omega_i = \hat{u}_i - Z_{(1-\alpha)} \hat{s}_{Z_i}$$

em que ω_i representa o índice de confiança. Os maiores valores desse índice serão obtidos pelos cultivares que apresentarem maior média percentual (\hat{u}_i) e menor desvio \hat{s}_{Z_i} .

Essas estatísticas são assim descritas:

– Média relativa

$$\hat{u}_{i(g)} = \frac{\sum_{j=1}^a Z_{ij}}{a} \text{ refere-se à média do genótipo, considerando-se todos os}$$

ambientes (a= número de ambientes);

$$\hat{u}_{i(f)} = \frac{\sum_{j=1}^f Z_{ij}}{f} \text{ refere-se à média do genótipo, considerando-se}$$

apenas os ambientes favoráveis (f= número de ambientes favoráveis); e

$$\hat{u}_{i(d)} = \frac{\sum_{j=1}^d Z_{ij}}{d} \text{ refere-se à média do genótipo, considerando-se apenas os}$$

ambientes desfavoráveis (d= número de ambientes desfavoráveis).

– Desvio relativo

$\hat{s}_{Z_i(g)}$ = desvio-padrão dos valores Z_{ij} , do i-ésimo genótipo, considerando-se seu comportamento em todos os ambientes;

$\hat{s}_{Z_i(f)}$ = desvio-padrão dos valores Z_{ij} , do i-ésimo genótipo, considerando-se seu comportamento apenas nos ambientes favoráveis; e

$\hat{s}_{Z_i(d)}$ = desvio-padrão dos valores Z_{ij} , do i-ésimo genótipo, considerando-se seu comportamento apenas nos ambientes desfavoráveis.

– Índice de recomendação

$\omega_i = \hat{u}_{i(g)} - Z_{(1-\alpha)} \hat{s}_{Z_i(g)}$, considerando-se todos os ambientes;

$\omega_i = \hat{u}_{i(f)} - Z_{(1-\alpha)} \hat{s}_{Z_i(f)}$, considerando-se apenas os ambientes favoráveis; e

$\omega_i = \hat{u}_{i(d)} - Z_{(1-\alpha)} \hat{s}_{Z_i(d)}$, considerando-se apenas os ambientes desfavoráveis, sendo $Z_{(1-\alpha)}$ o percentil da função de distribuição normal padrão, para a qual a função de distribuição acumulada atinge o valor $1-\alpha$.

3.3.3. Estimação das correlações entre caracteres

A medida da correlação entre duas variáveis, x e y, é obtida pelo estimador do coeficiente de correlação, o qual é fornecido pela divisão do estimador da covariância entre x e y e pela raiz quadrada do produto dos estimadores das variâncias de x e y, ou seja,

$$r_{xy} = \frac{C\hat{O}V(x, y)}{\sqrt{\hat{V}(x) \cdot \hat{V}(y)}}$$

Para a obtenção dos coeficientes de correlações fenotípica, genotípica e de ambiente, entre todos os pares de características estudados neste trabalho, calcularam-se os estimadores das variâncias e covariâncias como apresentado por Soares et al. (1987). Tais medidas de correlação foram estimadas somente nos ensaios de Viçosa.

Estimador do coeficiente de correlação fenotípica (r_F)

$$r_F = \frac{C\hat{O}V_F(x, y)}{\sqrt{\hat{V}_F(x) \cdot \hat{V}_F(y)}}, \text{ em que } C\hat{O}V_F(x, y) = \text{estimador da covariância}$$

fenotípica dos caracteres x e y; e $\hat{V}_F(x)$ e $\hat{V}_F(y)$ = estimadores das variâncias fenotípicas dos caracteres x e y, respectivamente.

Estimador do coeficiente de correlação genotípica (r_G)

$$r_G = \frac{C\hat{O}V_G(x, y)}{\sqrt{\hat{f}_G(x) \cdot \hat{f}_G(y)}}, \text{ em que } C\hat{O}V_G(x, y) = \text{estimador da covariância}$$

genotípica dos caracteres x e y; e $\hat{f}_G(x)$ = estimador do componente quadrático que expressa a variabilidade genotípica do caráter x, obtido por:

$$\hat{f}_{Gx} = \frac{[\hat{V}_F(x) - \hat{V}_E(x)]}{r}, \text{ em que } \hat{V}_E(x) = \text{quadrado médio do erro do caráter}$$

x; r = número de repetições; e $\hat{f}_{G(y)}$ = estimador do componente quadrático que explica a variabilidade genotípica do caráter y, obtido por:

$$\hat{f}_{Gy} = \frac{[\hat{V}_F(y) - \hat{V}_E(y)]}{r}$$

sendo $\hat{V}_E(y)$ = quadrado médio do erro do caráter y.

Estimador do coeficiente de correlação de ambiente (r_A)

$$r_A = \frac{C\hat{O}V_A(x, y)}{\sqrt{\hat{V}_A(x) \cdot \hat{V}_A(y)}}, \text{ em que } C\hat{O}V_A(x, y) = \text{estimador da covariância do}$$

erro dos caracteres x e y; e $\hat{V}_A(x)$ e $\hat{V}_A(y)$ = estimadores das variâncias dos caracteres x e y, respectivamente.

3.3.4. Ganhos genéticos

Para a obtenção da estimativa do progresso genético do rendimento de grãos e das características dias para floração e altura de plantas, foi realizada a regressão linear das médias das variedades por década de utilização, com procedimentos semelhantes aos utilizados por Neto et al. (2000), Mellado (2000) e Alves et al. (2001).

3.3.5. Divergência genética

Para quantificar a divergência genética entre cultivares, foi utilizada a distância de Mahalanobis ($D^2_{ii'}$), que considera a correlação residual entre os caracteres. Seja X_{ijk} observações feitas na j -ésima característica ($j= 1,2,\dots,p$) do i -ésimo cultivar ($i=1, 2,\dots,n$) na k -ésima repetição ($k = 1, 2,\dots,r$); então, a estatística $D^2_{ii'}$ de Mahalanobis pode ser obtida pela expressão:

$D^2_{ii'} = \mathbf{d} \mathbf{E}^{-1} \mathbf{d}$, em que \mathbf{d} = vetor de elementos d_i , representando a diferença entre médias dos \mathbf{d} indivíduos i e i' , para cada característica j ; $\mathbf{d} = [d_1, d_2 \dots, d_p]$; \mathbf{E} = matriz de variâncias e covariâncias residuais (matriz de dispersão), comum a todas as unidades amostrais, constituída pelos quadrados médios e pelos produtos médios residuais das características avaliadas. Outra forma de se obter $D^2_{ii'}$ é pelo procedimento da condensação pivotal, o que evita a inversão da matriz de dispersão. Nesse caso, a distância é expressa em termos das somas de quadrados das diferenças dos valores médios transformados das características dos pares de indivíduos.

$$D^2_{ii'} = \sum_{j=1}^p (Z_{ij} - Z_{i'j})^2, \text{ em que } Z_j \text{ são as médias das variáveis não}$$

correlacionadas e padronizadas pelo processo de condensação pivotal.

Na delimitação dos grupos, utilizaram-se a técnica de otimização proposta por Tocher e o método hierárquico do vizinho mais próximo, citados por Cruz e Regazzi (1997).

Todos os procedimentos da análise estatística dos dados experimentais foram realizados com o Programa Genes (Cruz, 2001).

4. RESULTADOS

4.1. Análise de variância e interação genótipos x ambientes

Para a análise de variância foi feita a decomposição do efeito de cultivares em precoces (floração até 90 dias), tardios (floração acima de 90 dias) e o contraste entre os dois grupos. Tal procedimento se deveu ao fato de o arroz de sequeiro ser totalmente dependente das chuvas, que, como ocorrem irregularmente, podem favorecer ou prejudicar mais intensamente um desses grupos de cultivares.

Os resultados das análises de variância por local dos caracteres avaliados neste trabalho, com as respectivas médias e coeficientes de variação, encontram-se na Tabela 4. Assim, nas Tabelas 5 e 6 também são apresentados os resultados da análise de variância conjunta das características avaliadas em pelo menos dois locais. Todas as características avaliadas apresentaram homogeneidade de variância do erro, portanto a análise conjunta foi feita sem qualquer restrição. Verificaram-se efeitos significativos ($p \leq 0,01$) de cultivares, de locais e da interação cultivares x locais em todas as características estudadas, com exceção de estande final, que não apresentou diferenças significativas entre as variedades estudadas.

Tabela 4 – Análises de variância por local de várias características agrônômicas do arroz, nos ensaios instalados no Aeroporto e na Agronomia, em Viçosa, MG, e nas Fazendas Capivara e Palmital, em Santo Antônio de Goiás, GO, em 2001/02

Local e Caráter	Cultivares	Precoces (P)	Tardios (T)	P vs. T	Resíduo	Médias	CV (%)
	QM(GL=24)	QM(GL=12)	QM(GL=11)	QM(GL=1)	QM(GL=48)		
Aeroporto							
Produção (kg/ha)	5.141.809,11**	1.187.973,09 *	7.969.594,26**	21.482.204,75**	386.447,18	5.386,00	11,54
Grãos/panicula	3716,50**	3.390,62**	4.325,57**	894,52ns	244,41	204,67	7,64
% espiguetas estéreis	196,81**	130,02**	109,63**	1.597,35**	24,66	19,71	25,19
Floração (dias)	313,89**	50,05**	97,16**	5.863,97**	10,52	92,21	3,52
Altura de planta (cm)	677,62**	757,91**	607,69**	483,32**	61,14	136,25	5,74
Estande inicial	687,81**	304,81 ns	1.160,15**	88,05ns	244,32	118,59	13,18
Estande final	6.720,21**	4.055,45**	7.898,67**	5.734,35**	899,39	281,72	10,65
Perfilhamento útil	1,46**	0,28 ns	2,47**	4,47**	0,23	2,47	19,51
Peso de 1.000 grãos (g)	50,01**	68,63**	27,33**	75,97**	0,72	30,49	2,77
Índice de colheita	0,026**	0,005**	0,031**	0,231**	0,001	0,44	8,53
Largura da folha	8,64**	6,73**	11,46**	0,62ns	1,01	20,26	4,97
Comprimento da folha	32,80**	30,47**	37,20**	12,42ns	7,97	36,58	7,72
Agronomia							
Produção (kg/ha)	940.709,87**	864.871,80ns	1.014.668,88*	1.037.217,25ns	414.307,25	3583,00	17,96
Grãos/panicula	2.481,98**	2.972,09**	1.944,94**	2.508,12**	322,20	185,52	9,68
% espiguetas estéreis	90,23**	90,69**	51,70**	508,55**	11,56	14,85	22,89
Floração (dias)	201,64**	60,08**	26,23**	3.829,88**	3,34	91,84	1,99
Altura de planta (cm)	779,25**	577,86**	1.069,36**	4,64ns	63,34	110,21	7,22
Peso de 1.000 grãos (g)	44,89**	58,73 *	31,86**	22,06**	0,86	31,21	2,98
Estande inicial	938,99**	339,72ns	1.675,79**	25,48ns	243,85	94,56	16,51
Estande final	1.964,50ns	2.388,97ns	1.649,94ns	331,03ns	1.466,23	206,15	18,57
Perfilhamento útil	1,04**	0,32ns	1,87**	0,60ns	0,19	2,28	19,07
Capivara							
Produção (kg/ha)	1.934.426,39**	988.638,86**	733.050,09**	26.499.016,2**	183.911,61	1.450	29,58
Floração (dias)	383,37**	56,00**	79,41**	7.655,32**	3,99	88,37	2,26
Altura de planta (cm)	374,50**	344,20**	359,28**	905,56**	43,89	106,19	6,24
Palmital							
Produção (kg/ha)	2.642.582,69**	655.648,18ns	1.388.088,93**	40.285.228,34**	364.602,12	2.636	22,91
Altura de planta (cm)	516,85**	320,14**	778,39**	0,46 ns	75,97	104,95	8,31

*e** significativos a 5 e 1% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

Tabela 5 – Análise de variância conjunta da produção de grãos (kg/ha), altura de planta (cm) e floração (dias) do arroz, nos ensaios instalados no Aeroporto e na Agronomia, em Viçosa, MG, e nas Fazendas Capivara e Palmital, em Santo Antônio de Goiás, GO, em 2001/02

FV	GL	QM		GL	QM
		Produção	Altura		Floração
Blocos/ambientes	8	1.174.099,737**	130,203**	6	3,003ns
Cultivares	24	2.148.152,360**	595,080**	24	284,480**
Entre precoces	12	665.448,730**	471,810**	12	47,030**
Entre tardias	11	1.764.609,980 *	771,380**	11	55,660**
Precoces vs. tardias	1	24.159.562,280 *	134,960 ns	1	5.651,000**
Locais	3	69.004.962,060**	5.462,280**	2	114,890**
Locais x cultivares	72	468.399,750**	60,960**	48	6,740**
Locais x precoces	36	191.481,920 *	60,040**	24	3,440 *
Locais x tardias	33	645.532,080**	56,940**	22	6,130**
Locais x grupos	3	1.842.958,040**	116,090**	2	52,970**
Resíduo médio	192	112.439,000	20,360	144	1,980
Média		3260	114		91
CV (%)		20,99	6,83		2,86

*e** significativos a 5 e 1% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

Tabela 6 – Análise de variância conjunta de grãos/panícula (GPP), % de espiguetas vazias (PGV), peso de 1.000 grãos (PMG), estande inicial (EI) (plântulas/3 m), estande final (EF) (panículas/3 m) e perfilhamento útil (PU) do arroz, nos ensaios instalados no Aeroporto e na Agronomia, em Viçosa, MG, em 2001/02

FV	GL	QM					
		GPP	PGV	PEE	EI	EF	PU
Blocos/ambientes	4	426,6**	23,2**	0,6ns	205,8*	1.368,9*	0,205*
Cultivares	24	1.889,9**	80,2**	31,1**	393,4 *	1.490,3ns	0,66**
Entre precoces	12	1.986,2**	70,0**	42,2**	169,2 *	1.404,0ns	0,11ns
Entre tardias	11	1.858,6**	39,4ns	9,1**	673,5ns	1.237,1ns	1,19**
Precoces vs. tardias	1	1.078,9ns	651,3ns	30,0ns	2,8ns	5.310,5ns	1,39ns
Locais	1	4.531,5*	295,5*	6,3*	7.272,2**	71.366,4**	0,44ns
Locais x cultivares	24	179,3 *	15,4**	0,5**	147,8 *	1.403,8**	0,17**
Locais x precoces	12	146,5ns	13,5 *	0,2ns	43,8ns	742,8 *	0,08ns
Locais x tardias	11	225,2 *	14,3 *	0,6**	270,9**	1.945,4**	0,25**
Locais x grupos	1	69,6ns	50,5**	2,7**	40,3ns	3.376,6**	0,30 *
Resíduo médio	96	94,4	6,0	0,3	81,4	394,3	0,07
Média		195	17,28	30,85	107	244	2,38
CV (%)		6,87	22,77	2,35	11,41	15,36	17,38

*e** significativos a 5 e 1% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

A interação cultivares x ambientes significativa ($p < 0,05$) encontrada em todas as características avaliadas, com exceção do perfilhamento útil, evidencia que os cultivares tiveram comportamentos diferenciados diante das variações ambientais. Portanto, os resultados do comportamento dos cultivares obtidos da análise conjunta não podem ser generalizados, sendo necessário sua análise por local.

Para a característica produção de grãos, verificou-se efeito significativo de cultivares precoces no Aeroporto e na Fazenda Capivara, enquanto nos cultivares tardios houve efeitos significativos em todos os locais avaliados (Tabela 7). Isso evidencia a ampla variabilidade genética entre os cultivares avaliados para essa característica. Os coeficientes de variação variaram de 11,54% no Aeroporto a 29,58% na Fazenda Capivara. O elevado coeficiente de variação encontrado na Fazenda Capivara deveu-se à alta incidência de cupim apresentada neste ensaio, o que provocou baixa precisão do experimento (Tabela 4).

A maior média de produção de grãos foi obtida no ensaio do Aeroporto, com 5.386 kg/ha, e a menor média o foi no ensaio da Fazenda Capivara, com 1.450 kg/ha (Tabela 7). As diferenças encontradas entre as médias de produção de grãos nos locais avaliados indicam que o ambiente influenciou o potencial de produção dos cultivares. Comparando os grupos precoces e tardios, notaram-se vantagens significativas das precoces em três locais, com a ressalva de que no ensaio da Agronomia os cultivares precoces e tardios apresentaram, em média, produções semelhantes.

Pela análise da variância da altura de planta (Tabela 4), também detectaram-se efeitos significativos dos cultivares ($p \leq 0,01$) em todos os ensaios. Os coeficientes de variação para esta característica variaram de 5,74% no Aeroporto a 8,31% na Fazenda Palmital, indicando boa precisão experimental. A menor média (105 cm) da altura de planta foi observada na Fazenda Palmital e a maior (137 cm), no Aeroporto (Tabela 8). Tanto no grupo precoce quanto no tardio, os efeitos de cultivares foram altamente significativos em todos os locais, evidenciando-se alta variabilidade genética dos cultivares quanto à altura de plantas. O contraste precoce vs. tardias foi significativo nos ensaios do Aeroporto e da Fazenda Capivara. No entanto, esse contraste não foi significativo nos ensaios da Agronomia e da Fazenda Palmital, onde os grupos apresentaram alturas médias idênticas.

Tabela 7 – Médias da produção de grãos (kg/ha) de arroz nos ensaios instalados no Aeroporto e na Agronomia, em Viçosa, MG, e nas Fazendas Capivara e Palmital, em Santo Antônio de Goiás, GO, em 2001/02

Cultivar	Locais				Média
	Aeroporto	Agronomia	Capivara	Palmital	
Precoces					
Amarelão	5.291 b ₁ /	3.730 a	1.524 b	3.344 a	3.472
Batatais	4.932 b	3.198 a	1.648 b	3.055 a	3.208
Dourado Precoce	5.695 a	3.730 a	1.395 b	2.753 a	3.393
Pratão Precoce	4.645 b	2.800 a	1.986 b	2.443 a	2.968
IAC 25	6.163 a	4.072 a	1.809 b	3.306 a	3.837
IAC 165	6.011 a	4.742 a	2.085 b	3.290 a	4.032
IAPAR 9	6.078 a	3.737 a	2.557 a	3.519 a	3.973
Guarani	5.919 a	3.673 a	3.420 a	3.706 a	4.179
Primavera	6.762 a	3.386 a	1.874 b	3.553 a	3.894
Carajás	6.605 a	4.410 a	1.721 b	3.770 a	4.126
Bonança	6.000 a	3.745 a	1.942 b	4.271 a	3.989
CNA 8711	6.030 a	2.966 a	1.552 b	2.994 a	3.385
CNA 8983	6.566 a	3.863 a	2.757 a	3.413 a	4.150
Média	5.899 A ₂ /	3.696 A	2.021 A	3.340 A	3.739
Tardios					
Pratão	2.812 c	2.772 b	471 b	552 b	1.652
Pérola	1.965 c	3.950 a	517 b	1.459 a	1.973
Bico Ganga	2.147 c	2.432 b	683 b	668 b	1.483
IAC 1246	4.658 b	4.097 a	620 b	2.582 a	2.989
IAC 47	4.518 b	3.854 a	606 b	2.115 a	2.773
Rio Paranaíba	5.636 a	3.301 b	1.195 b	2.043 a	3.044
Araguaia	5.637 a	2.888 b	570 b	2.420 a	2.879
Xingu	6.022 a	3.929 a	683 b	2.179 a	3.203
Caiapó	5.949 a	4.143 a	730 b	2.185 a	3.251
Canastra	6.154 a	3.750 a	951 b	1.554 b	3.102
IAC 202	6.279 a	3.473 a	677 b	2.176 a	3.151
Carisma	6.166 a	2.943 b	2.270 a	2.541 a	3.480
Média	4.829 B	3.461 ^A	831 B	1.873 B	2.748
Média Geral	5.386	3.584	1.450	2.636	3.264

₁/ Médias da mesma coluna, assinaladas pela mesma letra minúscula, pertencem ao mesmo grupo, pelo método de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

₂/ Médias da mesma coluna, assinaladas pela mesma letra maiúscula, não apresentam diferenças significativas, pelo teste F a 5% de probabilidade.

Tabela 8 – Médias da altura de planta (cm) de arroz, nos ensaios instalados no Aeroporto e na Agronomia, em Viçosa, MG, e nas Fazendas Capivara e Palmital, em Santo Antônio de Goiás, GO, em 2001/02

Cultivar	Locais				Média
	Aeroporto	Agronomia	Capivara	Palmital	
Precoces					
Amarelão	154 a <u>1</u> /	126 a	109 b	108 a	124
Batatais	138 b	113 a	116 a	108 a	119
Dourado Precoce	149 a	123 a	120 a	112 a	126
Pratão Precoce	156 a	121 a	128 a	112 a	129
IAC 25	151 a	125 a	104 b	112 a	123
IAC 165	152 a	127 a	123 a	115 a	129
IAPAR 9	141 b	110 b	112 a	109 a	118
Guarani	143 b	104 b	113 a	112 a	118
Primavera	129 c	99 b	106 b	100 b	109
Carajás	129 c	106 b	97 b	92 c	106
Bonança	107 d	87 c	100 b	86 c	95
CNA 8711	144 b	102 b	104 b	111 a	115
CNA 8983	110 d	87 c	91 b	87 c	94
Médias	139 A <u>2</u> /	110 A	109 A	105 A	116
Tardios					
Pratão	149 a	117 b	112 a	111 b	122
Pérola	138 a	141 a	119 a	137 a	134
Bico Ganga	128 b	122 b	117 a	114 b	120
IAC 1246	142 a	112 b	108 b	109 b	118
IAC 47	147 a	122 b	107 b	115 b	123
Rio Paranaíba	141 a	116 b	103 b	94 c	114
Araguaia	137 a	104 b	98 c	110 b	112
Xingu	151 a	124 b	103 b	118 b	124
Caiapó	130 b	116 b	103 b	97 c	112
Canastra	115 b	94 c	88 c	91 c	97
IAC 202	118 b	85 c	85 c	90 c	94
Carisma	107 b	72 d	90 c	77 c	87
Médias	134 B	110 A	103 B	105 A	113
Média Geral	137	110	106	105	115

1/ Médias da mesma coluna, assinaladas pela mesma letra minúscula, pertencem ao mesmo grupo, pelo método de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

2/ Médias da mesma coluna, assinaladas pela mesma letra maiúscula, não apresentam diferenças significativas, pelo teste F a 5% de probabilidade.

A característica dias para floração manifestou efeitos significativos ($p \leq 0,05$) em todas as fontes de variação, incluindo as interações possíveis (Tabela 5). Pelo desdobramento das análises por local, verificou-se que as maiores médias foram obtidas nos ensaios do Aeroporto e da Agronomia (92 dias) e a menor, no ensaio da Fazenda Palmital (com 89 dias) (Tabela 9). O contraste entre precoces vs. tardias foi significativo, sendo a maior diferença de ciclo médio entre os grupos constatada na Fazenda Capivara, que chegou a 20 dias.

As análises de variância de grãos por panícula, percentagem de espiguetas estéreis, peso de 1.000 grãos, estande inicial, estande final e perfilhamento útil apresentaram efeitos significativos de cultivares, cultivares precoces e tardios e precoces vs. tardios ($p \leq 0,01$) com relação à maioria das características (Tabela 4) dos ensaios onde foram avaliados. Na análise conjunta foi constatado efeito significativo na maioria dos efeitos, incluindo as interações de cultivares com os locais (Tabela 6). Os coeficientes de variação variaram de 2,35% para peso de 1.000 grãos a 22,77% para percentagem de grãos vazios, indicando variação na precisão experimental para tais características. Com a constatação dos efeitos significativos da interação de cultivares de cada grupo com os locais, foi realizado o desdobramento da análise por locais, cujas médias das características peso de 1.000 grãos, perfilhamento útil e estandes inicial e final são apresentadas nas Tabelas 10, 11 e 12.

Quanto às características índice de colheita, largura e comprimento da folha avaliados somente no ensaio do Aeroporto, constataram-se efeitos significativos ($p \leq 0,01$) entre cultivares, entre cultivares precoces e entre tardios com relação às três características. O contraste dos cultivares precoces vs. tardios somente foi significativo para o caráter índice de colheita. Os coeficientes de variação foram de 8,53; 4,97; e 7,72% para índice de colheita, largura e comprimento da folha, respectivamente, indicando boa precisão experimental na avaliação dessas características (Tabela 4). Comparando as médias das características por grupo de cultivares, pôde-se notar que os cultivares modernos apresentaram maiores índices de colheita, tanto para o grupo precoce quanto para o tardio (Tabela 13). Para largura e comprimento da folha-bandeira, verificou-se uma tendência de redução dos valores dessas características nos cultivares lançados mais recentemente.

Tabela 9 – Médias da floração (dias) de arroz, nos ensaios instalados no Aeroporto e na Agronomia, em Viçosa, MG, e na Fazenda Capivara, em Santo Antônio de Goiás, GO, em 2001/02

Cultivar	Locais			Média
	Aeroporto	Agronomia	Capivara	
Precoces				
Amarelão	80 b ₁ /	81c	75 b	78
Batatais	80 b	83 b	76 b	80
Dourado Precoce	82 a	80 c	75 b	79
Pratão Precoce	83 b	85 b	77 b	82
IAC 25	80 b	80 c	74 b	78
IAC 165	83 b	83 c	78 b	81
IAPAR 9	80 b	82 c	74 b	79
Guarani	80 b	82 c	78 b	80
Primavera	86 a	88 a	81 a	85
Carajás	84 b	86 b	79 b	83
Bonança	92 a	91 a	85 a	89
CNA 8711	85 a	93 a	84 a	87
CNA 8983	89 a	91 a	87 a	89
Médias	84 A ₂ /	85 A	79 A	82
Tardios				
Pratão	110 a	105 a	108 a	108
Pérola	106 b	101 b	102 b	103
Bico ganga	109 a	104 a	102 b	105
IAC 1246	105 b	100 c	100 b	102
IAC 47	105 b	98 c	100 c	101
Rio Paranaíba	101 c	99 c	99 c	100
Araguaia	99 c	97 c	98 d	98
Xingu	103 b	99 c	101 b	101
Caiajó	98 c	98 c	100 b	99
Canastra	93 d	100 c	97 d	97
IAC 202	96 d	97 c	90 e	94
Carisma	93 d	95 d	89 e	92
Médias	101 B	99 B	99 B	100
Média Geral	92	92	89	91

₁/ Médias da mesma coluna, assinaladas pela mesma letra minúscula, pertencem ao mesmo grupo, pelo método de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

₂/ Médias da mesma coluna, assinaladas pela mesma letra maiúscula, não apresentam diferenças significativas, pelo teste F a 5% de probabilidade.

Tabela 10 – Médias de grãos/panícula e percentagem de espiguetas estéreis do arroz, nos ensaios instalados no Aeroporto e na Agronomia, em Viçosa, MG, em 2001/02

Cultivar	Grãos/Panícula (GPP)			% Espiguetas Estéreis (PEE)		
	Locais		Média	Locais		Média
	Aeroporto	Agronomia		Aeroporto	Agronomia	
Precoces						
Amarelão	193	172	183 b <u>1</u> /	9,15 c	8,60 d <u>1</u> /	8,88
Batatais	196	166	181 b	19,20 b	13,06 c	16,13
Dourado Precoce	193	156	175 b	11,09 c	6,72 d	8,90
Pratão Precoce	196	192	194 b	33,84 a	19,80 a	26,82
IAC 25	187	162	174 b	8,29 c	7,07 d	7,68
IAC 165	202	190	197 b	14,79 c	10,80 c	12,80
IAPAR 9	213	172	192 b	13,29 c	7,90 d	10,60
Guarani	139	148	143 c	10,02 c	4,87 d	7,45
Primavera	267	225	246 a	18,28 b	14,29 b	16,29
Carajás	168	148	158 c	12,94 c	10,37 c	11,66
Bonança	187	181	184 b	22,34 b	22,00 a	21,93
CNA 8711	213	170	192 b	6,90 c	16,16 b	11,53
CNA 8983	260	259	259 a	18,43 b	19,35 a	18,89
Médias	201	180	191 A <u>2</u> /	15,27 A	12,35 A <u>2</u> /	13,81
Tardios						
Pratão	169 c	170 c	170	23,01 b	21,48 a	22,24
Pérola	198 b	184 c	191	37,66 a	21,26 a	29,46
Bico Ganga	162 c	180 c	171	25,67 b	17,16 b	21,42
IAC 1246	179 c	181 c	180	19,61 b	12,98 b	16,29
IAC 47	212 b	175 c	194	25,45 b	15,46 b	20,46
Rio Paranaíba	229 b	197 c	213	23,45 b	25,61 a	24,53
Araguaia	187 c	156 c	171	19,76 b	15,76 b	17,76
Xingu	218 b	221 b	220	20,22 b	15,51 b	17,87
Caiapó	218 b	188 c	203	15,23 b	10,15 b	12,69
Canastra	218 b	197 c	208	29,19 a	17,07 b	23,13
IAC 202	308 a	253 a	281	31,52 a	17,94 b	24,73
Carisma	200 b	198 c	199	23,38 b	20,30 a	21,84
Médias	208	192	200A	24,51 B	17,56 B	21,03
Média Geral	204	186	195	19,71	14,85	17,28

1/ Médias da mesma coluna, assinaladas pela mesma letra minúscula, pertencem ao mesmo grupo, pelo método de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

2/ Médias da mesma coluna, assinaladas pela mesma letra maiúscula, não apresentam diferenças significativas, pelo teste F a 5% de probabilidade.

Tabela 11 – Médias de peso de 1.000 grãos (g) e perfilhamento útil do arroz, nos ensaios instalados no Aeroporto e na Agronomia, em Viçosa, MG, em 2001/02

Cultivar	Peso de 1.000 grãos			Perfilhamento Útil		
	Locais		Média	Locais		Média
	Aeroporto	Agronomia		Aeroporto	Agronomia	
Precoces						
Amareirão	34,47	33,55	34,01 c _{1/}	1,93	2,25	2,09 a _{1/}
Batatais	31,96	31,96	31,96 d	2,21	1,86	2,04 a
Dourado Precoce	35,77	35,91	35,84 b	2,22	2,48	2,35 a
Pratão Precoce	32,53	32,29	32,41 d	1,98	1,61	1,80 a
IAC 25	33,86	34,28	34,07 c	1,77	2,53	2,15 a
IAC 165	35,08	36,57	35,82 b	1,86	2,19	2,03 a
IAPAR 9	33,14	32,99	33,07 c	2,34	1,81	2,08 a
Guarani	38,76	38,22	38,49 a	2,47	2,67	2,57 a
Primavera	24,35	25,56	24,95 f	2,55	1,92	2,24 a
Carajás	33,38	33,23	33,30 c	2,37	2,46	2,42 a
Bonança	25,85	26,58	26,21 e	2,88	2,41	2,65 a
CAN 8711	25,37	25,94	25,66 e	2,31	2,34	2,32 a
CAN 8983	24,56	25,42	24,99 f	2,18	2,02	2,09 a
Média	31,47 A _{2/}	31,73 A	31,60	2,24 A _{2/}	2,2 A	2,22
Tardios						
Pratão	31,84 a	31,84 b	31,84	3,46 b	1,93 c	2,69
Pérola	28,01 c	31,49 b	29,75	2,39 c	2,59 c	2,50
Bico Ganga	29,02 c	30,94 b	29,98	2,31 c	1,64 c	1,98
IAC 1246	32,81 a	33,91 a	33,36	2,34 c	1,88 c	2,11
IAC 47	31,32 b	34,46 a	32,89	1,79 c	2,06 c	1,93
Rio Paranaíba	33,07 a	34,19 a	33,63	2,29 c	1,84 c	2,07
Araguaia	30,38 b	30,58 b	30,48	2,40 c	1,93 c	2,16
Xingu	32,30 a	32,92 a	32,61	2,15 c	2,17 c	2,16
Caiapó	27,85 c	28,92 c	28,38	2,04 c	2,13 c	2,08
Canastra	27,96 c	28,48 c	28,22	4,48 a	4,47 a	4,48
IAC 202	24,48 d	24,56 d	24,52	2,58 c	3,17 b	2,88
Carisma	24,37 d	25,46 d	24,92	4,46 a	2,70 c	3,58
Média	29,45 B	30,65 B	30,04	2,72 B	2,38 A	2,55
Média Geral	30,49	31,21	30,85	2,47	2,28	2,37

_{1/} Médias da mesma coluna, assinaladas pela mesma letra minúscula, pertencem ao mesmo grupo, pelo método de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

_{2/} Médias da mesma coluna, assinaladas pela mesma letra maiúscula, não apresentam diferenças significativas, pelo teste F a 5% de probabilidade.

Tabela 12 – Médias de estande inicial (plantas/3 m) e estande final (panículas/3 m) de arroz, nos ensaios instalados no Aeroporto e na Agronomia, em Viçosa, MG, em 2001/02

Cultivar	Estande Inicial			Estande Final		
	Locais		Média	Locais		Média
	Aeroporto	Agronomia		Aeroporto	Agronomia	
Precoces						
Amarelão	121 a ₁ /	100 a	111	232 b	221 a	226
Batatais	131 a	111 a	121	289 a	201 a	246
Dourado Precoce	111 a	100 a	106	245 b	247 a	249
Pratão Precoce	129 a	110 a	120	253 b	176 a	217
IAC 25	114 a	79 a	97	198 b	200 a	201
IAC 165	120 a	93 a	107	222 b	208 a	213
IAPAR 9	102 a	87 a	95	237 b	162 a	195
Guarani	121 a	86 a	104	295 a	220 a	259
Primavera	104 a	78 a	91	264 b	149 a	208
Carajás	134 a	96 a	115	313 a	241 a	275
Bonança	113 a	94 a	104	323 a	224 a	273
CNA 8711	127 a	85 a	106	290 a	196 a	245
CNA 8983	125 a	101 a	113	266 a	197 a	236
Média	119	94	107 A ₂ /	264 B	203 B	234
Tardios						
Pratão	88 b	122 a	105	300 b	238 a	269
Pérola	107 b	100 a	104	260 b	252 a	253
Bico Ganga	110 b	98 a	104	258 b	155 a	208
IAC 1246	124 a	113 a	118	291 b	218 a	250
IAC 47	144 a	116 a	130	251 b	232 a	246
Rio Paranaíba	123 a	110 a	117	280 b	204 a	240
Araguaia	128 a	107 a	118	302 b	201 a	252
Xingu	135 a	94 a	115	287 b	197 a	242
Caiapó	148 a	102 a	125	299 b	221 a	258
Canastra	94 b	41 b	68	375 a	189 a	282
IAC 202	109 b	68 b	89	283 b	209 a	246
Carisma	96 b	71 b	84	428 a	193 a	311
Média	117	95	106 A	301 A	209 A	255
Média Geral	118	94	107	282	206	244

1/ Médias da mesma coluna, assinaladas pela mesma letra minúscula, pertencem ao mesmo grupo, pelo método de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

2/ Médias da mesma coluna, assinaladas pela mesma letra maiúscula, não apresentam diferenças significativas, pelo teste F a 5% de probabilidade.

Tabela 13 – Médias do índice de colheita, largura da folha (mm) e comprimento da folha (cm) no ensaio de cultivares de arroz de sequeiro, instalado no Aeroporto, em Viçosa, MG, em 2001/02

Cultivar	Aeroporto		
	Índice de Colheita	Largura da Folha	Comprimento da Folha
Precoces			
Amarelão	0,48 c ₁ /	22,10 a	41,26 a
Batatais	0,52 b	20,53 b	37,56 a
Dourado Precoce	0,48 c	20,83 b	39,29 a
Pratão Precoce	0,41 d	22,30 a	38,59 a
IAC 25	0,47 c	21,70 a	38,99 a
IAC 165	0,51 b	21,18 b	37,65 a
IAPAR 9	0,54 a	21,10 b	36,86 a
Guarani	0,50 b	20,43 b	39,30 a
Primavera	0,54 a	19,10 c	36,85 a
Carajás	0,50 b	20,87 b	37,27 a
Bonança	0,49 b	17,93 c	30,71 b
CNA 8711	0,46 c	18,07 c	35,97 a
CNA 8983	0,56 a	18,40 c	30,28 b
Média	0,49 A ₂ /	20,35 A	36,97 A
Tardios			
Pratão	0,27 d	22,54 a	41,87 a
Pérola	0,26 d	19,87 b	38,35 a
Bico Ganga	0,21 d	21,77 a	34,60 a
IAC 1246	0,40 b	23,00 a	37,67 a
IAC 47	0,34 c	21,03 a	38,84 a
Rio Paranaíba	0,39 b	21,23 a	36,23 a
Araguaia	0,39 b	17,70 c	34,43 a
Xingu	0,43 b	20,70 a	38,15 a
Caiapó	0,44 b	19,60 b	35,42 a
Canastra	0,45 b	19,73 b	37,57 a
IAC 202	0,54 a	18,37 c	32,63 a
Carisma	0,52 a	16,47 c	28,09 a
Média	0,39 B	20,17 A	36,15 A
Média Geral	0,44	20,26	36,

1/ Médias da mesma coluna, assinaladas pela mesma letra minúscula, pertencem ao mesmo grupo, pelo método de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

2/ Médias da mesma coluna, assinaladas pela mesma letra maiúscula, não apresentam diferenças significativas, pelo teste F a 5% de probabilidade.

A decomposição da interação entre cultivares e pares de ambientes em partes simples e complexa para a característica produção de grãos, segundo a metodologia de Cruz e Castoldi (1991), é apresentada na Tabela 14. Acima da diagonal são mostradas as estimativas dos coeficientes de correlação entre as médias dos cultivares avaliados em cada par de ambientes e abaixo, os valores percentuais respectivos da parte complexa, verificando-se a formação de dois grupos, o primeiro com os ambientes 1 e 2 (Aeroporto e Agronomia) e o segundo com os ambientes 3 e 4 (Fazendas Capivara e Palmital).

Tabela 14 – Estimativa do coeficiente de correlação entre médias de cultivares avaliados em cada par de ambientes (acima da diagonal) e valores percentuais (abaixo da diagonal), resultante da decomposição da interação entre cultivares e pares de ambiente para a característica produção de grãos

Ambiente	1	2	3	4
1		0,374421	0,504433	0,712970
2	49,075 s		0,135228	0,447205
3	56,502 c	86,430 c		0,734573
4	44,845 s	59,640 c	49,265 s	

1: Aeroporto, 2: Agronomia, 3: Fazenda Capivara e 4: Fazenda Palmital.
s: identifica os pares de ambientes cuja interação com os cultivares é predominantemente simples e c: complexa.

Nesses grupos há interação, porém é predominantemente de natureza simples e, por conseqüência, não proporciona grandes inconvenientes na identificação de cultivares superiores nos ambientes considerados. No entanto, o ambiente 3 da Fazenda Capivara e o ambiente 2 da Agronomia proporcionaram maior grau de interação do tipo complexo.

4.2. Estabilidade e adaptabilidade

O desempenho dos cultivares de arroz varia normalmente com os ambientes avaliados, de tal modo que um cultivar dificilmente é o melhor em todas as condições de cultivo. Essa variação é ainda mais acentuada em condições de sequeiro, em que o cultivo é totalmente dependente das precipitações ocorridas em cada uma das regiões de cultivo. Essa instabilidade das condições ambientais na avaliação dos cultivares justifica estudos mais detalhados visando identificar aqueles de maior estabilidade e adaptabilidade às condições de sequeiro.

As estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade obtidas pelo método de Annicchiarico (1992) são apresentadas na Tabela 15. Nesse método os dados são transformados previamente em valores percentuais, tendo como referência a média dos genótipos em cada local. Caracterizaram-se como ambientes favoráveis os locais Aeroporto e Agronomia e desfavoráveis, as Fazendas Capivara e Palmital. Em todas as análises realizadas, os cultivares Amarelão, Bonança, Carajás, CNA 8983, Guarani, IAC 25, IAC 165, IAPAR 9 e Primavera foram os que apresentaram maiores índices de recomendação, sendo, portanto, os mais estáveis tanto em ambientes favoráveis quanto desfavoráveis. Os cultivares Caiapó, Canastra, Dourado Precoce, IAC 202 e Xingu exibiram os maiores índices de recomendação (ω_i) somente nos ambientes favoráveis, enquanto nos desfavoráveis os valores de ω_i foram superiores nos cultivares Batatais, Carisma, CNA 8711 e Pratório Precoce.

Nessa metodologia considera-se, simultaneamente, o desempenho do genótipo e sua estabilidade, de forma que os maiores valores dos índices de recomendação (ω_i) são obtidos para aqueles que apresentarem maior média percentual (\bar{Z}_i) e menor desvio (\hat{S}_{Z_i}). Assim, de forma mais ampla, considera-se que ω_i expressa a estabilidade e também a adaptabilidade genotípica.

Tabela 15 – Produtividade média dos grãos (kg/ha) e estimativa dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade dos cultivares de arroz dos ensaios instalados no Aeroporto e na Agronomia, em Viçosa, MG, e nas Fazendas Capivara e Palmital, em Santo Antônio de Goiás, GO, em 2001/02

Cultivares	Décadas	Ambientes											
		Geral				Desfavorável				Favorável			
		Média	Média%	Desvio	ω_i	Média	Média%	Desvio	ω_i	Média	Média%	Desvio	ω_i
Amarelão	Antes 1960	3.472	108,59	12,56	105,16	2434	116,01	15,37	111,81	4.510	101,17	4,15	100,04
Araguaia	80-90	2.879	79,11	28,29	71,37	1495	65,58	37,13	55,42	4.263	92,64	17,01	87,99
Batatais	Antes 1960	3.208	102,60	14,14	98,74	2352	114,80	1,55	114,38	4.065	90,41	1,64	89,96
Bico ganga	Antes 1960	1.483	45,05	17,71	40,21	676	36,23	15,42	32,02	2.290	53,87	19,81	48,45
Bonança	Depois 2000	3.989	127,98	25,96	120,88	3107	148,00	19,86	142,57	4.872	107,96	4,87	106,63
Caiapó	90-00	3.251	89,82	29,99	81,62	1457	66,61	23,02	60,32	5.046	113,03	3,64	112,04
Canastra	90-00	3.102	85,87	27,65	78,31	1253	62,28	4,69	60,99	4.952	109,45	6,80	107,59
Carajás	90-00	4.126	126,85	10,97	123,86	2745	130,87	17,22	126,16	5.508	122,85	0,29	122,77
Carisma	Depois 2000	3.480	112,41	32,31	103,58	2406	126,51	42,56	114,87	4.555	98,31	22,89	92,05
CNA 8711	Depois 2000	3.386	103,85	14,32	99,93	2273	110,32	4,64	109,05	4.498	97,38	20,64	91,73
CNA 8983	Depois 2000	4.150	137,35	36,36	127,42	3085	159,85	42,92	148,11	5.215	114,87	9,98	112,14
Dourado Precoce	60-70	3.393	102,62	4,34	101,44	2074	100,32	5,83	98,73	4.712	104,92	1,16	104,60
Guarani	80-90	4.179	147,23	61,39	130,45	3563	188,27	67,41	169,84	4.796	106,20	5,23	104,77
IAC 25	70-80	3.837	119,56	6,40	117,81	2557	125,09	0,48	124,97	5.117	114,03	0,57	113,87
IAC 47	70-80	2.773	78,36	27,23	70,92	1360	61,00	27,19	53,57	4.186	95,72	16,72	91,15
IAC 165	70-80	4.032	128,15	13,51	124,46	2688	134,33	13,42	130,66	5.377	121,98	14,65	117,97
IAC 202	90-00	3.151	85,69	29,50	77,62	1426	64,62	25,35	57,69	4.876	106,75	13,91	102,95
IAC 1246	60-70	2.989	85,39	30,63	77,02	1601	70,37	39,04	59,70	4.378	100,41	19,68	95,03
IAPAR 9	80-90	3.973	131,77	32,18	122,97	3038	154,96	30,32	146,67	4.908	108,58	6,06	106,92
Pérola	Antes 1960	1.973	59,43	35,07	49,84	988	45,50	13,94	41,69	2.957	73,36	52,15	59,09
Pratão	Antes 1960	1.652	45,75	24,71	38,99	512	26,72	8,16	24,48	2.792	64,78	17,78	59,91
Pratão Precoce	60-70	2.968	98,52	26,33	91,32	2215	114,84	31,33	106,28	3.722	82,19	5,74	80,62
Primavera	90-00	3.894	121,03	18,10	116,08	2714	132,04	3,93	130,97	5.074	110,03	21,97	104,02
Rio Paranaíba	80-90	3.044	89,17	11,97	85,90	1619	79,96	3,46	79,01	4.469	98,39	8,86	95,96
Xingu	80-90	3.203	87,81	30,20	79,56	1431	64,89	25,15	58,02	4.976	110,74	1,53	110,32

O nível de significância adotado foi 0,25.

4.3. Correlação entre caracteres

A existência de caracteres correlacionados e seu emprego no melhoramento genético constituem um dos meios de que os melhoristas dispõem para economizar tempo e esforço. A correlação entre dois ou mais caracteres pode assumir uma associação completa ou apresentar graus de associação expressos numericamente pelo coeficiente (r), que constitui uma característica dos caracteres métricos.

Analisando as Tabelas 16 e 17, pode-se verificar que, de modo geral, as correlações genotípicas tiveram valores mais altos que as correlações fenotípicas, e ambas apresentaram valores superiores aos da correlação de ambiente com relação à maioria dos caracteres avaliados. Nos dois ensaios será dado ênfase aos resultados da correlação genotípica envolvendo produção de grãos e os demais caracteres avaliados, uma vez que essa correlação tem maior valor prático em programas de melhoramento.

No ensaio do Aeroporto, observou-se, no grupo precoce (Tabela 16, acima da diagonal), que as correlações genotípicas entre produção de grãos e demais caracteres foram significativas, à exceção do perfilhamento útil, que apresentou valores não-significativos. No grupo tardio (Tabela 16, abaixo da diagonal), somente os caracteres grãos por panícula, dias até a floração e índice de colheita exibiram correlações genotípicas significativas com produção de grãos. No ensaio da Agronomia (Tabela 17), tanto no grupo precoce (acima da diagonal) quanto no tardio (abaixo da diagonal), as correlações genéticas entre produção de grãos e as demais características foram não-significativas, exceto o peso de 1.000 grãos, no grupo precoce.

4.4. Ganho genético

Na análise do progresso genético, o efeito de cultivares foi desdobrado em dois grupos: o precoce e tardio, devido à grande diversidade entre os cultivares avaliados, no que se refere ao ciclo vegetativo, enquanto na de regressão linear se utilizaram as décadas como variável independente e os caracteres medidos como variável dependente.

Tabela 16 – Estimativas dos coeficientes de correlações fenotípica (r_F), genotípica (r_G) e de ambiente (r_A) entre oito caracteres avaliados de cultivares precoces (acima da diagonal) e tardios (abaixo da diagonal), no ensaio de cultivares de arroz de sequeiro instalado no Aeroporto, em Viçosa, MG, em 2001/02

Caráter	r	Produção	Grãos/Panícula	Porcentagem de Espiguetas Estéreis	Peso de 1.000 Grãos	Dias para Floração	Altura de Planta	Perfilhamento Útil	Índice de Colheita
Produção	r_F		0,3438	-0,4023	-0,3823	0,3837	-0,5263**	0,3459	0,6224**
	r_G		0,5139*	-0,5900**	-0,5414*	0,6147**	-0,8162**	0,3017	0,7213**
	r_A		-0,1478	0,0162	0,2111	-0,0620	0,5276**	0,4047**	0,5079**
Grãos/Panícula	r_F	0,5945**		0,2162	-0,7563**	0,4217	-0,3317	0,0171	0,4706*
	r_G	0,6155**		0,2115	-0,7812**	0,4330	-0,3558	0,0127	0,5548*
	r_A	0,2123		0,2833*	0,1050	0,4057**	0,1671	0,0490	-0,3041*
Porcentagem de Espiguetas Estéreis	r_F	-0,3925	0,2866		-0,2651	0,2879	-0,2244	0,1330	-0,2280
	r_G	-0,4347	0,2849		-0,2951	0,3474	-0,2635	0,1686	-0,2411
	r_A	-0,2155	0,3617**		0,2237	0,0011	0,6684**	0,0529	-0,1453
Peso de 1.000 Grãos	r_F	-0,2107	-0,4413	-0,3958		-0,6767**	0,6684**	-0,4311	-0,2871
	r_G	0,2179	-0,4659*	-0,4175		-0,7537**	0,6737**	-0,5485*	-0,3227
	r_A	0,0682	0,0894	-0,4917**		-0,2300	0,5120**	-0,1816	0,2520*
Dias para Floração	r_F	-0,8331**	-0,5803*	-0,0016	0,6233**		-0,7167**	0,5492*	0,1858
	r_G	-0,8687**	-0,6180**	-0,0167	0,6508**		-0,8263**	0,7537**	0,2512
	r_A	-0,3644**	-0,1645	0,0820	0,2438*		0,0524	0,1196	-0,1195
Altura de Planta	r_F	-0,3562	-0,3244	-0,2541	0,8750**	0,7529**		0,7856**	0,0819
	r_G	-0,4255	-0,4047	-0,2285	0,9558**	0,9225**		0,9170**	0,0927
	r_A	0,3603**	0,2874*	-0,3605**	0,2259	-0,3609**		0,5564**	0,0147
Perfilhamento Útil	r_F	0,2021	-0,0616	0,1863	-0,4585	-0,5120*	0,8847**		0,3170
	r_G	0,2135	-0,0589	0,2582	-0,5146*	-0,6772**	0,9502**		0,4478
	r_A	0,1141	-0,0896	-0,1242	0,2349*	0,7181**	0,5402**		-0,0060
Índice de Colheita	r_F	0,9274**	0,6773**	-0,1971	-0,4553	-0,8769**	0,5865*	0,3292	
	r_G	0,9564**	0,6994**	0,1889	-0,4894*	-0,9681**	0,6543**	0,3358	
	r_A	0,4570**	0,3954**	-0,2873*	0,2567*	0,0959	0,1278	0,2918*	

*e** significativos a 5 e 1% de probabilidade, pelo teste t, respectivamente.

Tabela 17 – Estimativa dos coeficientes de correlações fenotípica (r_F), genotípica (r_G) e de ambiente (r_A) entre sete caracteres avaliados de cultivares precoces (acima da diagonal) e tardios (abaixo da diagonal), no ensaio de cultivares de arroz de sequeiro instalado na Agronomia, em Viçosa, MG, em 2001/02

Caráter	r	Produção	Grãos por Panícula	Porcentagem de Espiguetas Estéreis	Peso de 1.000 grãos	Dias para Floração	Altura de Planta	Perfilhamento Útil
Produção	r_F		0,0817	-0,3992	0,4002	-0,3036	0,1580	0,4544
	r_G		-0,2431	-0,6942**	0,6653**	-0,2260	-0,1660	0,4326
	r_A		0,2118	-0,0022	0,0659	-0,7285**	0,8184**	0,4778**
Grãos/Panícula	r_F	0,2485		0,6151**	-0,6588**	0,5456*	-0,4542	-0,5204*
	r_G	-0,2510		0,6317**	-0,7082**	0,5780*	-0,5399*	-0,7493**
	r_A	0,2537		0,4555**	0,2129	0,2441*	0,1451	-0,1043
Porcentagem de Espiguetas Estéreis	r_F	-0,4534	0,0752		-0,7859**	0,8227**	-0,5635*	-0,4603
	r_G	-0,5072*	0,0936		-0,8154**	0,8862**	-0,6404**	-0,6730**
	r_A	-0,3154*	0,0106		-0,1747	0,0913	0,0680	-0,0328
Peso de 1.000 Grãos	r_F	0,2018	-0,5028*	0,0407		-0,8808**	0,7278**	0,3270
	r_G	0,1961	-0,5322*	0,1073		-0,9326**	0,7940**	0,4753*
	r_A	0,4006**	0,2906*	-0,5099**		0,1839	-0,0719	-0,0576
Dias para Floração	r_F	-0,3062	-0,3673	0,2166	0,3979		-0,8055**	-0,1507
	r_G	-0,2985	-0,4072	0,2522	0,4203		-0,8114**	-0,0405
	r_A	-0,5078**	-0,0122	0,0722	-0,1405		-0,7884**	-0,5873**
Altura de Planta	r_F	0,2645	-0,3728	-0,0160	0,7571**	0,5728*		0,7256**
	r_G	0,2577	-0,4147	-0,0046	0,7702**	0,6114**		0,8044**
	r_A	0,4798**	0,0256	-0,1161	0,4007**	-0,2808*		0,6834**
Perfilhamento Útil	r_F	0,2491	0,4436	0,0336	-0,5770*	-0,2329	-0,0720	
	r_G	0,2104	0,4797*	0,0586	-0,6168**	-0,2160	-0,7174**	
	r_A	0,4444**	0,2155	-0,0698	-0,1275	-0,4628**	0,4253**	

*e** significativos a 5 e 1% de probabilidade, pelo teste t, respectivamente.

Os coeficientes de determinação da regressão linear significativos ($r^2 = 0,53$; $p < 5\%$) e ($r^2 = 0,72$; $p < 5\%$) nos grupos precoce e tardio, respectivamente, obtidos da análise de regressão da característica produção de grãos, indicam regular ajustamento dos dados à equação de regressão linear (Figura 1).

Analisando a variação por décadas da produtividade média, percebeu-se que a partir da década de 90, no grupo precoce, ocorreu ligeiro decréscimo do rendimento médio dos cultivares, provocado, principalmente, pela exigência do consumidor por um produto de melhor qualidade. Isso levou os melhoristas a redirecionar os programas de melhoramento do arroz de sequeiro e a passar a considerar a qualidade dos grãos como o principal objetivo de pesquisa. Os cultivares do grupo tardio, apesar de terem apresentado menores médias de produção que do grupo precoce, expressaram ganho genético maior.

Pela Figura 2, pode-se observar o comportamento dos cultivares quanto à característica dias para floração. Houve incremento de 10 dias no ciclo do grupo precoce no período avaliado, e no grupo tardio ocorreu decréscimo de 13 dias nesse mesmo período. Pelos coeficientes de determinação da regressão linear significativa ($r^2 = 0,68$; $p < 5\%$) e ($r^2 = 0,94$; $p < 1\%$) para os grupos precoce e tardio, respectivamente, percebeu-se que os ganhos para essa característica se ajustaram bem a uma reta.

Para a característica altura de planta houve decréscimos de 21 cm no grupo precoce e de 38 cm no grupo tardio, no período avaliado, ou seja, década de 60 a 2000. Pode-se inferir que o programa de melhoramento do arroz de sequeiro tem dado prioridade à redução da altura média dos cultivares liberados nas últimas décadas. Os coeficientes de determinação da regressão linear de 0,76 ($p < 5\%$) no grupo precoce e de 0,79 ($p < 5\%$) no grupo tardio indicam bom ajustamento dos dados à equação de regressão linear (Figura 3).

As estimativas do ganho genético para as características grãos/panícula, grãos vazios/panícula, peso de 1.000 grãos e perfilhamento útil foram obtidas com base nos ensaios do Aeroporto e da Agronomia.

Para grãos/panícula houve incrementos de 32 grãos no grupo precoce e de 20 grãos no grupo tardio (Figura 4). Para grãos vazios por panícula, notou-se, tanto no grupo precoce como no tardio, que não houve mudanças significativas no período avaliado; isso aponta para a inexistência de pressão

de seleção ou de seleção ineficiente com relação a esse caráter (Figura 5). Notificou-se, pela Figuras 6, que o peso de grãos teve acentuada redução nos cultivares lançados mais recentemente, indicando que essa característica tem recebido intensa pressão de seleção por parte dos melhoristas de arroz de sequeiro. Para a capacidade de perfilhamento e índice de colheita (Figuras 7 e 8), observou-se a tendência de os cultivares modernos de produzirem maior número de perfilhos e de possuírem maior índice de colheita.

4.5. Diversidade genética

Pela análise da diversidade genética entre os cultivares, com base na distância generalizada de Mahalanobis (Tabela 18), obtida com dados do ensaio instalado no Aeroporto, constatou-se que os cultivares Guarani e Bico Ganga apresentaram a maior distância (672,0), o que equivale à maior diversidade genética. No entanto, os cultivares Amarelão e IAC 25 (7,52) são os mais similares geneticamente.

O agrupamento pelo método de Tocher revelou a formação de nove grupos, os quais são apresentados na Tabela 19. O grupo I inclui os cultivares Amarelão, IAC 25, IAC 165, Dourado Precoce, IAPAR 9, Carajás, Batatais e Pratão Precoce; o grupo II, IAC 47, Xingu, Rio Paranaíba, IAC 1246 e Araguaia; o grupo III, Primavera, CNA 8983 e IAC 202; o grupo IV, Pratão, Bico Ganga e Pérola; o grupo V, Bonança e Carisma; e os grupos VI, VII, VIII e IX, um só cultivar cada, Canastra, CNA 8711, Caiapó e Guarani, respectivamente.

Pela Figura 9, relativa ao agrupamento do vizinho mais próximo, observa-se a formação de seis grupos, diferenciando-se do método de Tocher, que formou nove. O primeiro grupo formou-se com os cultivares Amarelão, IAC 25, IAC 165, Dourado Precoce, IAPAR 9, Carajás, Batatais, Pratão Precoce e Guarani; o II grupo, com os cultivares IAC 47, Xingu, Rio Paranaíba, IAC 1246, Araguaia e Caiapó; o grupo III, com Primavera, CNA 8983, IAC 202 e CNA 8711; o grupo IV, com Pratão, Bico Ganga e Pérola; o grupo V, com Bonança e Carisma; e o grupo VI, com o cultivar Canastra.

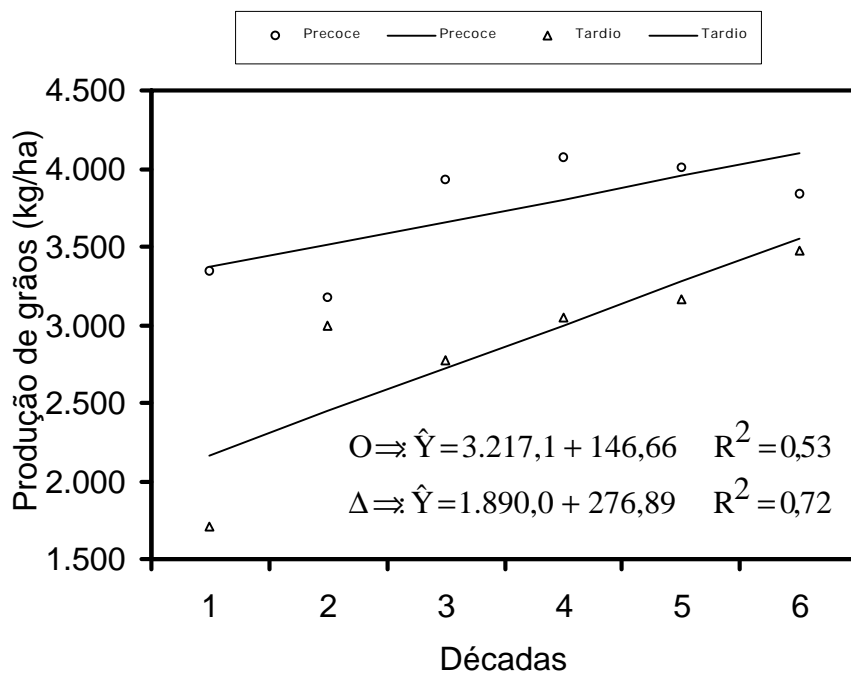


Figura 1 – Progresso genético da produção de grãos (kg/ha), obtido pelo melhoramento do arroz de sequeiro, entre as décadas de 50 e 2000.

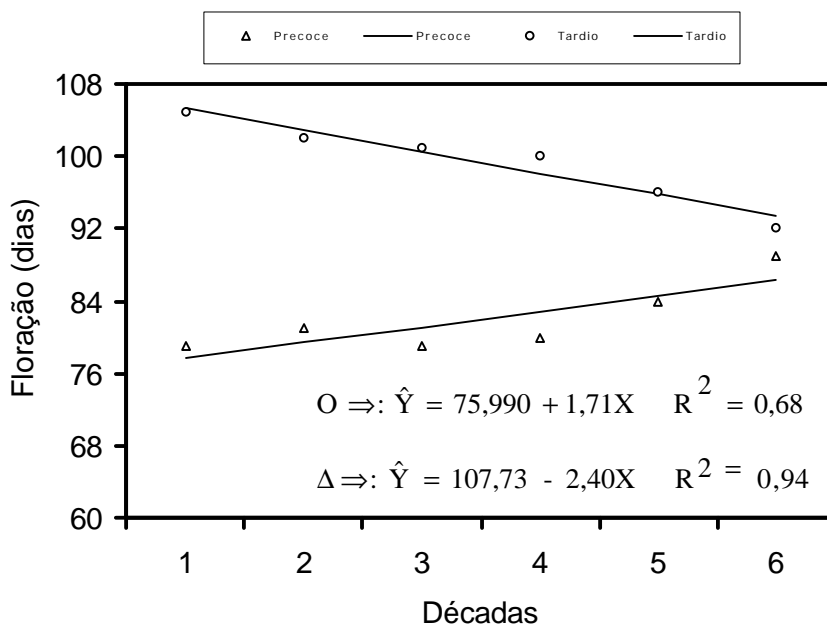


Figura 2 – Progresso genético da floração (dias), obtido pelo melhoramento do arroz de sequeiro, entre as décadas de 50 e 2000.

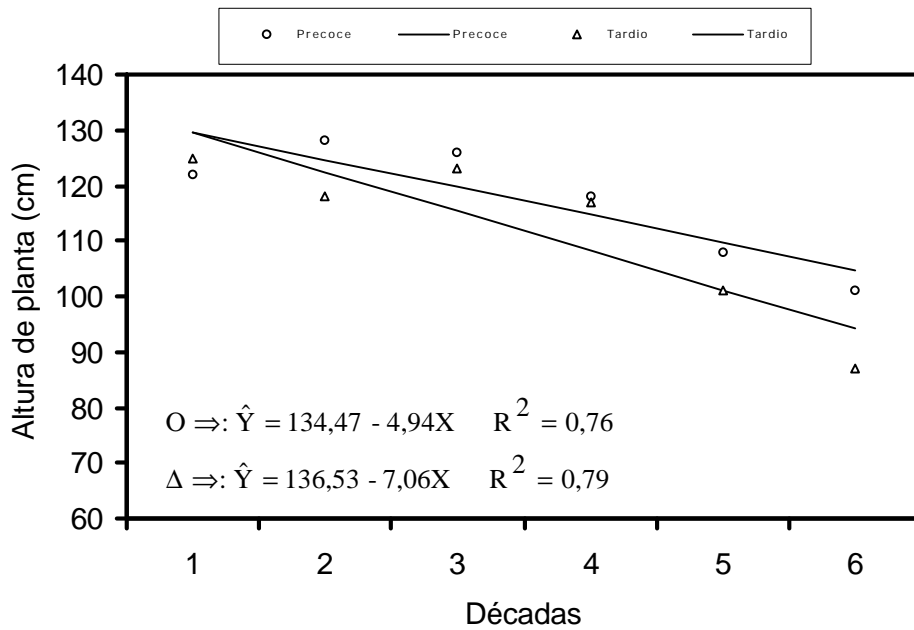


Figura 3 – Progresso genético da altura de planta (cm), obtido pelo melhoramento do arroz de sequeiro, entre as décadas de 50 e 2000.

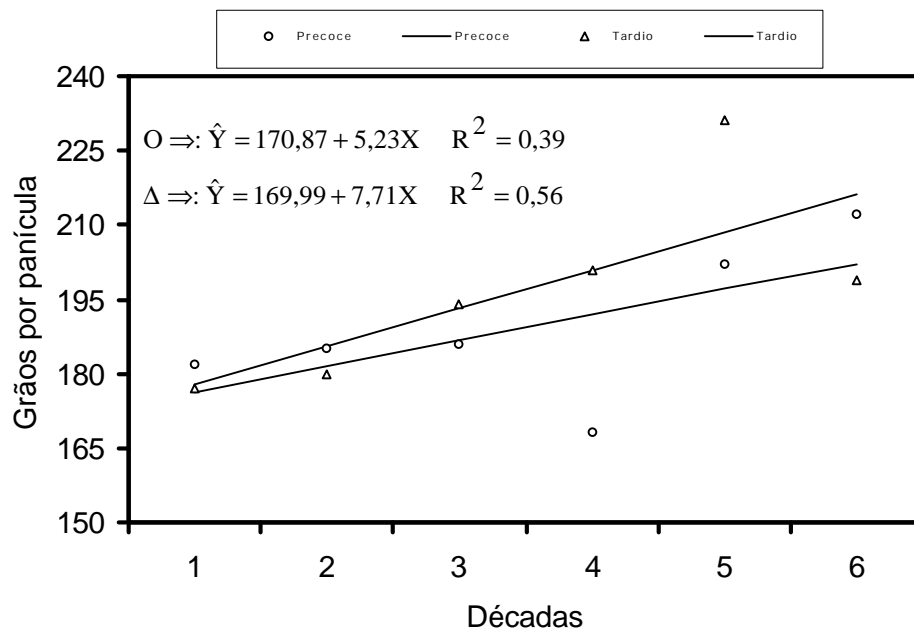


Figura 4 – Progresso genético dos grãos por panícula, obtido pelo melhoramento do arroz de sequeiro, entre as décadas de 50 e 2000.

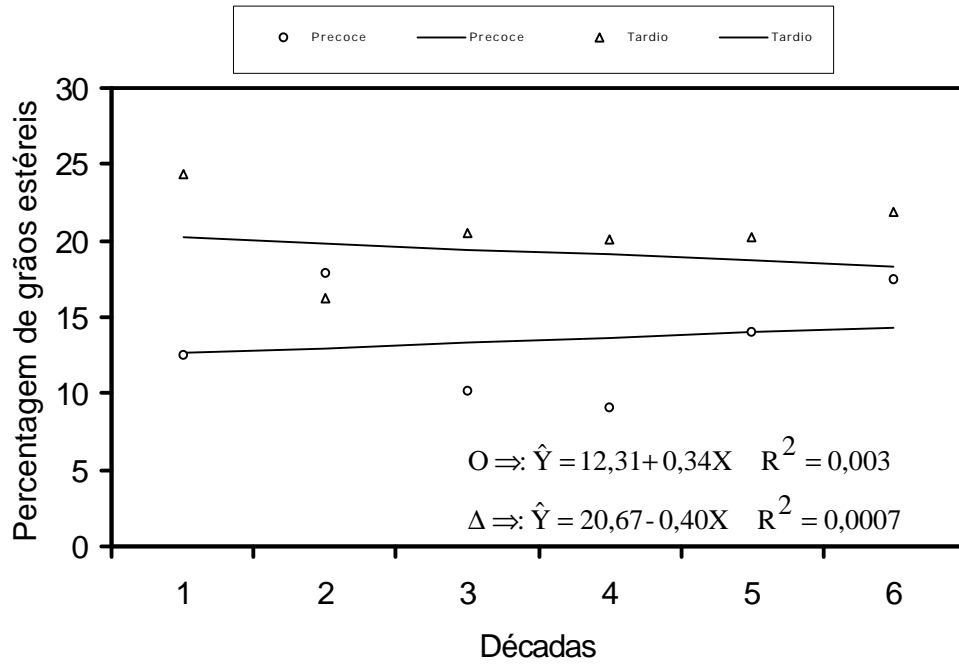


Figura 5 – Progresso genético das espiguetas estéreis por espiga, obtido pelo melhoramento do arroz de sequeiro, entre as décadas de 50 e 2000.

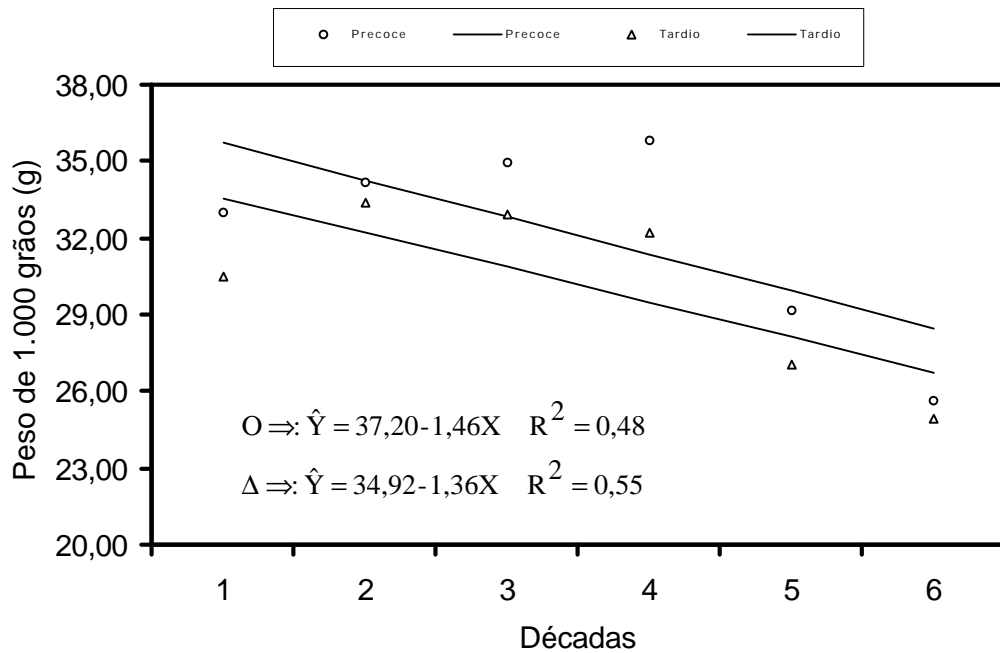


Figura 6 – Progresso genético do peso de 1.000 grãos, obtido pelo melhoramento do arroz de sequeiro, entre as décadas de 50 e 2000.

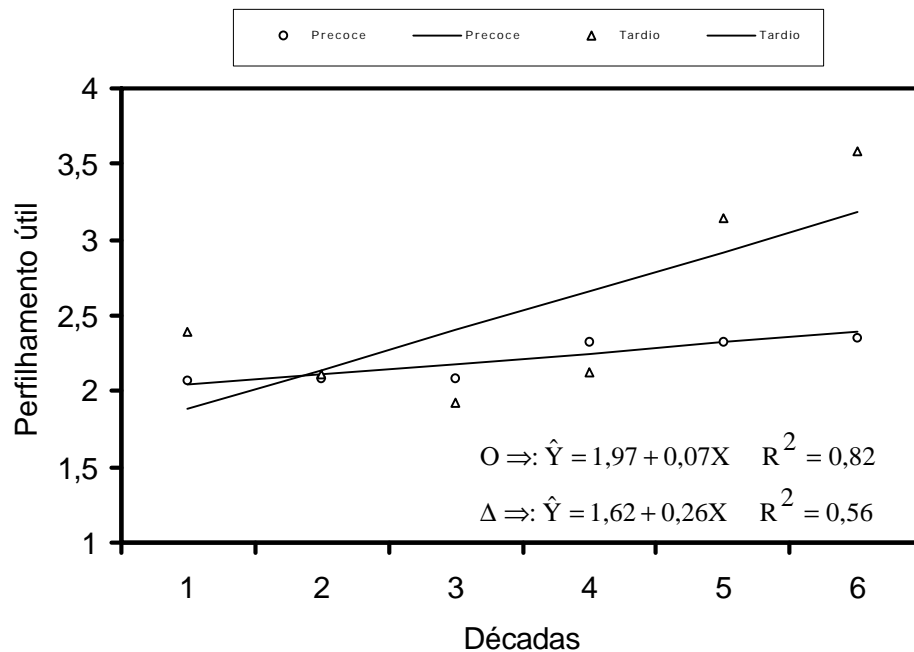


Figura 7 – Progresso genético do perfilamento útil, obtido pelo melhoramento do arroz de sequeiro, entre as décadas de 50 e 2000.

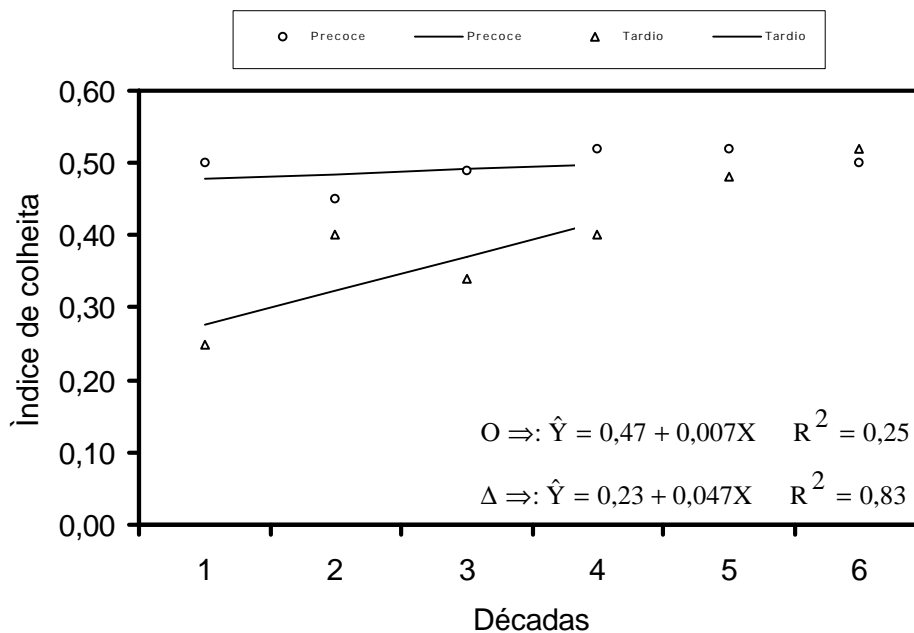


Figura 8 – Progresso genético do índice de colheita, obtido pelo melhoramento do arroz de sequeiro, entre as décadas de 50 e 2000.

Tabela 18 – Distância generalizada de Mahalanobis entre cultivares de arroz, obtida a partir da avaliação de 12 características do ensaio instalado no Aeroporto, em Viçosa, MG, em 2001/02

Cultivares.	Cultivares																								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
1	34,4	10,2	42,7	7,5	12,1	16,6	77,2	239,7	41,6	208,4	186,1	289,2	382,1	387,9	456,0	312,5	356,9	244,1	226,8	316,1	291,6	179,8	365,6	299,7	
2		48,9	53,6	54,2	53,6	23,9	106,6	184,2	33,2	136,4	148,9	218,2	462,1	416,3	518,2	379,7	422,7	310,7	250,0	379,5	291,7	113,9	308,8	178,4	
3			66,5	18,5	12,8	23,9	43,5	289,3	40,1	235,2	233,1	331,5	397,8	418,4	483,1	322,6	378,6	244,1	232,7	324,7	323,2	207,1	404,3	326,0	
4				51,7	44,8	66,1	153,4	229,0	73,6	178,6	182,2	277,3	292,1	265,1	346,8	248,3	273,6	204,5	186,3	262,9	246,2	147,7	317,8	271,3	
5					11,8	19,5	100,7	219,9	44,1	199,0	172,5	267,5	376,3	384,8	437,7	297,2	335,0	222,1	210,2	292,6	266,5	180,0	342,9	303,3	
6						24,0	87,8	233,5	40,2	194,2	189,8	267,4	337,0	345,3	404,9	250,1	290,1	179,1	175,7	242,7	244,5	183,0	321,6	299,3	
7							100,0	185,4	35,1	169,4	167,7	222,9	463,0	446,4	523,3	364,7	411,5	274,5	252,8	355,5	293,9	143,6	306,5	237,9	
8								499,5	88,4	373,9	413,7	538,7	554,3	604,3	672,6	474,7	571,5	407,3	378,7	502,9	523,9	330,7	648,1	457,3	
9									192,2	57,2	37,5	16,7	472,4	359,4	449,6	369,6	336,6	279,2	207,4	301,2	124,1	88,6	49,3	88,2	
10										113,4	158,3	206,8	380,9	375,8	431,1	279,7	331,9	214,2	174,5	278,9	220,1	104,1	287,4	184,0	
11											58,7	47,8	349,8	260,7	328,6	256,7	265,9	213,1	121,8	232,8	91,3	58,5	89,4	36,7	
12												65,4	387,9	297,6	382,2	318,9	287,6	252,1	147,1	258,6	107,0	105,0	115,3	88,9	
13													491,8	373,6	446,3	358,7	332,0	271,1	203,2	290,8	107,5	105,2	31,1	79,7	
14														38,9	26,4	39,6	56,0	91,3	110,2	84,6	186,1	407,8	407,3	515,6	
15															30,9	69,1	55,4	110,4	91,7	93,7	136,3	344,2	287,4	403,6	
16																47,4	53,8	105,1	119,5	94,2	158,6	430,6	361,2	504,9	
17																	27,4	31,7	61,3	26,6	107,5	343,1	295,1	429,5	
18																		32,9	51,5	13,7	75,6	336,5	248,4	432,5	
19																			40,7	17,0	75,5	261,0	210,7	364,8	
20																				33,2	38,9	196,5	173,7	232,9	
21																					61,4	311,7	218,7	387,7	
22																						168,2	79,9	190,2	
23																							148,1	66,5	
24																								137,9	

1: Amarelão; 2: Batatais; 3: Dourado Precoce; 4: Pratão Precoce; 5: IAC 25; 6: IAC 165; 7: IAPAR 9; 8: Guarani; 9: Primavera; 10: Carajás; 11: Bonança; 12: CNA 8711; 13: CNA 8983; 14: Pratão; 15: Pérola; 16: Bico Ganga; 17: IAC 1246; 18: IAC 47; 19: Rio Paranaíba; 20: Araguaia; 21: Xingu; 22: Caiapó; 23: Canastra; 24: IAC 202; e 25: Carisma.

Tabela 19 – Agrupamento dos cultivares de arroz, utilizando-se a distância generalizada de Mahalanobis e o método de otimização de Tocher

Grupo	Cultivar
I	1: Amarelão; 5: IAC 25; 6: IAC 165; 3: Dourado Precoce; 7: IAPAR 9; 10: Carajás; 2: Batatais; e 4: Pratão Precoce
II	18: IAC 47; 21: Xingu; 19: Rio Paranaíba; 17: IAC 1246; e 20: Araguaia
III	9: Primavera; 13: CNA 8983; 24: IAC 202
IV	14: Pratão; 16: Bico Ganga; e 15: Pérola
V	11: Bonança; 25: Carisma
VI	23: Canastra
VII	12: CNA 8711
VIII	22: Caiapó
IX	8: Guarani

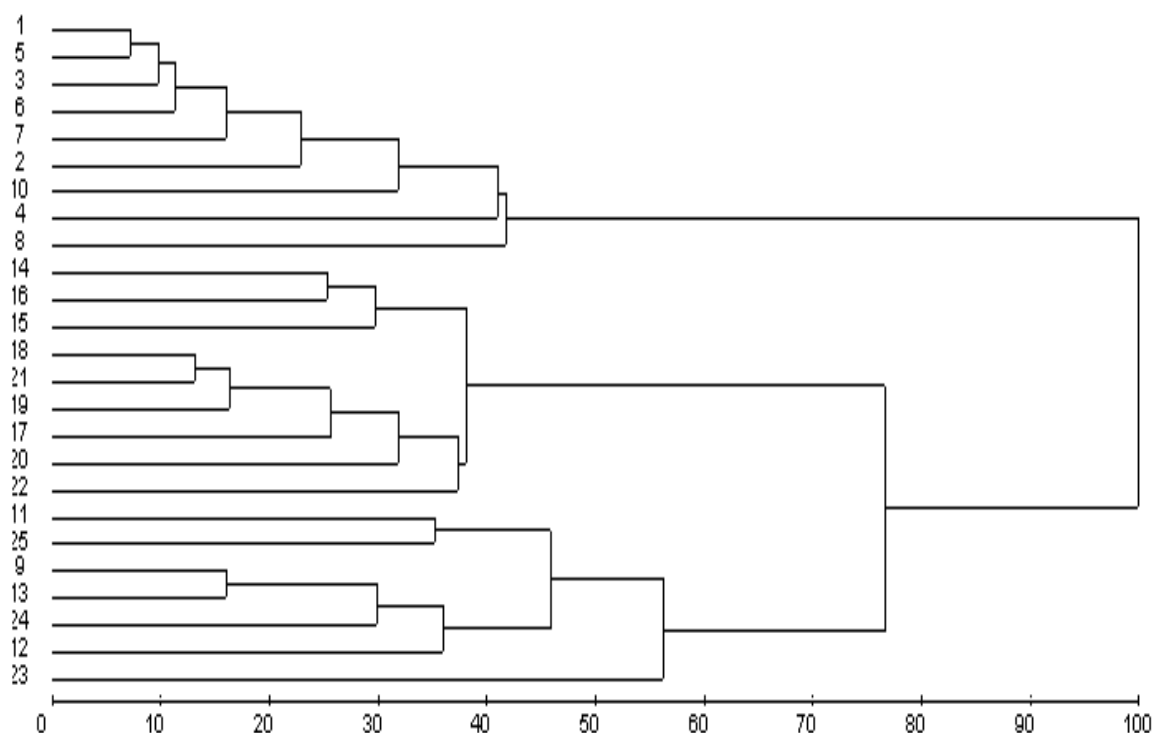


Figura 9 – Dendrograma mostrando o relacionamento de 25 cultivares de arroz em condições de sequeiro, obtido pelo método hierárquico do vizinho mais próximo, com base na distância de Mahalanobis.

5. DISCUSSÃO

Ressalta-se que as informações geradas no presente trabalho somente são aplicáveis ao grupo dos 25 cultivares utilizados, em consequência de os mesmos terem sido considerados como fixos e, por conseguinte, não representativos de toda a população estudada.

Neste trabalho, além da produção de grãos, foram levados em conta vários caracteres, sendo alguns deles componentes primários da produção e outros que também influenciam a expressão desse caráter. Embora o caráter produtividade de grãos, isoladamente, não seja determinante na seleção e lançamento de novos cultivares, na discussão dos resultados será dada ênfase a ele.

A produção média do grupo precoce, comparada com a média do grupo tardio, foi maior em todos os locais, sendo significativa no Aeroporto e nas Fazendas Capivara e Palmital e não-significativa no ensaio da Agronomia. Essas maiores produções do grupo precoce se devem, em parte, ao fato de esses cultivares terem sido favorecidos pela melhor distribuição das chuvas na maior parte das fases de desenvolvimento das plantas, principalmente no final do enchimento de grãos. Essa situação é frequentemente observada em cultivares precoces, por estes permanecerem menos tempo no campo, como relatado por Morais et al. (1980).

De forma geral, no grupo precoce os cultivares mais produtivos foram os cultivados comercialmente a partir da década de 80, à exceção do ensaio da

Agronomia, em que o cultivar mais produtivo foi o IAC 165, pertencente à década de 70. Entretanto, os cultivares de pior desempenho foram os cultivados antes da década de 70. No grupo tardio, o desempenho dos cultivares foi similar ao do grupo precoce, com exceção do ensaio da Fazenda Palmital, em que o cultivar de melhor desempenho foi IAC 1246, pertencente à década de 60. No que se refere aos cultivares de pior desempenho, todos pertencem à década de 50.

Na presença de interação cultivares x ambientes significativa, um aspecto importante é a possibilidade de decompor o componente da interação em duas partes. A parte simples, que é a menos problemática, não acarretando dificuldades na seleção, é ocasionada pela diferença de variabilidade entre os cultivares nos ambientes. A parte complexa ocorre devido à falta de correlação entre os cultivares nos ambientes, dificultando a seleção daqueles adaptados. Quando predomina a parte complexa da interação, o trabalho do melhorista fica comprometido, pois têm que selecionar cultivares específicos para cada ambiente (Robertson, 1959).

Pela decomposição da interação cultivares x ambientes, em partes simples e complexa, detectou-se a existência de interação simples entre os pares dos ambientes Aeroporto e Agronomia (grupo 1) e Fazendas Capivara e Palmital (grupo 2). No grupo precoce, os cultivares Primavera, Carajás e CNA 8983 sobressaíram no par dos ambientes Aeroporto e Agronomia. Para esse mesmo par de ambientes, no grupo tardio os cultivares Carisma e Canastra apresentaram o melhor desempenho. No par dos ambientes Fazendas Capivara e Palmital, no grupo precoce os cultivares Bonança, Carajás e Guarani foram os que exibiram melhor comportamento, enquanto no grupo tardio se destacaram os cultivares IAC 1246, Carisma e IAC 202.

A estabilidade dos 25 cultivares avaliados foi medida pelo método proposto por Annicchiarico (1992). Nessa metodologia, consideram-se, simultaneamente, o desempenho do genótipo e sua estabilidade, de forma que os maiores índices de recomendação são obtidos para aqueles de maior média percentual e menor desvio. Assim, de forma mais ampla, leva-se em conta que o índice de recomendação expressa a estabilidade e, também, a adaptabilidade genotípica. Dos 25 cultivares, Carajás, CNA 8983, IAC 25 e IAC 165 foram os que mostraram os maiores índices de recomendação em todas

as análises realizadas, sendo, portanto, os de maior estabilidade e melhor adaptação nos ambientes considerados. Os cultivares Caiapó, Carajás, CNA 8983, IAC 25, IAC 165 e Xingu foram tidos como responsivos nos ambientes favoráveis, dos quais Caiapó e Xingu estiveram entre os cultivares de pior desempenho nos ambientes desfavoráveis, enquanto Bonança, Carajás, CNA 8983, IAC 165, IAC 25, Guarani, IAPAR 9 e Primavera mostraram ter melhor desempenho nos ambientes desfavoráveis.

Os cultivares de menor estabilidade foram Araguaia, Bico Ganga, IAC 47, IAC 1246, Pérola, Pratão e Rio Paranaíba. Esses resultados concordam com os obtidos por Soares (1992), em um trabalho semelhante, envolvendo outros cultivares, no período de 1984 a 1988, no qual se constatou que os cultivares IAC 47, Araguaia e Rio Paranaíba foram os menos adaptados, menos responsivos e mais instáveis, quando avaliados pelo coeficiente de determinação (R^2). Os cultivares Pratão, Pérola, Bico Ganga, IAC 1246, IAC 47 e Rio Paranaíba, que foram os mais instáveis, coincidentemente foram os menos produtivos e de maior ciclo (dias para a floração), indicando que as condições de deficiências hídricas tiveram participação expressiva na redução da produção desses cultivares.

É importante notar que os cultivares considerados como mais estáveis pela metodologia empregada pertencem ao grupo de cultivares precoces, cuja floração está entre 78 e 89 dias. Tais resultados indicam que os programas de melhoramento genético foram eficientes na liberação de cultivares adaptados às diferentes condições de cultivo do arroz de sequeiro para esse grupo de cultivares. O contrário ocorreu com aqueles que se apresentaram instáveis, os quais pertencem ao grupo dos cultivares tardios, com ciclo até a floração superior a 90 dias.

Um dos objetivos básicos dos programas de melhoramento é a obtenção de genótipos mais produtivos. A produtividade é um caráter complexo e resultante da expressão e associação de diferentes componentes. A importância da correlação entre caracteres no melhoramento genético reside no fato de se poder avaliar o quanto da alteração de um caráter pode afetar os demais no decurso da seleção.

De modo geral, verificou-se que as correlações genotípicas foram mais altas que as correlações fenotípicas e, ainda, as duas apresentaram valores

superiores aos das correlações de ambientes para a maioria dos pares de caracteres. Além das diferenças em magnitude, as correlações genotípicas diferiram freqüentemente em sinais das correlações fenotípicas. Essas diferenças em sinais encontradas indicam que as fontes de variação genotípicas e ambientais influenciaram as características, por meio de mecanismos diferentes (Falconer, 1981).

A produção de grãos na cultura do arroz é uma característica complexa, que é determinada pelos componentes primários: número de panículas/m², número de grãos/panícula, percentagem de grãos cheios e peso de 1.000 grãos.

Pode-se notar que no Aeroporto, dentro do grupo precoce, a produção apresentou correlações positiva e significativa com grãos por panícula, negativa e significativa com peso de 1.000 grãos e percentagem de grãos vazios. Para a característica peso de 1.000 grãos, a associação com produção foi de caráter negativo de elevada magnitude no grupo precoce e de baixa magnitude no grupo tardio. Essa característica também está correlacionada negativamente com número de grãos por panícula, o qual explica a associação negativa de produção com peso de 1.000 grãos, já que os cultivares mais produtivos, Primavera e CNA 8983 no grupo precoce, Carisma e IAC 202 no grupo tardio, que apresentaram maior número de grãos por panícula, também tiveram menor peso de 1.000 grãos.

As percentagens de grãos vazios tiveram associação negativa com produção de grãos, tanto no grupo precoce quanto no tardio, sendo no grupo precoce de elevada magnitude e de baixa magnitude no grupo tardio. O índice de colheita exibiu correlações positivas e de elevada magnitude, tanto no grupo precoce quanto no grupo tardio, com produção de grãos e número de grãos por panícula, ressaltando-se que, ainda no ensaio do Aeroporto, os cultivares mais produtivos tanto no grupo precoce (CNA 8983 e Primavera) como no grupo tardio (IAC 202, Carisma, Canastra, Caiapó e Xingu) mostraram maiores índices de colheita. Esse caráter pode ser considerado na seleção de cultivares para o aumento da produção.

A correlação entre ciclo (dias para a floração) e a produção de grãos foi positiva e de elevada magnitude no grupo precoce; no entanto, quando avaliada no grupo tardio, foi negativa e de elevada magnitude. Essa

discordância entre os sinais da correlação entre os dois grupos indica que em arroz de sequeiro, pelas diferenças das condições ambientais existentes nas diferentes regiões, os cultivares expressam maior potencial de produção quando sua floração está em torno dos 90 dias, devido ao fato de que os cultivares com ciclo (dias até a floração) menor limitam o tempo de sua permanência no campo, o qual não permite um bom desenvolvimento dos cultivares, provocando reduções em seu rendimento. Cultivares com maior número de dias até a floração estão expostos às condições adversas do ambiente, como deficiências hídricas, o que prejudica acentuadamente sua produção.

No ensaio da Agronomia, a característica que mais influenciou a produção de grãos foi o peso de 1.000 grãos, a mesma que teve associação positiva e de elevada magnitude no grupo precoce e de baixa magnitude no grupo tardio, o contrário do ensaio do Aeroporto, em que a correlação entre produção de grãos e peso de 1.000 grãos foi negativa e significativa no grupo precoce e positiva de baixa magnitude no grupo tardio.

Os caracteres percentagem de grãos vazios e dias para a floração estiveram correlacionados negativamente com a produção de grãos nos dois grupos, sendo de elevada magnitude para percentagem de grãos vazios e de baixa magnitude para dias para floração. A correlação entre altura de planta e produção foi negativa e de baixa magnitude no grupo precoce e positiva e de baixa magnitude no grupo tardio. No ensaio da Agronomia, os caracteres que mais influenciaram a produção de grãos foram peso de 1.000 grãos e percentagem de grãos vazios. O caráter perfilhamento útil nos ensaios do Aeroporto e da Agronomia, nos grupos precoce e tardio, esteve correlacionado positivamente com a produção de grãos, mas essa correlação foi de baixa magnitude, não tendo marcada influência na produção de grãos.

O ganho genético foi estimado separadamente nos cultivares precoces e nos de ciclo tardio pela ampla variabilidade genética presente nos cultivares avaliados. O fato de o arroz de sequeiro ser totalmente dependente das precipitações e como estas ocorrem irregularmente nas diferentes regiões, isso pode favorecer ou prejudicar mais intensamente um desses grupos. No grupo precoce, notou-se redução no rendimento de grãos ao passar da década de 50 para a 60. Essa redução foi devida, em grande parte, ao fato de os cultivares

Dourado Precoce e Pratão Precoce, que foram os mais plantados naquela década, terem apresentado suscetibilidade ao acamamento, o que provocou alta percentagem de esterilidade das espiguetas e baixo índice de colheita e, por conseguinte, houve redução em sua produção.

A partir da década de 60 até a de 80, os incrementos no rendimento de grãos foram consideráveis, uma vez que os esforços estavam concentrados em aumentar a produtividade e o nível de resistência às pragas, doenças e outros estresses (Breseghello, 1998). Com essas prioridades, foram liberados vários cultivares, entre os quais os mais plantados foram IAC 25, IAC 165, IAPAR 9 e Guarani, os mesmos que possuem baixa percentagem de grãos estéreis e maior peso de grãos, que são componentes principais da produção. Cabe salientar que o arroz de sequeiro, em meados da década de 80, passou a sofrer intensa concorrência do arroz longo fino (agulhinha) produzido em condições de arroz irrigado por inundação controlada. A preferência do consumidor e o maior preço do mercado do arroz irrigado levaram os melhoristas do arroz de sequeiro a dar novo direcionamento aos programas de melhoramento, estabelecendo como prioridade a qualidade física e química dos grãos. Devido a essa situação, as linhagens obtidas a partir de então não tiveram a mesma pressão de seleção, no que se refere à produtividade de grãos, uma vez que aquelas que possuíam grãos tipo agulhinha eram selecionadas em detrimento de maior potencial produtivo (Santos et al., 1997; Rangel et al., 2000). Nesse contexto, o melhoramento genético tem obtido progressos consideráveis com a liberação de cultivares que possuem excelente qualidade de grãos, como Primavera, Carajás e Bonança (Soares et al., 2001).

No grupo tardio, o incremento da produção foi crescente nas seis décadas de estudo, com exceção da de 70, quando houve decréscimo no rendimento. Nessa década participou somente o cultivar IAC 47, que possui reduzida capacidade de perfilhamento e alta percentagem de esterilidade, além de ter apresentado instabilidade de comportamento nos locais avaliados, com redução na produção. À semelhança do ocorrido com os cultivares do grupo precoce, a pesquisa foi eficiente em identificar cultivares que agregassem potencial de rendimento de grãos a outras características de interesse. Nesse sentido, os cultivares Caiapó, Canastra e Carisma estão entre os mais

produtivos e possuem grãos de qualidade semelhante ao tipo agulhinha do arroz irrigado.

Comparando a média geral de produtividade de grãos dos cultivares precoces, que foi de 3.731 kg/ha (Tabela 7), com a média dos cultivares tardios (2.859 kg/ha), verificou-se diferença de 832 kg/ha a favor do grupo precoce. Considerando que é esperado maior potencial de produtividade do grupo de cultivares de ciclo tardio, esses resultados são contraditórios, influenciados em grande parte pelo fato de, no presente estudo, os cultivares precoces terem sido menos prejudicados pelas deficiências hídricas no final do ciclo.

O progresso genético no período total envolvido no estudo (décadas de 50 e 2000), foi de 501 kg/ha, o qual redundou em ganho de 100,2 kg/ha/década (0,3% ao ano) no grupo precoce. No grupo tardio, o ganho foi de 1.777 kg/ha, ao passar de 1.703 kg/ha na década de 50 para 3.480 kg/ha na de 2000, gerando ganho de 355,4 kg/ha/década ou 2,087% ao ano, resultados esses inferiores aos obtidos por Soares et al. (1999), que encontraram no programa de melhoramento genético de arroz de sequeiro desenvolvido em Minas Gerais, no período de 1974/75 a 1994/95, ganhos genéticos de 1,26% para os cultivares precoces e de 3,37% para os genótipos de ciclo médio. Outros trabalhos vêm demonstrando reduzidos ganhos nos diferentes programas de melhoramento do arroz. Avaliando o programa de melhoramento genético do arroz irrigado no Nordeste do Brasil, Breseghello (1999) notou que ocorreram ganhos de produtividade de 0,77% ao ano. Ao analisarem o programa de melhoramento conduzido no médio norte do Brasil, Rangel et al. (2000) detectaram ganho médio por ciclo para produtividade de 0,5% e ganho médio anual ainda menor de 0,3%. Avaliando o programa de melhoramento de arroz irrigado de Minas Gerais de 1980/81 a 1995/96, fase posterior à substituição dos cultivares tradicionais pelos modernos de porte baixo, Santos et al. (1997) estimaram ganho para produtividade de 0,25% ao ano. A redução e, ou, a estabilização dos ganhos genéticos observados nos programas de melhoramento de arroz, a partir da década de 90, indicaram que novas alternativas de melhoramento devem ser empreendidas. No entanto, a floração média dos cultivares do grupo precoce teve um incremento de 10 dias a partir da década de 50 até a de 2000. Esse incremento na floração média foi devido ao fato de os programas de melhoramento buscarem a obtenção de cultivares

com floração média em torno de 85 a 90 dias, como indicado por Rangel et al. (2000), já que os cultivares podem reduzir, de maneira acentuada, o seu ciclo nas diferentes condições ambientais, comprometendo sua produtividade. A altura média das plantas teve uma redução de 21 cm nas seis décadas de estudo; isso, de certa forma, era esperado, já que os programas de melhoramento genético de arroz de sequeiro objetivam sempre obter linhagens de porte médio para reduzir o acamamento ocorrido com as plantas antigas, que possuem médias altas de altura (Fonseca et al., 2001).

A maior amplitude da diversidade genética entre os cultivares Guarani e Bico Ganga, avaliada pela distância de Mahalanobis, deve-se ao fato de serem os mais contrastantes nas principais características, como produção de grãos, em que o cultivar Guarani alcançou maior média de produção, com 4.179 kg/ha, e o Bico Ganga, a menor média, com 1.483 kg/ha (Tabela 7). No que se refere ao ciclo (dias para floração), ambos também se encontravam entre os mais contrastantes, pois o cultivar Guarani é um dos mais precoces, com 78 dias para a floração, e o Bico Ganga, um dos mais tardios, com 105 dias (Tabela 9). A estabilidade e adaptabilidade dos cultivares avaliados pelo método de Annicchiarico também corroboram essa divergência, pois o Guarani atingiu o maior índice ω_1 e o cultivar Bico Ganga, o segundo menor índice ω_1 , quando avaliado tanto nos locais favoráveis quanto nos desfavoráveis (Tabela 14). No entanto, os cultivares Amarelão e IAC 25, indicados como os mais similares pela distância de Mahalanobis, apresentaram-se estáveis e com boa adaptação nos locais avaliados.

A análise de agrupamento pelo método de Tocher separou os cultivares em nove grupos, sendo o grupo I o mais amplo, constituído por cultivares de maior precocidade, maior altura de planta e maior peso de 1.000 grãos. O grupo II foi formado pelos cultivares IAC 47, Xingu, Rio Paranaíba, IAC 1246 e Araguaia, existindo parentesco entre eles, pois Xingu, Rio Paranaíba e Araguaia são descendentes do cultivar IAC 47 e este do cultivar IAC 1246. O grupo III foi formado por cultivares gerados após a década de 2000, cuja característica principal foi a de possuir grande número de grãos por panícula, grãos de menor peso e plantas mais baixas e de maior perfilhamento, sendo o grupo IV formado pelos cultivares Pratão, Bico Ganga e Pérola, considerados como tradicionais. O grupo V foi formado pelos cultivares Bonança e Carisma,

originários de cruzamentos realizados pelo Centro de Agricultura Tropical CIAT, na Colômbia. Os cultivares Canastra, CNA 8711, Caiapó e Guarani formaram grupos isolados.

O método hierárquico do vizinho mais próximo apresentou maior eficiência na formação dos grupos, sendo formados seis destes, diferentemente do método de Tocher, que formou nove grupos. Os grupos nos quais se incluíram novos cultivares foram I, II e III. Os grupos IV, V e VI não foram modificados, sendo iguais aos formados pelo método de Tocher.

Para fins de melhoramento, os cultivares de maior valor para serem utilizados em programas de cruzamentos na cultura do arroz de sequeiro foram IAC 25, IAC 165, IAPAR 9, Guarani e Carajás, do grupo I; e Primavera, CNA 8983, IAC 202, Bonança, Carisma e Canastra, dos grupos III, V e VI, por apresentarem uma série de caracteres de interesse, como precocidade, altos rendimentos e ampla estabilidade e adaptabilidade às diferentes condições ambientais de sequeiro para os cultivares do grupo I e os que integram os grupos III, V e VI. Além dessas características, esses grupos apresentam tipo de grão agulhinha, fator de grande importância na liberação dos cultivares.

6. CONCLUSÕES

1. Os ganhos genéticos para produção de grãos foram de 0,3 e 2,09% ao ano, nos grupos precoce e tardio, respectivamente.
2. A altura de planta média dos cultivares reduziu-se em 21 cm no grupo precoce e 38 cm no tardio, no período avaliado.
3. Houve incremento médio de 10 dias no ciclo (dias para o florescimento) no grupo dos cultivares precoces e decréscimo de 13 dias no grupo dos tardios.
4. Os cultivares de maior rendimento médio e que se comportaram como mais estáveis foram Bonança e CNA 8983 (após 2000), Carajás e Primavera (década 90–2000), Guarani e IAPAR 9 (década 80–90) e IAC 25 e IAC 165 (década 70–80).
5. Os caracteres que mais influenciaram a produtividade foram grãos por panícula, percentagem de grãos estéreis, peso de 1.000 grãos e índice de colheita.
6. Os cultivares Guarani e Bico Ganga foram os mais divergentes geneticamente e Amarelão e IAC 25, os mais similares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implication of genotype environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v.4, n.5, p.503-7, 1964.

ALVES, G. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Desempenho de cultivares antigas e modernas de feijão avaliadas em diferentes condições ambientais. **Ciências Agrotécnicas**, Lavras, v.25, n.4, p.853-69, 2001.

ANNICCHIARICO, P. Cultivars adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Plant Breeding**, Madison, v.4, p.269-78, 1992.

ATROCH, L.; SOUSA, G. H. N. Progresso genético em arroz de várzea úmida no Estado de Amapá. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.4, p.767-71, 2000.

ATROCH, L.; SOARES, A. A.; RAMALHO, M. A. P. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de arroz de sequeiro testadas no Estado de Minas Gerais, **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.24, n.3, p.541-8, jul./set. 2000.

BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2001. 500 p.

BORGES, R. S. **Caracteres correlacionados com a produção e suas alterações no melhoramento genético do milho (*Zea mays* L.)**. Viçosa, MG: Impr. Univ., 1990. 64 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba.

BRESEGHELLO, F.; NAKANO, P. H. R.; 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, 1999.

BRESEGHELLO, F.; STONE, L. F. (Eds.). **Tecnologia para o arroz de terras altas**. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 1998. 161 p.

BUENO, L. C.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, S. P. **Melhoramento genético de plantas**: princípios e procedimentos. Lavras, MG: UFLA, 2001. 282 p.

CARVALHO, H. W. L.; LEAL, M. L. S.; CARDOSO, M. J.; SANTOS, M. X.; CARVALHO, B. C. L.; TABOSA, J. N.; LIRA, M. A.; ALBURQUERQUE, M. M. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares e híbridos de milho no Nordeste brasileiro no ano agrícola de 1998. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.4, abr. 2001.

CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C.; MELO, I. S.; INGLIS, M. C. V. (Eds.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis, MT: Fundação MT, 2001. p.673-713.

COELHO, A. S. G.; VALVA, F. D. O processo evolutivo e o melhoramento de plantas. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C.; MELO, I. S.; INGLIS, M. C. V. (Eds.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis, MT: Fundação MT, 2001. p.57-78.

COIMBRA, J. L. M.; CARVALHO, F. I. F. Divergência genética em feijão (*Phaseolus vulgaris* L) com grão tipo carioca. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.4, n.3, p.211-7, 1998.

COOPER, M. Concepts and strategies for plant adaptation research in rain fed lowland rice. **Field Crops Research**, v.64, n.1-2, p.13-34, nov.1999.

COSTA, J. G.; MARINHO, J. T. S.; PEREIRA, R. C. A.; LEDO, F. J. S.; MORAES, R. N. S. Adaptabilidade e estabilidade da produção de cultivares de milho, recomendados para o estado do Acre. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.23, n.1, p.7-11, jan./mar. 1999.

CRUZ, C. D. **Aplicações de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas**. Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 1990. 188 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba.

CRUZ, C. D. **Programa genes**: versão Windows; aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa, MG: UFV, 2001. 648 p.

CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. Decomposição da interação genótipo x ambiente em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, Viçosa, v.38, p.422-30, 1991.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 1997. 390 p.

CRUZ, C. D.; TORRES, R. A.; VENCOVSKY, R. A alternative approach to the stability analysis proposed by Silva e Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.12, p.567-80, 1989.

DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R. **Interação genótipos x ambientes**: uma introdução à análise AMMI. Ribeirão Preto, SP: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60 p. (Série Monografias, 9).

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v.6, p.36-40, 1966.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Trad. SILVA, M. A.; SILVA, J. C. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1981. 279 p.

FERRÃO, M. A. G.; VIEIRA, C.; CRUZ, C. D.; CARDOSO, A. A. Genetic divergence on common bean under tropical winter conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.8, p.1089-98, Aug. 2002.

FINLAY, K. W.; WILKINSON, G. N. The analysis of adaptation in a plant-breeding program. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.14, p.742-54, 1963.

FONSECA, J. R.; GUIMARAES, E. P.; CASTRO, E. M. Variação da altura de planta dos cultivares de arroz de terras altas lançadas no Brasil após 1985. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1., 2001, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: Centro de Cultura e Convenções de Goiânia, 2001. Disponível em: <http://www.sbmp.org.br/>. Acesso em: 04 jan. 2003.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal, SP: Funep, 1993. 221 p.

FUZATTO, S. R.; FERREIRA, D. F.; RAMALHO, M. A. P.; RIBEIRO, P. H. E. Divergência genética e sua relação com os cruzamentos dialéticos na cultura do milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.26, n.1, p.22-32, jan./fev. 2002.

GUIMARAES, E. P.; SANT`ANA, E. P. Sistema de cultivo In: VIEIRA, N. R. A.; SANTOS, A. B.; SANT`ANA, E. P. (Eds.). **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás, GO: EMBRAPA Arroz e Feijão, 1999. p.17-35.

LANGE, C. E. Progresso genético para rendimento de grãos de soja em vinte anos de melhoramento no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1., 2001, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: Centro de Cultura e Convenções de Goiânia, 2001. Disponível em: <http://www.sbmp.org.br/>. Acesso em: 04 jan. 2003.

MACHADO, C. F.; NUNES, G. H. S.; FERREIRA, D. F.; SANTOS, J. B. Genetic divergence among genotypes of common bean thought of multivariate techniques. **Ciência Rural**, v.32, n.2, p.251-8, mar. 2002.

MARIOTTI, J. A.; OYARZABAL, E. S.; OSA, J. M.; BULACIO, A. M. R.; ALMADA, G. H. Análisis de estabilidad y adaptabilidad de genotipos de caña de azúcar. Interacciones dentro de una localidad experimental. **Revista Agronómica del Nordeste Argentino**, Tucuman, v.13, p.105-27, 1976.

MELLADO, M. Z. Mejoramiento de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) en la zona Centro sur de Chile, análisis del rendimiento y variables asociadas en trigos de primavera. **Agricultura Técnica**, Chillán, v.60, n.1, enero 2000.

MILLER, F. R.; KEBEGE, Y. Genetic contributions to yield gains in sorghum, 1950 to 1980. In: FEMR, W. R. (Ed.). **Genetic contributions to yield gains of five major crop**. Madison: Crop Science Society of America/American Society of Agronomy, 1984. p. 1-14.

MORAIS, O. P. **Adaptabilidade, estabilidade de comportamento e correlações fenotípicas, genotípicas e de ambiente em variedades e linhagens de arroz (*Oryza sativa* L.)**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1980. 70 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MORAIS, O. P. **Análise multivariada da divergência genética dos progenitores, índice de seleção e seleção combinada numa população de arroz oriunda de intercruzamentos, usando macho-esterilidade**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1992. 251 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

NAOE, L. K.; SEDIYAMA, C. S.; GLAUCO, V. M.; COSME, D. C.; MOREIRA, M. A. Parâmetros genéticos estimados em cruzamentos com genitores de diferentes níveis de divergência em soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1., 2001, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: Centro de Cultura e Convenções de Goiânia, 2001. Disponível em <http://www.sbmp.org.br/>. Acesso em: 04 jan. 2003.

NEDEL, J. L. Progresso genético no rendimento de grãos de cultivares de trigo lançados para cultivo entre 1940 e 1992. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.10, p.1565-70, 1994.

NETO, J. F. B.; MATIELLO, R. R.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, J. M. S.; PEGORARO, D. G.; SCHINEIDER, F.; SORDI, M. E. B.; VACARO, E. Progresso genético no melhoramento da aveia-branca no Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.8, ago. 2000.

PEREIRA, J. J. **Análises de agrupamento e discriminante no melhoramento Genético: aplicação na cultura do arroz (*Oryza sativa* L.)**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1999. 191 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PIXLEY, K. V.; BJAMASON, M. S. Stability of grain yield, endosperm modification, and protein quality of hybrid and open-pollinated quality protein maize (QPM) cultivars. **Crop Science**, v.42, n.6, p.1882-9, nov./dec. 2002.

PLAISTED, R. L.; PETERSON, L. C. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations and seasons. **Amer. Pot. J.**, v.36, p.381-5, 1959.

QUEIROZ, M. A. Melhoramento genético no Brasil; realizações e perspectivas In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C.; MELO, I. S.; INGLIS, M. C. V. (Eds.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis, MT: Fundação MT, 2001. p.1-28.

RANGEL, N. P. H.; PEREIRA, J. A.; MORAIS, O. P.; GUIMARAES, E. P.; TAKUNI, Y. Ganhos na produtividade de grãos pelo melhoramento genético do arroz irrigado no meio-norte do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.8, ago. 2000.

REIS, W. P.; VELLO, N. A.; RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F. Divergência genética entre cultivares de trigo recomendados no Brasil nos anos de 1996 e de 1997, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1., 2001, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: Centro de Cultura e Convenções de Goiânia, 2001. Disponível em <http://www.sbmp.org.br/>. Acesso em: 04 jan. 2003.

ROBERTSON, A. Experimental design on the measurement of heritabilities and genetic correlations. **Biometrical genetics**. New York: Pergamon Press, 1959. 186 p.

RODRIGUES, J. A. S. **Progresso genético e potencial de risco da cultura do sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)**. Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 1990. 117 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba.

SANTOS, P. G.; SOARES, P. C.; SOARES, A. A.; MORAIS, O. P.; CORNELIO, V. M. O. Estimativas do progresso genético do programa de arroz irrigado em Minas Gerais no período de 1974 a 1996. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22, 1997, Balneário Camboriú. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 1997. p.27-30.

SANTOS, R. C.; FARIAS, F. J. C.; RÊGO, G. M.; SILVA, A. P. G. da.; FERREIRA FILHO, J. R.; VASCONCELOS, O. L.; COUTINHO, J. L. B. Estabilidade fenotípica de cultivares de amendoim avaliadas na região nordeste do Brasil. **Ciências e Agrotecnologia**, Lavras, v.23, n.4, p.808-12, out./dez. 1999.

SCAPIM, C. A.; OLIVEIRA, V. R.; BRACCINI, A. L. Yield stability in maize (*Zea mays* L.) and correlations among the parameters of the Eberhart and Russell, Lin and Binns and Huehn models. **Genetics and Molecular Biology**, v.23, n.2, p.387-93, jun. 2000.

SKOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v.30, n.3, p.507-12, sep. 1974.

SILVA, J. G. C.; BARRETO, J. N. Aplicação da regressão linear segmentada em estudos da interação genótipos x ambientes. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 1., CAMPINAS, 1985. **Resumos...** Campinas, SP: Fundação Cargill, 1985. p.49-50.

SOARES, A. A.; SANTOS, P. G.; MORAIS, O. P.; SOARES, P. C.; REIS, M. S.; SOUZA, M. A. Progresso genético obtido pelo melhoramento de arroz de sequeiro em 21 anos de pesquisa em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.3, p.415-24, mar. 1999.

SOARES, A. A. **Desempenho do melhoramento genético do arroz de sequeiro e irrigado na década de oitenta em Minas Gerais**. Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 1992. 188 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

SOARES, A. A.; MORAIS, O. P.; SOARES, P. C. Competição de cultivares e linhagens de arroz de sequeiro em Minas Gerais. Resultados de 1984/85 e 1985/86. In: REUNIÃO NACIONAL DE ARROZ, 3, 1987, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: [s.n.], 1987. p.132.

SOARES, A. A.; CORNELIO, V. M. O.; SOARES, P. C.; SANTOS, P. G.; REIS, M. S. Desempenho do cultivar de arroz Primavera em condições de sequeiro tradicional com irrigação por aspersão em Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1., 2001, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: Centro de Cultura e Convenções de Goiânia, 2001. Disponível em <http://www.sbmp.org.br/>. Acesso em: 04 jan. 2003.

SOARES, P. C. **Correlações, coeficientes de trilha e resposta indireta à seleção em genótipos de arroz (*Oryza sativa* L.) cultivados em condições de irrigação contínua e em várzea úmida**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1987. 72 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SOUZA, M. A. **Adaptabilidade, estabilidade, correlações e coeficientes de trilha em genótipos de trigo (*T. aestivum* L.), em doze ambientes de Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1985. 118 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

VEGA, A. J.; CHAPMAN, S. C.; HALL, A. J. Genotype by environment interaction and indirect selection for yield in sunflower. **Field Crops Research**, v.72, n.1, p.17-38, aug. 2001.

VENDRUSCOLO, E. C. G.; SCAPIM, C. A.; PACHECO, C. A. P.; OLIVEIRA, V. R.; BRACCINI, A. L.; VIDIGAL, M. C. G. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho pipoca na região centro-sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.1, jan. 2001.

VERMA, M. M.; CHAHAL, G. S.; MURTY, B. R. Limitations of conventional regression analysis: a proposed modification. **Theoretical and Applied Genetics**, v.53, p.89-91, 1978.

VIDIGAL, M. C. G.; VIDIGAL FILHO, P. S.; AMARAL JUNIOR, A. T.; BRACCINI, A. L. Divergência genética entre cultivares de mandioca por meio de estatística multivariada. **Bragantia**, v.56, n.2, p.263-71, 1997.

WADE, L. J.; MC LAREN, C. G.; QUINTANA, L.; HARNPICHITVITAYAD, D.; RAJATASEREEKUL, S.; SARAWGI, A. K.; KUMAR, A.; AHMED, H. U.; SARWOTO; SINGH, A. K.; RODRIGUES, R.; SIOPONGCO, J.; SARKARUNG, S. Genotype by environment interaction across diverse rainfed lowland rice environments. **Field Crops Research**, v.64, n.1-2, p.35-50, nov. 1999.

WRICKE, G. Zur berechnung der okovalenz bei sommerweizen und hafer **Pflanzenzuchtung**, Berlin, v.52, p.127-38, 1965.

YOKOYAMA, L. P.; RUCATTI, E. G.; KLUTHCOUSKI, J. Economia da produção: conjuntura, mercado e custos. In: VIEIRA, N. R. A.; SANTOS, A. B.; SANT'ANA, E. P. (Eds.). **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás, GO: EMBRAPA Arroz e Feijão, 1999. p.36-57.