

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



Tese

**Identificação de famílias mutantes de arroz
(*Oryza sativa* L.) para características de importância
agronômica e tolerância a baixas temperaturas na
germinação**

Viviane Kopp da Luz

Pelotas, 2011

Viviane Kopp da Luz

**Identificação de famílias mutantes de arroz
(*Oryza sativa* L.) para características de importância
agronômica e tolerância a baixas temperaturas na
germinação**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências (área do conhecimento: Fitomelhoramento).

Orientador: PhD. Antonio Costa de Oliveira – FAEM/UFPeI

Co-orientadores: Dr. Ariano Martins de Magalhães Júnior – EMBRAPA

Dr. Luciano Carlos da Maia – FAEM/UFPeI

Pelotas, 2011

Dados de catalogação na fonte:
(Marlene Cravo Castillo – CRB-10/744)

L979i Luz, Viviane Kopp da

Identificação de famílias mutantes de arroz (*Oryza sativa* L.) para características de importância agrônômica e tolerância a baixas temperaturas na germinação / Viviane Kopp da Luz ; orientador Antonio Costa de Oliveira; co-orientadores Ariano Martins de Magalhães Júnior e Luciano Carlos da Maia- Pelotas,2011.-88f. Tese (Doutorado) –Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel . Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2011.

1.*Oryza sativa* 2.Variabilidade genética 3.Mutação
4.Tolerância 5.Estresse I.Oliveira, Antonio Costa de(orientador)
II. Título.

CDD 633.18

Banca Examinadora:

PhD. Antonio Costa de Oliveira - FAEM/UFPeI (presidente)

Dr. Luciano Carlos da Maia - FAEM/UFPeI

Dr^a. Liliane Marcia Mertz - UFSM

Dr^a. Caroline Marques Castro - Embrapa /CPACT

**Aos meus pais Breno e Elisabeth
por todo amor e carinho**

Dedico

Agradecimentos

Agradeço a Deus pelo dom da vida.

Ao Professor Antonio Costa de Oliveira pela oportunidade, orientação, amizade e ensinamentos transmitidos.

Ao professor Luciano Carlos da Maia pela transmissão de conhecimentos, apoio e incentivo constante.

Ao pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Ariano Martins de Magalhães Jr. pelo apoio e colaboração.

Aos meus pais e meus irmãos, Maurício, Luciana e Fernando pelo carinho, compreensão e incentivo à realização de mais uma etapa de minha vida.

Ao meu irmão Maurício por toda ajuda, atenção e pelo constante incentivo.

A amiga e colega Gabriela M. da Fonseca, pela grande amizade, companheirismo e ajuda na condução do trabalho.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Genômica e Fitomelhoramento, Adriana Bresolin, Naciele Marini, Renata Ahlert, Taciane Finatto, Tatiane Souza, Marina Fonseca, Claudete Mistura, Daniel Farias, Solange Silveira, Gabriela Guerra, Railson Santos, Mariana Kruger, Henrique Luche, Rafael Nornberg, Sidney Kavalco, Camila Pegoraro e Glacy Silva pela participação no desenvolvimento deste trabalho e pelos agradáveis momentos de convivência e troca de experiências.

Aos estagiários e bolsistas de iniciação científica do Laboratório de Genômica e Fitomelhoramento pela grande ajuda durante as avaliações dos experimentos.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia/FAEM-UFPeL, pela oportunidade de realização do curso. A CAPES, pela viabilização financeira deste projeto.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, pela utilização de sua estrutura física no desenvolvimento dos experimentos.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo

LUZ, VIVIANE KOPP DA. **Identificação de famílias mutantes de arroz para características de importância agronômica e tolerância a baixas temperaturas na germinação.** 2011. 88f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

A existência de variabilidade é fundamental para o sucesso do melhoramento genético. O uso de agentes mutagênicos pode incrementar a frequência de mutação, possibilitando o desenvolvimento de variação para as características de interesse. A ocorrência de baixas temperaturas é um estresse comum na cultura do arroz em regiões temperadas, portanto a tolerância a baixas temperaturas é uma característica desejável em genótipos brasileiros de arroz cultivados no sul do país, onde as temperaturas baixas prejudicam a germinação, o estabelecimento da lavoura e diminuem o rendimento de grãos. Este trabalho teve como objetivo identificar genótipos mutantes de arroz para características de importância agronômica e avaliar a tolerância ao estresse por baixas temperaturas no estágio germinativo. No estágio germinativo 400 famílias M₃ e as testemunhas BRS Querência, BR IRGA 409 e Nourim Mochi, foram submetidas a tratamentos com diferentes temperaturas (13 °C e 25 °C) e comparados quanto ao seu desempenho relativo, medido pelo comprimento do coleótilo, comprimento de raiz e comprimento de parte aérea. Para avaliação dos caracteres de importância agronômica, sementes de arroz da geração M₃ foram semeadas em campo experimental na Embrapa Clima Temperado. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completamente casualizados com quatro repetições. Foram avaliados sete caracteres de importância agronômica: comprimento da panícula principal, em cm; peso da panícula principal, em g; massa de grãos da panícula principal, em g; comprimento da folha bandeira, em cm; largura da folha bandeira, em cm; estatura de planta, em cm, e comprimento de colmo, em cm. Os resultados indicam que o agente mutagênico etilmetanosulfonato (EMS), foi eficiente na geração de mutantes de arroz para seis dos caracteres avaliados, exceto para o caráter comprimento da folha bandeira, onde não foi verificado incremento da variabilidade genética. A indução de mutação também foi eficiente em gerar variabilidade genética para tolerância a baixas temperaturas no estágio de germinação, porém os resultados também indicaram a ocorrência de um grande número de mutações deletérias, afetando de forma negativa o desempenho das famílias mutantes.

Palavras-chave: Mutação, Tolerância, Estresse, Variabilidade genética.

Abstract

LUZ, VIVIANE KOPP DA. **Identification of mutant families of rice for traits of agronomic importance and tolerance to low temperatures during germination.** 2011. 88f. Thesis (Doctorate) – Post-graduate Program in Agronomy. Federal University of Pelotas, Pelotas-RS.

The existence of variability is essential for successful breeding. The use of mutagens can increase the mutation frequency, enabling the development of variation for traits of interest. The occurrence of low temperatures is a common stress in rice cultivation in temperate regions, therefore the tolerance to low temperatures is a desirable feature of Brazilian rice genotypes grown in the South, where low temperatures affect the germination and crop establishment causing reductions in the grain yield. This work aimed to identify mutants of rice genotypes for traits of agronomic importance and to evaluate the low temperature stress tolerance of genotypes on germination stage. In stage germination, 400 M₃ families and control genotypes BRS Querência, BR IRGA 409 and Nourim Mochi, were subjected to treatments with different temperatures (13 °C and 25 °C) and compared for their relative performance, measured by the coleoptile, root and shoot length. To evaluate the traits of agronomic importance, M₃ rice seeds were sown in the experimental field at Embrapa Clima Temperado. The experimental design was a completely randomized block with four replications. Seven traits of agronomic importance were evaluated: length of main panicle in cm, weight of main panicle in g; grain mass of the main panicle in g, length of flag leaf, in cm, width of flag leaf, in cm, plant height, in cm, and stem length, in cm. The results indicate that the ethylmethanesulfonate mutagen (EMS) was effective in generating mutants of rice for six of the traits, except for the character length of the flag leaf, which did not show increase in genetic variability. The induction of mutation was also efficient in generating genetic variability for tolerance to low temperatures at the stage of germination, but the results also indicated the occurrence of a large number of deleterious mutations, affecting negatively the performance of the mutant families.

Keywords: Mutation, Tolerance, Stress, Genetic variability.

Lista de Tabelas

Capítulo I. Caracterização de famílias mutantes de arroz quanto à tolerância ao estresse por baixas temperaturas no estágio germinativo

Tabela 1	Resumo da análise de variância para o desempenho relativo dos caracteres comprimento de coleóptilo (DR cc), comprimento de raiz (DR cr) e comprimento de parte aérea (DR cpa), de 400 famílias mutantes M ₃ e as testemunhas BRS Querência, BR IRGA 409 e Nourim Mochi. FAEM/UFPeL-LGF, Pelotas-RS, 2011.....	31
Tabela 2	Desempenho relativo (DR) das variáveis comprimento de coleóptilo (DR cc), comprimento de raiz (DR cr) e comprimento de parte aérea (DR cpa) das testemunhas Nourim Mochi, BR IRGA 409 e BRS Querência. FAEM/UFPeL-LGF, Pelotas-RS, 2011.....	31
Tabela 3	Desempenho relativo do comprimento de coleóptilo (DR cc) de 400 famílias mutantes M ₃ , em relação à testemunha Nourim Mochi. FAEM/UFPeL-LGF, Pelotas-RS, 2011.....	33
Tabela 4	Desempenho relativo do comprimento de coleóptilo (DR cc) de 400 famílias mutantes M ₃ , em relação à testemunha BR IRGA 409. FAEM/UFPeL-LGF, Pelotas-RS, 2011.....	34
Tabela 5	Desempenho relativo do comprimento de coleóptilo (DR cc) de 400 famílias mutantes M ₃ , em relação à testemunha BRS Querência. FAEM/UFPeL-LGF, Pelotas-RS, 2011.....	35
Tabela 6	Desempenho relativo do comprimento de raiz (DR cr) de 400 famílias mutantes M ₃ , em relação à testemunha Nourim Mochi. FAEM/UFPeL-LGF, Pelotas-RS, 2011.....	37
Tabela 7	Desempenho relativo do comprimento de raiz (DR cr) de 400 famílias mutantes M ₃ , em relação à testemunha BR IRGA 409. FAEM/UFPeL-LGF, Pelotas-RS, 2011.....	38

Tabela 8	Desempenho relativo do comprimento de raiz (DR cr) de 400 famílias mutantes M ₃ , em relação à testemunha BRS Querência. FAEM/UFPeL-LGF, Pelotas-RS, 2011.....	39
Tabela 9	Desempenho relativo do comprimento de parte aérea (DR cpa) de 400 famílias mutantes M ₃ , em relação à testemunha Nourim Mochi. FAEM/UFPeL-LGF, Pelotas-RS, 2011.....	42
Tabela 10	Desempenho relativo do comprimento de parte aérea (DR cpa) de 400 famílias mutantes M ₃ , em relação à testemunha BR IRGA 409. FAEM/UFPeL-LGF, Pelotas-RS, 2011.....	43
Tabela 11	Desempenho relativo do comprimento de parte aérea (DR cpa) de 400 famílias mutantes M ₃ , em relação à testemunha BRS Querência. FAEM/UFPeL-LGF, Pelotas-RS, 2011.....	44
Tabela 12	Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis: comprimento coleótilo (CC), comprimento de raiz (CR) e comprimento de parte aérea (CPA) de 400 famílias mutantes M ₃ e as testemunhas Nourim Mochi, BR IRGA 409 e BRS Querência. FAEM/UFPeL-LGF, Pelotas-RS, 2011.....	45

Capítulo II. Identificação de variabilidade para caracteres de importância agrônômica em famílias mutantes de arroz irrigado

Tabela 1	Resumo da análise de variância para os caracteres comprimento de panícula principal (CP), peso da panícula principal (PP), massa de grãos da panícula principal (MGP), comprimento da folha bandeira (CF), largura da folha bandeira (LF), estatura de planta (EP) e comprimento de colmo (CC), de 340 famílias mutantes M ₃ e a testemunha BRS Querência. FAEM/UFPeL-LGF, Pelotas-RS, 2011.....	51
Tabela 2	Comprimento da panícula principal de 340 famílias mutantes M ₃ em relação à testemunha BRS Querência. FAEM/UFPeL-LGF, Pelotas-RS, 2011.....	52
Tabela 3	Peso da panícula principal de 340 famílias mutantes M ₃ em relação à testemunha BRS Querência. FAEM/UFPeL-LGF, Pelotas-RS, 2001.....	53
Tabela 4	Massa de grãos da panícula principal de 340 famílias mutantes M ₃ em relação à testemunha BRS Querência. FAEM/UFPeL-LGF, Pelotas-RS, 2011.....	54

Tabela 5	Comprimento da folha bandeira de 340 famílias mutantes M ₃ em relação à testemunha BRS Querência. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011.....55
Tabela 6	Largura da folha bandeira de 340 famílias mutantes M ₃ em relação à testemunha BRS Querência. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011....56
Tabela 7	Estatura de planta de 340 famílias mutantes M ₃ em relação à testemunha BRS Querência. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011....58
Tabela 8	Comprimento de colmo de 340 famílias mutantes M ₃ em relação à testemunha BRS Querência. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011...61
Tabela 9	Coeficiente de Correlação de Pearson entre as variáveis: comprimento de panícula principal (CP), peso da panícula principal (PP), massa de grãos da panícula principal (MGP), comprimento da folha bandeira (CF), largura da folha bandeira (LF), estatura de planta (EP) e comprimento de colmo (CC), de 340 famílias mutantes M ₃ e a testemunha BRS Querência. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011.....63
Tabela 10	Estimativas dos efeitos diretos e indiretos entre a variável massa de grãos da panícula principal (MGP) com o comprimento da panícula principal (CP), peso da panícula principal (PP), comprimento da folha bandeira (CF), largura da folha bandeira (LF), estatura de planta (EP) e comprimento de colmo (CC), em 340 famílias mutantes M ₃ e a cultivar BRS Querência. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011.....65

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Lista de Tabelas	7
1. Introdução geral	12
2. Revisão bibliográfica	14
2.1 Cultura do arroz	14
2.2 Características morfológicas da espécie (<i>O. sativa</i> L.)	16
2.3 Mutações induzidas	18
2.4 Estresse por baixas temperaturas	19
2.5 Tolerância a baixas temperaturas em arroz	21
2.6 Referências bibliográficas	23
3. Capítulo I. Caracterização de famílias mutantes de arroz quanto à tolerância ao estresse por baixas temperaturas no estágio germinativo	27
3.1 Introdução	27
3.2 Material e métodos	29
3.3 Resultados e discussão	31
3.4 Conclusão	45
3.5 Referências bibliográficas	46
4. Capítulo II. Identificação de variabilidade para caracteres de importância agrônômica em famílias mutantes de arroz irrigado	48
4.1 Introdução	48
4.2 Material e métodos	49
4.3 Resultados e discussão	51
4.4 Conclusão	65
4.5 Referências bibliográficas	66
5. Considerações Finais	68
Apêndices	69

1 INTRODUÇÃO GERAL

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais cultivados no mundo, sendo o principal componente da cesta básica para a alimentação de mais da metade da população. No Brasil, a cultura corresponde a 20% da produção de grãos, sendo que 60% desta produção se concentra no estado do Rio Grande do Sul, com uma área total semeada em torno de 1,17 milhões de hectares, com uma produtividade média de 7.658 t ha⁻¹ (IRGA, 2011).

O arroz é cultivado em praticamente todos os estados do país, em latitudes que variam de 5 °N até 35 °N, sendo uma das culturas mais afetadas por condições climáticas adversas. No Rio Grande do Sul, a semeadura do arroz pode ocorrer em condições ambientais adversas como baixas temperaturas do ar e do solo (STEINMETZ et al., 2001). Nestas condições é observada baixa germinação das sementes prejudicando a densidade das plantas na lavoura, resultando em menor aproveitamento da área cultivada, favorecendo o crescimento de plantas daninhas, acarretando maior custo de produção e redução da produtividade. A semeadura em período de baixas temperaturas é realizada para que a floração do arroz não ocorra em condições de temperatura do ar inferior à 15 °C, que pode ocasionar decréscimo no rendimento de grãos (TERRES e GALLI, 1985). A fertilidade da espiguetta de arroz é reduzida quando as plantas são expostas a baixas temperaturas no estágio de emborrachamento, porque nessas condições o desenvolvimento do micrósporo torna-se deficiente (SAITO et al., 2003).

A baixa temperatura é provavelmente um dos estresses ambientais mais comuns durante a germinação e a emergência em culturas de verão semeadas precocemente (BLUM, 1988).

Segundo Steinmetz et al. (1996), a produtividade do arroz irrigado no Rio Grande do Sul tem sofrido fortes oscilações ao longo dos anos, ocasionadas, principalmente, pelas condições climáticas, sendo que a ocorrência de baixas temperaturas tem sido um dos fatores determinantes dessa variabilidade nos níveis

de produtividade. As perdas causadas por frio em cultivares de arroz podem chegar ao índice de 50%, dependendo do estágio de desenvolvimento em que a planta é exposta ao estresse. Portanto, é desejável a utilização de genótipos tolerantes à esse estresse que permitam a redução de perdas, já que o período de ocorrência de baixas temperaturas é de difícil previsão, assim como a intensidade.

Os danos mais comuns em decorrência ao estresse por baixas temperaturas são: falhas na germinação, atraso na emergência de plântulas, redução da estatura de planta, descoloração de folhas, degeneração da ponta da panícula, exerceção incompleta da panícula, atraso na floração, alta esterilidade das espiguetas e maturação irregular de grãos (YOSHIDA, 1981).

Dentre os mecanismos fisiológicos, responsáveis pelos danos causados por baixas temperaturas, a perda da integridade da membrana celular, como consequência da resposta física dos lipídios ao estresse, é o componente crítico, e a capacidade de síntese de ácidos graxos insaturados ou um maior conteúdo desses seria fundamental na resistência (BEDI e BASRA, 1993).

A indução de mutação é uma das formas de gerar variabilidade genética, pode ser utilizada por programas de melhoramento para gerar variabilidade em populações não adaptadas a determinadas características ambientais. A caracterização da variabilidade genética induzida pela mutação torna-se fundamental para utilização nos programas de melhoramento (ZIMMER et al., 2003). Em função dos avanços na prospecção de genes e novos genótipos, a geração de mutantes, seguida da sua caracterização e utilização desses mutantes se constitui em ótima possibilidade para isolar e caracterizar genes e genótipos de interesse (MALUSZYNSKI, 1998; FEIX et al., 2002).

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo identificar genótipos mutantes de arroz para características de importância agrônômica e tolerantes ao estresse por baixas temperaturas na germinação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultura do arroz

Importância econômica

O arroz é considerado o produto de maior importância econômica em muitos países em desenvolvimento. Cultivado e consumido em todos os continentes, o arroz se destaca pela produção e área de cultivo, desempenhando papel estratégico, tanto em nível econômico quanto social para os povos das nações mais populosas da Ásia, África e América Latina. É o alimento básico para cerca de 3 bilhões de pessoas, possuindo um excelente balanceamento nutricional, fornecendo 20% da energia e 15% da proteína necessária à dieta humana (SOSBAI, 2010).

O consumo médio mundial de arroz é de 60 Kg pessoa⁻¹ ano⁻¹, sendo que os países asiáticos são os que apresentam as médias mais elevadas, situadas entre 100 e 150 Kg pessoa⁻¹ ano⁻¹. Cerca de 90% do arroz mundial é produzido e consumido nos países asiáticos. Na América Latina são consumidos, em média, 30 Kg pessoa⁻¹ ano⁻¹, destacando-se o Brasil como grande consumidor (45 Kg pessoa⁻¹ ano⁻¹) (SOSBAI, 2010). O Brasil também se destaca por sua importante participação no fornecimento do produto, tanto ao mercado interno quanto ao externo, sendo oitavo produtor mundial e o primeiro país fora da Ásia em produção e consumo de arroz (IRGA, 2011).

A cultura do arroz na safra agrícola 2010/2011 ocupou uma área de 2.867,8 mil hectares, tendo uma ampliação de 3,7% da área cultivada em relação a safra anterior, atingindo uma média nacional de 4,84 Kg ha⁻¹ (CONAB, 2011).

A produção nacional de arroz está estimada em 13.812,3 mil toneladas, 18,4% maior que a safra 2009/10 (11.660,9 mil toneladas). A região Sul é responsável por 72,54% (10.018,9 mil toneladas) da produção nacional de arroz, e o Rio Grande do Sul representa 63,95% (8.832 mil toneladas) (CONAB, 2011).

Origem e classificação botânica

O arroz pertence à divisão das angiospermas, grupo das monocotiledôneas, família *Poaceae*, tribo *Oryzea*, e gênero *Oryza* (NCBI taxonomy, 2011). A tribo *Oryzae*, que contém o gênero *Oryza*, é composta por 23 espécies, destas, apenas duas são cultivadas, *Oryza sativa* L. (arroz cultivado asiático) e *Oryza glaberrima* Steud. (arroz cultivado africano) (VAUGHAN e CHANG, 1995; MAGALHÃES JR e COSTA de OLIVEIRA, 2008). A espécie *O. sativa* possui $2n = 24$ cromossomos, sendo que a maioria das outras espécies também são diplóides, porém existem algumas tetraplóides ($4n=48$) (VAUGHAN et al. 2003).

Postula-se que o arroz asiático (*Oryza sativa* L.) seja originário da Ásia. Segundo alguns historiadores, sua origem deu-se provavelmente na Índia, mais precisamente ao sul, onde se encontram condições de solo mais favoráveis para o seu cultivo (PEREIRA, 2002). A introdução de *O. sativa* na Ásia Ocidental e Mediterrâneo ocorreu durante o Império Persa. Da Pérsia expandiu-se para o Turquistão e depois à Mesopotâmia à Arábia (SILVA, 1956). O arroz chegou a Espanha e a Sicília por volta de 883 d.C. De Sevilha disseminou-se para o sul da Espanha, para a Itália e para Portugal. Foi introduzido na América pelos espanhóis e, no Brasil, pelos portugueses, no início do século 16, onde se tornou um dos principais alimentos de consumo interno (MAGALHÃES JR e COSTA de OLIVEIRA, 2008). Os mesmos autores consideram que o arroz africano (*O. glaberrima* Steud.) teve origem na África Ocidental, onde se encontra praticamente restrita sua área de exploração e consumo, mais precisamente no Delta Central do Niger.

Três subespécies de *Oryza sativa* L. estão descritas atualmente, sendo *indica* e *japonica* as espécies mais cultivadas, seguidas pela terceira subespécie conhecida como *javanica* ou *japonica tropical*.

As cultivares pertencentes à subespécie *indica* são predominantemente cultivados nos trópicos e subtropicais, as pertencentes a subespécie *japonica* em regiões temperadas (MACKILL, 1995; MACKILL e LEI, 1997). Existe ainda a terceira subespécie *javanica*, cujos genótipos são cultivados em planícies tropicais da Indonésia, no entanto o trabalho realizado por Mackill (1995) mostrou que os genótipos dessa subespécie podem ser incluídos na subespécie *japonica* sendo considerados como *japonica tropical*.

As subespécies *indica* e *japonica* se diferenciam através de diversos fatores, que abrangem desde aspectos morfológicos até reações a estresses abióticos. As principais diferenças estão relacionadas a tolerância das plantas a baixas temperaturas, seca, acamamento em resposta a fertilizantes, habilidade competitiva com plantas vizinhas, germinação e taxa de crescimento em baixas temperaturas, longevidade da semente e eficiência fotossintética das folhas (MACKILL et al., 1996; OKA e MORISHIMA, 1997).

2.2 Características morfológicas da espécie (*O. sativa* L.)

O arroz quanto a sua morfologia pode ser dividido em órgãos vegetativos, compreendendo raízes, colmos e folhas, e órgãos reprodutivos, constituídos pelas flores e sementes. A estatura de plantas pode variar de acordo com as cultivares e as condições ambientais, em um gradiente que pode variar de 20 cm a alturas acima de 5 m, como é o caso do arroz aquático (GOMES e MAGALHÃES JÚNIOR, 2004).

O sistema radicular é formado basicamente por raízes adventícias ou secundárias e raízes seminais (GUIMARÃES et al., 2002). As raízes seminais, ou embriogênicas, desenvolvem-se a partir do promeristema da raiz do embrião, vindo acompanhadas de raízes seminais secundárias, durando pouco tempo após a germinação (CHANG e BARDENAS, 1965).

As raízes adventícias são formadas nos nós inferiores dos colmos e substituem as raízes seminais. Em cada nó, desenvolvem-se, usualmente, entre cinco e 25 raízes adventícias. A raiz diretamente emitida da região nodal do colmo é denominada primária, formando-se, posteriormente, as secundárias, seguidas pelas terciárias e assim por diante (GUIMARÃES et al., 2002). Normalmente, o maior número de raízes secundárias ocorre no estágio de emergência da panícula. As características do sistema radicular variam de acordo com os genótipos, bem como com as condições de ambiente nas quais as plantas estão expostas (GALLI et al., 1985).

O caule da planta de arroz é formado pelo colmo principal e por um número variável de colmos primários e secundários, denominados perfilhos. O colmo é constituído por nós e entre-nós, sendo totalmente envolvido pela bainha e, somente na floração, uma pequena parte dele é exposta abaixo da panícula. O número de entre-nós alongados variam de três a oito, dependendo das condições do ambiente.

As características dos entre-nós, tais como diâmetro, comprimento e espessura determinam a resistência ao acamamento (GUIMARÃES et al., 2002).

Com relação ao equilíbrio fotossíntese-respiração, colmos mais curtos facilitam a respiração e aumentam o aproveitamento dos produtos fotossintéticos. Mas o porte extremamente baixo é desvantajoso porque induz ao aumento do auto-sombreamento. Portanto, a planta deve ter um porte intermediário para resistir ao acamamento e apresentar menor auto-sombreamento (FAGERIA, 1989).

No arroz, o comprimento da folha é mais variável que a largura, e está associado com o ângulo da folha. Quanto mais compridas forem as folhas, mais decumbentes elas são. Como resultado, folhas curtas e estreitas estão associadas a folhas eretas. Teoricamente, folhas estreitas e curtas podem ser mais regularmente distribuídas do que folhas largas e compridas. A melhor distribuição das folhas aumenta a interceptação da radiação solar (GUIMARÃES et al., 2002).

As folhas, quando completas, são constituídas de bainha, colar e lâmina. A primeira folha a surgir no colmo principal ou nos afilhos não possui bainha, sendo denominada perfilo. A última folha a surgir é denominada de folha-bandeira. Cerca de 40 a 65 dias da emergência das plântulas ocorre a diferenciação do primórdio floral, dependendo dos genótipos e das condições ambientais. A partir dessa etapa, inicia a fase reprodutiva da planta. O período de emissão da panícula de uma mesma planta estende-se por aproximadamente sete dias (GOMES e MAGALHÃES JÚNIOR, 2004).

A panícula localiza-se sobre o último entrenó do caule. Dependendo das cultivares, as panículas podem ser abertas, compactas ou intermediárias, e, segundo o ângulo de inserção nas ramificações primárias, classificam-se em eretas, pendentes ou intermediárias (PEDROSO, 1982).

Temperatura é um dos fatores climáticos mais importantes que influenciam o crescimento da plântula. Na primeira semana após a germinação, a plântula é muito sensível à temperatura. Entre 22 e 31 °C, o crescimento aumenta linearmente com o aumento da temperatura, indicando que as reações químicas dominam o crescimento (YOSHIDA, 1981). Durante esta semana, a reserva da semente sustenta mais de 70% do crescimento. A taxa de crescimento é menos sensível à temperatura na segunda semana após a germinação. As faixas de temperatura ótima variam de 20 a 35 °C para a germinação, de 30 a 33 °C para a floração e de 20 a 25 °C para a maturação.

2.3 Mutações induzidas

Mutação é definida como qualquer alteração herdável, capaz de modificar a informação genética de um determinado organismo. Todos componentes primários do DNA, ou seja, os resíduos de pentose, as ligações fosfo-diéster e as bases nitrogenadas purinas e pirimidinas, que contribuem com a informação contida no genoma podem sofrer alterações (BRAY e WEST, 2005).

Os organismos estão normalmente submetidos a um determinado nível basal de mutações, resultante das funções celulares normais ou de interações aleatórias com o ambiente. Estas mutações são chamadas espontâneas, e a frequência com que elas ocorrem é dependente da eficiência dos mecanismos celulares que os organismos desenvolveram ao longo da evolução para perceber, reconhecer e eliminar o dano, juntamente com a precisão das vias disponíveis para o reparo da lesão (BRAY e WEST, 2005).

Os mecanismos de proteção do genoma e de reparo de danos genômicos que as plantas desenvolveram ao longo da evolução fazem com que a frequência de mutações espontâneas seja baixa (KIMURA e SAKAGUCHI, 2006). A frequência da ocorrência de mutações pode ser aumentada pelo uso de agentes causadores de alterações no DNA, denominados mutagênicos, no processo de mutação induzida (VAN HARTEN, 1998).

Em 1901, o termo mutação foi introduzido pelo botânico Hugo de Vries, designando que esta transformação produzia mudanças hereditárias que refletiam em alterações morfológicas. As mutações podem ocorrer tanto nas células germinativas quanto nas somáticas, e podem ser classificadas quanto à origem em espontâneas ou induzidas (TAI, 2001). A ocorrência de mutações espontâneas na natureza é relativamente rara e de difícil identificação por serem na sua maioria recessivas e deletérias (COIMBRA et al., 1999). Porém, o efeito dos mutagênicos, apesar de ser ao acaso, pode induzir modificações em caracteres desejáveis (CARNEIRO et al. 1987).

Os agentes mutagênicos são ferramentas muito importantes no melhoramento de plantas, na medida em que podem causar modificações na estrutura gênica de uma espécie, resultando na criação de variabilidade genética, podendo ser a matéria prima para a seleção de caracteres ou indivíduos superiores (MOLITERNO, 2008). Assim, populações mutantes se constituem em ótimas

ferramentas para estudos de variabilidade genética, função, ação e regulação gênica, principalmente em função das tecnologias disponíveis (ZIMMER et al., 2004).

A mutação induzida pode ser realizada por agentes físicos tais como raios X ou gama; ou por agentes químicos tais como substâncias alquilantes, antibióticos, etc.

Dentre os agentes mutagênicos químicos, o etilmetanossulfonato (EMS) e o metilmetanossulfonato (MMS) são denominados de agentes alquilantes, pois adicionam grupos alquil (ex.: grupo etil, grupo metila) nas bases de DNA, alterando a capacidade de pareamento entre elas. Esses agentes induzem um aumento na frequência de substituições de nucleotídeos, pela transferência de radicais alquil para as bases Guanina (G) no DNA dando origem à O6-metilguanina, que provoca erro no pareamento. A presença do radical alquil induz o pareamento de G com Tiamina (T), resultando em mutações do tipo transição de G/C para A/T (ROGOZIN et al., 2001). O produto químico EMS é um agente mutagênico de alta eficiência que tem sido muito empregado na indução de mutações em plantas cultivadas, tanto em nível de diplóides quanto de poliplóides (SILVA et al., 1998).

2.4 Estresse por baixas temperaturas

Um dos principais estresses abióticos que afetam o desenvolvimento e produtividade de plantas cultiváveis é aquele relacionado com extremos de temperaturas (IBA, 2002). A temperatura é um dos elementos climáticos mais importantes para o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade do arroz. A faixa ótima para a cultura do arroz se encontra entre 25 °C e 30 °C e, temperaturas inferiores a 20° C dependendo do estágio de desenvolvimento são prejudiciais (CRUZ e MILACH, 2000). A influência mais marcante das baixas temperaturas ocorre na germinação, na emergência das plântulas e, principalmente, durante a fase reprodutiva. O estresse por baixas temperaturas é um dos fatores limitantes da atividade agrícola mundial, promovendo redução na produção de alimentos em diversas regiões no mundo.

A germinação e o rápido desenvolvimento das plântulas são fases críticas na transição de uma semente para uma planta autotrófica. A semente sem absorver umidade é altamente tolerante a baixas temperaturas, mas este estado é revertido

com o início da germinação. Uma vez reativado o metabolismo inicia-se o processo de crescimento e desenvolvimento da plântula, e a semente torna-se muito sensível a condições de estresse como baixa temperatura ou baixa umidade (DE LOS REYES et al., 2003).

No processo de germinação, a severidade dos danos por causados por baixas temperaturas depende de fatores como: cultivar utilizada, conteúdo inicial de água na semente, temperatura de exposição, duração do estresse e a fase do processo de germinação (BEDI e BASRA, 1993). Os maiores efeitos da temperatura fria durante a germinação parecem ser associados à fase de embebição, considerada a mais sensível (BLUM, 1988). A temperatura fria durante esta fase conduz ao escape crescente de solutos das células das sementes, tais como: íons, aminoácidos e hidratos de carbono. Em decorrência das dificuldades de reestruturação, impostas pela baixa temperatura durante a germinação, a membrana celular é causadora de outros distúrbios metabólicos (LYONS, 1973).

Os sintomas de dano por baixas temperaturas mais comumente observadas, na fase germinativa, são o atraso e a diminuição na porcentagem de germinação, afetando consideravelmente o estande de plantas e a produtividade final da lavoura. Conforme Pedroso (1989), cultivares do grupo *indica* não germinam quando a temperatura for inferior a 13 °C, e para o grupo *japonico* esse limite é de 11 °C. Independente do grupo há um retardamento na germinação com temperaturas inferiores a 20 °C.

Durante o período vegetativo, as baixas temperaturas podem provocar atraso no desenvolvimento, redução na estatura e amarelecimento das folhas. No período reprodutivo, os sintomas de dano por baixas temperaturas são má exerceção da panícula, esterilidade e manchas nas espiguetas (CRUZ e MILACH, 2000). As temperaturas críticas que causam esterilidade são estimadas entre 15 e 17 °C, para os genótipos tolerantes e de 17 a 19 °C, no caso dos suscetíveis (NISHIYAMA et al., 1987).

O estresse por baixas temperaturas também origina aumento nos níveis de espécies reativas de oxigênio que causam danos às membranas das células e organelas, sendo maior nos cloroplastos, diminuindo, portanto a atividade fotossintética (KUK et al., 2003).

Segundo Imin et al. (2006) o padrão de síntese de proteínas é mudado quando as plantas são expostas ao frio. Esses autores detectaram e identificaram

rotas metabólicas responsivas ao dano por frio, que estão ligadas a biossíntese de proteínas, resposta ao estresse, biogênese de lipídios, formação de parede celular, desarranjo de proteínas e metabolismo da energia. Todas essas proteínas afetam o funcionamento das mitocôndrias, retículo endoplasmático, ribossomas e parede celular. Na presença de baixas temperaturas, a assimilação de CO₂ e a fosforilação são suprimidas. Nesta situação, como a capacidade de utilização dos fótons diminui, aumentando-se a suscetibilidade à fotoinibição, que causa o aparecimento de espécies reativas de oxigênio que são tóxicos para a célula. Além disso, tem-se relatado um incremento dos pigmentos derivados do ciclo da xantofila e uma maior atividade das enzimas do ciclo da água (HIROTSU et al., 2004).

Um mecanismo fisiológico que contribui para tolerância ao frio é a conservação da atividade e funcionamento da membrana celular, que interfere na atividade do cloroplasto, no funcionamento celular e relações hídricas, com impacto no crescimento e desenvolvimento da planta. A membrana é geralmente o primeiro componente celular que sofre a injúria causada pelo frio através da alteração da composição de lipídios causada por desidratação (UEMURA et al., 2006).

2.5 Tolerância a baixas temperaturas em arroz

A tolerância as baixas temperaturas é uma característica desejável em genótipos de arroz cultivados no sul do Brasil, onde as temperaturas baixas diminuem o rendimento de grãos. A tolerância a temperaturas baixas é uma das características de difícil seleção a campo, pois não se sabe a época em que vai ocorrer o estresse e nem a duração, limitando o progresso ao nível de melhoramento. Vários procedimentos de avaliação estão sendo utilizados para selecionar genótipos tolerantes a ocorrência de baixas temperaturas em períodos específicos de desenvolvimento da planta (CRUZ e MILACH, 2000). Postula-se que a tolerância ao frio em diferentes estádios de desenvolvimento da planta é controlada por genes que atuam independentemente nos períodos de germinação, vegetativo e reprodutivo (NISHIYAMA, 1995). Um genótipo de arroz pode ser tolerante ao frio no período vegetativo e sensível no reprodutivo ou vice-versa, isso ocorre devido aos vários genes de tolerância e os diversos mecanismos fisiológicos envolvidos na tolerância ao frio em cada período (CRUZ e MILACH, 2000).

No período germinativo, estudos relativos as bases genéticas da tolerância ao frio, indicam a ação de 4 ou mais genes dominantes envolvidos na capacidade de tolerância ao frio nesse período (STHAPIT et al., 1998). Já a avaliação da porcentagem de fertilidade de espiguetas, medida a campo, envolveu um sistema poligênico com mais de sete fatores efetivos, com efeitos de dominância e aditividade.

O conhecimento da herança de um caráter é de fundamental importância para a escolha dos métodos de seleção que serão empregados no manejo das populações segregantes. A tolerância ao frio é encontrada em cultivares de arroz do grupo *japonica*, enquanto que aqueles do grupo *indica*, em geral, são relatados como sensíveis. Os cruzamentos entre estes dois grupos acabam gerando recombinações insatisfatórias ao ideotipo focalizado nos programas de melhoramento de arroz no Brasil, principalmente no que diz respeito a tolerância ao frio combinada com a qualidade de grãos. De forma mais clara, plantas com tolerância ao frio apresentam grãos curtos, com baixos teores de amilose, tornando-os glutinosos durante o processo de cocção. Estudos genéticos indicam que, possivelmente, os genes envolvidos nesses caracteres devam estar ligados. A quebra de ligação destes tem sido exaustivamente procurada nos mais diversos programas de melhoramento (MAGALHÃES JR. et al., 2003).

2.6 Referências Bibliográficas

BEDI, S.; BASRA, A.S. Chilling injury in germinating seeds: basic mechanisms and agricultural implications. **Seed Science Research**, v.3, n.4, p.219- 229, 1993.

BLUM, A. **Cold resistance**. In: Plan breeding for stress environments. Boca Raton: CRC, 1988. cap 5, p. 99-132.

BRAY, C.M.; WEST, C.E. DNA repair mechanisms in plants: crucial sensors and effectors for the maintenance of genome integrity. **New Phytologist**. v.168, n.3, p.511-528, 2005.

CARNEIRO, J.E.S., BARBOSA, H.M., VIEIRA, C., et al. Alterações nos caracteres de plantas M1 de *Phaseolus vulgaris* derivadas de sementes tratadas com etil-metanossulfonato. **Revista Ceres**, v. 34, n. 193, p. 313-320, 1987.

COIMBRA, J.L., CARVALHO, F.I.F., COSTA, F.L.C. et al. Sensibilidade de genótipos de aveia (*Avena sativa* L.) na primeira geração após tratamento de sementes com agentes mutagênicos. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.5, n.1, 43-53, 1999.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. 2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/>.

CHANG, T.; BARDENAS, E. A. The morphology and varietal characteristics of the rice plant. **Technical Bulletin** 4. December, 1965.

CRUZ, R. P. da.; MILACH, S.C.K. Melhoramento Genético para Tolerância ao Frio em Arroz Irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.5, p.909-917, 2000.

DE LOS REYES, B.G., MORSY, M., GIBBONS, J., VARMA, T., ANTOINE, W., MCGRATH, J.M., HALGREN, R., REDUS, M.A. A snapshot of the low temperature stress transcriptome of developing rice seedlings (*Oryza sativa* L.) via ests from subtracted cDNA library. **Theoretical And Applied Genetics**. 2003. v. 107(6). p. 1071-1082.

FAGERIA, N.K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: EMBRAPA-DPU, 1989. 425p

FEIX, G.; HOCHHOLDINGER, F., PARK, W. J. **Maize Root System and Genetic Analysis of its Fomation** In Plant Roots The Hidden Half. Ed. Yoav Waisel, Amram Eshel, Uzi Kafkafi. p.239-247, 2002.

GALLI, J.; TERRES, A.L.; GASTAL, F.L.C. **Fundamentos para a Cultura do Arroz**. Fundação Cargil, Campinas, 1985. 317p.

GOMES, A. S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. (Ed.) **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. 900p.

GUIMARÃES, C. M.; FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. Como a planta de arroz se desenvolve. Arquivo do Agrônomo, **Potafós**, vol. 13, 2002

HIROTSU N.; MAKINO A.; USHIO A.; MAE T. Changes in the thermal dissipation and the electron flow in the water-water cycle in rice grown under conditions of physiologically low temperature. **Plant Cell Physiol**. 45: 635-644, 2004.

IBA, K. Acclimate response to temperature stress in higher plants: approaches of gene engineering for temperature tolerance. **Annu. Rev. Plant Biol.** v.53, p.225-245, 2002.

IMIN, N., KERIM, T., WEINMAN, J.J., ROLFE, B. Low temperature treatment at the young microspore stage induces protein changes in rice anthers. **Molecular & Celular Proteomics**, v.5.2, p.274-292, 2006.

IRGA, Instituto Rio-Grandense do Arroz. 2011. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br>.

KIMURA, C.; SAKAGUCHI, K. DNA repair in plants. **Chemical Review.** v.106, n.2, p.753-766, 2006.

KUK, I.Y.; SHIN, J.S.; BURGOS, N.R. et. Al. Antioxidative enzymes offer protection from chilling damage in rice plants. **Crop Science**, Madison, v.43, p.2109-2117, 2003.

LYONS, J.M. Chilling injury in plants. **Annual Review of plant physiology.** v.24, p.445-466. Palo Alto CA, 1973.

MACKILL, D.J. Classifying japonica rice cultivars with RAPD markers. **Crop Science.** 35: 889-894, 1995.

MACKILL, D.J.; COFFMAN, W.R.; GARRITY, D.P. **Rainfed lowland rice improvement.** Los Baños, Laguna. 242 p. 1996.

MACKILL, D.J.; LEI, X. Genetic variation for traits related to temperature adaptation of rice cultivars. **Crop Science**, Madison, v.37, p.1340-1346, 1997.

NISHIYAMA, I. et al. Varietal difference in stomatal aperture in rice seedlings in relation to the cool temperature susceptibility in tongil group varieties **Japanese Journal of Crop Science**, v.56, p.482-490, 1987.

MAGALHÃES JR. A.M. de; FAGUNDES, P.R.; FRANCO, D.F. Melhoramento genético, biotecnologia e cultivares de arroz irrigado. In: MAGALHÃES JR. de, A.M.; GOMES, A. da S. Arroz irrigado: melhoramento genético, manejo do solo e da água e prognóstico climático. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, p.13-33, 2003. (Embrapa Clima Temperado: Documentos, 113).

MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; OLIVEIRA, A. C. Arroz. In: **Origem e evolução de plantas cultivadas.** Rosa Lia Barbieri; Elisabeth Regina Tempel Stumpf – Editores Técnicos. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p.187-218, 2008.

MALUSZYNSKI, M.; AHOOWALIA, B.; ASHRI, A.; NICTERLEIN, K.; VAN ZANTEN, L. Induced mutations in rice breeding and germplasm enhancement. In: Proceedings Of The 19th Session Of The International Rice Commission. Cairo, Egypt, 7-9 September 1998.

MOLITERNO, E. **Variabilidade genética e a eficiência de seleção no caráter dormência de sementes em aveia preta (*Avena strigosa* schreb.).** 2008. 163f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

NCBI Taxonomy: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/> - acessado em 2011

NISHIYAMA, I. et al. Varietal difference in stomatal aperture in rice seedlings in relation to the cool temperature susceptibility in tongil group varieties. **Japanese Journal of Crop Science**, 56(3): 482-490, 1987.

OKA H.; MORISHIMA H. Wild and cultivated rice. In: Matsuo T, Futsuhara Y, Kikushi F, Yamaguchi H (eds) **Science of the rice plant** (vol 3: Genetics). Nobunkyo, Tokyo, pp 88–111, 1997.

PEDROSO, B.A. **Arroz irrigado**: obtenção e manejo de cultivares. Porto Alegre: Sagra, 1982. 175p.

PEDROSO, B.A. **Condições Climáticas**. In: Arroz irrigado; obtenção e manejo de cultivares. Porto Alegre, Ed. Sagra, 3ª ed. 1989.

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

ROGOZIN, I.B.; BERIKOV, V.B.; VASUNINA, E.A.; SINITSINA, O.I. The effect of the primary structure of DNA on induction of mutations by alkylating agents. **Russian Journal of Genetics**. v.37, n.6, p.704-710, 2001.

SAITO, K, MIURA, K., HAYANO-SAITO, Y., KATO, A. Analysis of Quantitative Trait Loci for Cold Tolerance at the Booting Stage of Rice. **JARQ**, 37(1), 1-5, 2003.

SILVA,S.A.,CARVALHO,F.I.F.,COSTA,F.L.C.et al. Efeito dos mutagênicos Azida sódica e metano sulfonato de etila, na geração M1 em trigo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.2, n.2, p.125-129, 1998.

SILVA, M. V. **O melhoramento do arroz em Portugal**. Vida Agrícola, Lisboa, v.19, não paginado, 1956.

SOCIEDADE SUL BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO - SOSBAI. Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. In: XXVIII REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 2010, Porto Alegre. **Anais**. Porto Alegre: CBAI, 2010. 188 p.

STEINMETZ, S.; INFELD, J.A.; MALUF, J.R.T.; SOUZA, P.R. de; BUENO, A . C. Zoneamento agroclimático da cultura do arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul: recomendação de épocas de semeadura por município. Pelotas: Embrapa-CPACT, 1996. 30p. (Embrapa-CPACT. Documentos, 19).

STEINMETZ, S.; MALUF, J.R.T.; MATZENAUER, R.; AMARAL, A.G.; FERREIRA, J.S.A. Temperatura do solo: Fator decisivo para o início da semeadura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: Embrapa Clima Temperado, 2001, Ministério da Agricultura e Abastecimento, **Comunicado Técnico**, 56. p.81-88.

STHAPIT, B.R., WITCOMBE, J.R. Inheritance of tolerance to chilling stress in rice during germination and plumule greening. **Crop Science**, Madison, v.38, p.660-665, 1998.

TAI, T.H. **Expansion and molecular characterization of the array of mutations in tropical**. In: Molecular Characterization of mutated genes controlling important traits for seeds crops. Report of the second FAO/IAEA Research Coordination Meeting held in Vienna, Austria, 2001.

TERRES, A.L.; GALLI, J. Efeitos do frio em cultivares de arroz irrigado no Rio Grande do Sul .In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária de Terras Baixas de Clima Temperado, Capão do Leão, RS. **Fundamentos para a cultura do arroz irrigado**. Campinas: Fundação Cargil, 1985. p. 83-94.

UEMURA, M.; TOMINAGA, Y.; NAKAGAWARA, C.; SHIGEMATSU, S.; MINAMI, A.; KAWAMURA, Y. Responses of the plasma membrane to low temperatures. **Physiologia Plantarum**, 126:81-89, 2006.

VAN HARTEN, A.M. **Mutation breeding: theory and practical applications**. London: Cambridge University Press. 207p., 1998.

VAUGHAN, D. A.; CHANG, T.T. Collecting the rice gene pool. In: GUARINO, L.; RAMANATHA RAO, V.; REID, R. **Collecting plant genetic diversity**: technical guidelines. Wallingford: CAB International, 1995. p.659-675.

VAUGHAN, D.A., MORISHIMA, H. Biosystematics of the genus *Oryza*. Chapter 1.2. In: CW Smith, RH Dilday, eds. **Rice. Origin, History, Technology, and Production**. John Wiley and Sons Inc., Hoboken, New Jersey. pp 27-65. 2003.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños: International Rice Research Institute, 1981. cap.1, p.1-63.

ZIMMER, P.D.; MATTOS, L.A.T.; OLIVEIRA, A.C.; CARVALHO, F.I.F.; MAGALHÃES JR., A.; KOPP, M.M.; FREITAS, F.A. de. Identification of rice mutants (*Oryza sativa* L.) for agronomical and root system traits. **Revista Brasileira de Agrociência**. v.9, n.3, p.195-199, 2003.

ZIMMER, P.D.; OLIVEIRA, A.C.; CARVALHO, F.I.F.; MARTINS, A.F.; FREITAS, F.A.; MATTOS, L.A.T.; MALONE, G.; BRANCO, J.S.C.; VIEIRA, E.A., KOPP, M.M.; MARTINS, L.F.; FONSECA, F.S.; MARQUES, M.C.T.; MALONE, E.; CARVALHO, M.F.; TONIN, I., BARBOSA NETO, J.F. Use of an indica rice mutant collection as a tool for root functional genomics In: 46th Annual Maize Genetics Conference, 2004, Mexico City. **Abstracts**. , 2004. v.1. p.117 – 117

3 CAPÍTULO I

CARACTERIZAÇÃO DE FAMÍLIAS MUTANTES DE ARROZ QUANTO À TOLERÂNCIA AO ESTRESSE POR BAIXAS TEMPERATURAS NO ESTÁDIO GERMINATIVO

3.1 Introdução

O arroz irrigado é uma cultura de grande importância econômica para o Rio Grande do Sul, com uma produtividade média de 7.65 t ha^{-1} (IRGA, 2011). Apesar dos bons níveis de produtividade, há uma variação acentuada ao longo dos anos, causada, fundamentalmente, pelas condições climáticas.

A ocorrência de baixas temperaturas e a disponibilidade de radiação solar durante as fases de estabelecimento da cultura e, principalmente, na fase reprodutiva, são dois elementos climáticos que estão intimamente relacionados com a variabilidade nos níveis de produtividade.

O problema abrange todo o Estado, sendo mais agravado nas regiões Litoral Sul e da Campanha que apresentam maior probabilidade de ocorrência de temperaturas baixas, inferiores a 15°C durante a noite. Entretanto, dependendo da cultivar, do vigor da semente, do estado nutricional da cultura, do sistema de cultivo, da intensidade e da duração do período de frio, entre outros aspectos, temperaturas inferiores a 20°C já são consideradas prejudiciais ao desenvolvimento das plantas (FAGUNDES, 2010).

A temperatura do solo é um dos principais condicionantes do início da semeadura do arroz irrigado no Estado, por interferir na velocidade de germinação das sementes. A faixa de temperatura ótima para a germinação situa-se entre 20°C e 35°C (YOSHIDA, 1981), sendo que, nessa faixa, a germinação é mais rápida quanto mais altas forem as temperaturas (AMARAL e SANTOS, 1983). Por outro lado, a germinação é mais lenta abaixo de 20°C .

Grande parte dos produtores de arroz irrigado do RS tem adotado a estratégia de antecipar, tanto quanto possível, a época de semeadura da lavoura, podendo resultar em severos danos devido à deposição das sementes no solo ainda frio. A porcentagem e velocidade da germinação serão dificultadas, o período de emergência alongado, com redução no desenvolvimento das plântulas, que apresentarão clorose nas folhas jovens e ficarão submetidas, por um período maior de tempo, à ação de fatores adversos do ambiente, como, por exemplo, pragas, insetos e fungos. Além disto, a competição com plantas invasoras, normalmente mais capacitadas a se desenvolverem em um solo mais frio, resulta na necessidade de um maior número de aplicações de herbicidas, afetando a rentabilidade da lavoura e a sustentabilidade da atividade em geral. A instabilidade relacionada à ocorrência de baixas temperaturas é agravada pela utilização, na maior parte da área orizícola do RS, de cultivares semi anãs, pertencentes ao grupo *indica*, menos adaptadas às baixas temperaturas do que as cultivares do grupo *japonica* (FAGUNDES, 2010).

Vários procedimentos de avaliação estão sendo utilizados para selecionar genótipos tolerantes ao estresse por baixas temperaturas em períodos específicos de desenvolvimento da planta. Na germinação, a avaliação da tolerância a baixas temperaturas tem sido feita submetendo-se as sementes a temperaturas que variam desde 10 °C até 25 °C por períodos de três até 35 dias. As características mais comumente medidas são a porcentagem e velocidade de germinação e o comprimento do coleóptilo e radícula (BERTIN et al., 1996; STHAPIT e WITCOMBE, 1998).

A identificação e caracterização da variabilidade genética para tolerância ao estresse por baixas temperaturas são de grande importância para obtenção de genótipos promissores para utilização em programas de melhoramento genético. A obtenção de variabilidade mediante o emprego de agentes mutagênicos tem sido amplamente empregada, em função da capacidade de alterar uma ou mais características desejáveis, melhorando assim as cultivares já existentes e desenvolvendo novos genótipos (MALUSZYNSKI, 1998).

As alterações na sequência de bases do ácido desoxirribonucléico (DNA) ocorrem espontaneamente e podem ser intensificadas por agentes mutagênicos físicos e químicos, como, por exemplo, a radiação gama (Co^{60}) e etilmetanosulfonato (EMS) (NÓBREGA, 1998). Sendo assim, esta técnica possibilita o surgimento de

novas combinações genéticas através de alterações alélicas e/ou modificações nos cromossomos (SAHASRABUDHE et al., 1991).

O objetivo deste trabalho foi verificar a capacidade do agente mutagênico etilmetanosulfonato (EMS) de gerar variabilidade genética para tolerância a baixas temperaturas no estágio de germinação em arroz irrigado.

3.2 Material e Métodos

Obtenção das famílias mutantes

A obtenção dos genótipos mutantes foi realizada através do tratamento de sementes de arroz da cultivar BRS Querência com o mutagênico químico etilmetanosulfonato (EMS), a uma concentração de 1,5% (v/v). O tratamento das sementes foi feito no Laboratório de Genômica e Fitomelhoramento (LGF) da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” (FAEM), Universidade Federal de Pelotas (UFPeI), Capão do Leão – RS, Brasil.

O tratamento foi constituído de uma amostra de 40.000 sementes que foram acondicionadas em saquinho de tule e introduzidas em água destilada para embebição. As sementes permaneceram submersas por um período de seis horas, sendo posteriormente submetidas à ação do agente mutagênico por duas horas. Logo após a aplicação do mutagênico, permaneceram por uma hora em água corrente e uma hora em água parada. Estas sementes após permanecerem uma hora em água parada foram semeadas em campo experimental para avanço de geração.

Avanço de geração

As sementes da geração M_1 foram semeadas no ano de 2009, para avanço de geração, em campo experimental na Fazenda Experimental da Palma (FEP) pertencentes à Universidade Federal de Pelotas (UFPeI), localizada no município de Capão do Leão, RS. As plantas colhidas em *bulk*, deram origem a uma população M_2 .

No ano seguinte, em campo experimental localizado na Fazenda Palmital, da Embrapa Arroz e Feijão, sediada no município de Goianira, Goiás, 20.000 sementes da geração M₂ foram semeadas, visando o avanço de geração. Cada planta foi colhida individualmente, dando origem a 1500 famílias M₃.

Análise de germinação

Sementes de 400 famílias mutantes de arroz (geração M₃), mais as cultivares BRS Querência, BR IRGA 409 e Nourim Mochi foram semeadas em rolos de papel umedecidos com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato, seguindo os critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), e colocadas para germinar em câmara de germinação (BOD) no LGF/FAEM-UFPEL. As sementes foram submetidas a duas condições: 13 °C por 28 dias e 25 °C por sete dias (CRUZ e MILACH, 2004). O genótipo BR IRGA 409 foi escolhido por ser reconhecido como sensível ao estresse por baixas temperaturas e o genótipo Nourim Mochi, como tolerante (FREITAS, 2009; CRUZ, 2009).

O experimento foi conduzido em blocos inteiramente casualizados, com dez repetições, sendo que cada semente foi considerada uma unidade experimental. As variáveis avaliadas foram: comprimento de coleóptilo, comprimento de raiz e comprimento de parte aérea.

Os dados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$), e a comparação entre as médias foi realizada pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade de erro. Também foi realizada uma análise de comparação entre as médias das testemunhas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. As análises estatísticas foram realizadas com a utilização do programa computacional Genes (CRUZ, 2001). Os dados obtidos também foram submetidos ao teste de correlação de Pearson, essa análise estatística foi realizada com o auxílio do programa computacional SAS (SAS LEARNING EDITION, 2002). Para a comparação de médias, foi feito o desempenho relativo (DR) do comprimento do coleóptilo, comprimento de raiz, e comprimento de parte aérea comparando a temperatura 13 °C em relação aos 25 °C, de acordo com a equação: $DR = (X_{13\text{ °C}} / X_{25\text{ °C}}) \cdot 100$, onde x, representa o valor observado. Os dados referentes à porcentagem do desempenho relativo foram transformados em arco-seno da raiz quadrada de $x/100$.

3.3 Resultados e Discussão

Os resultados apresentados pela análise de variância (Tabela 1) permitem evidenciar diferenças significativas a 5% de probabilidade de erro pelo teste F, entre as famílias M₃ e as cultivares BRS Querência, BR IRGA 409 e Nourim Mochi para todos os caracteres avaliados.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para o desempenho relativo dos caracteres comprimento de coleóptilo (DR cc), comprimento de raiz (DR cr) e comprimento de parte aérea (DR cpa), de 400 famílias mutantes M₃ e as testemunhas BRS Querência, BR IRGA 409 e Nourim Mochi . FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio		
		DR cc	DR cr	DR cpa
Genótipos	402	0,67*	0,19*	0,91*
Blocos	9	1,04	0,08	0,72
Resíduo	3618	0,03	0,01	0,03
Média Geral	–	0,54	0,23	0,52
CV (%)	–	32,36	50,54	31,85

*Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

GL= graus de liberdade.

A análise de desempenho relativo para as variáveis comprimento de coleóptilo, raiz e parte aérea (Tabela 2) confirmou que a testemunha tolerante do grupo *japonica* se diferencia das testemunhas sensíveis BR IRGA 409 e BRS Querência, quanto à resposta ao tratamento por frio. Estudos indicam que genótipos do grupo *indica* necessitam de temperaturas mais elevadas para germinar, do que genótipos do grupo *japonica* (CRUZ e MILACH, 2004).

Tabela 2. Desempenho relativo (DR) das variáveis comprimento de coleóptilo (DR cc), comprimento de raiz (DR cr) e comprimento de parte aérea (DR cpa) das testemunhas Nourim Mochi, BR IRGA 409 e BRS Querência. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011.

Genótipos	DR cc (%)	DR cr (%)	DR cpa (%)
Nourim Mochi	116,17 a	52,22 a	60,70 a
BR IRGA 409	96,39 b	5,35 c	19,22 b
BRS Querência	101,85 b	13,43 b	26,55 b

*Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro.

Os resultados obtidos pelo teste de Dunnett, para os três caracteres avaliados, evidenciaram variabilidade genética entre as famílias avaliadas quando submetidas ao estresse por baixa temperatura. Verificou-se que, para todos os caracteres, ocorreram famílias com médias significativamente diferentes das testemunhas, sugerindo que a indução de mutação possa ter alterado algumas constituições genéticas.

Para o caráter, comprimento de coleóptilo (Tabela 3), quando foram comparadas as famílias mutantes com a testemunha tolerante, 161 famílias (40,25% das famílias avaliadas), apresentaram um comportamento semelhante à testemunha (DR cc = 116,17%), 237 famílias (59,25%) apresentaram desempenho inferior, sendo que apenas duas famílias (0,5%) obtiveram desempenho superior a cultivar Nourim Mochi.

Estudos avaliando a capacidade de germinação de genótipos de arroz sob baixas temperaturas ($\leq 15^{\circ}$) têm detectado a presença de variações no número de genes que controlam os caracteres envolvidos com a tolerância ao frio nesse período. Segundo Sasaki (1997), foram encontrados quatro ou mais genes dominantes no controle da germinação e apenas um gene dominante no controle do amarelecimento das folhas no estágio de plântula.

Ao comparar as famílias com a testemunha sensível (Tabela 4), pode-se observar que a maior parte das famílias, 259 famílias (64,75%), permaneceram na mesma classe da testemunha sensível BR IRGA 409 (DR cc = 96,39%), 136 famílias (34%) apresentaram desempenho inferior a testemunha, sendo que apenas cinco famílias (1,25%) apresentaram um desempenho superior.

Analisando a Tabela 5, pode ser verificada a existência de cinco famílias (1,25%) com desempenho superior a testemunha BRS Querência (DR cc = 101,85%), também foram detectadas famílias mais sensíveis, 143 famílias (37,75%), no entanto, 252 famílias (63%) apresentaram um comportamento semelhante ao da testemunha.

Pesquisas anteriores sugerem que o comprimento do coleóptilo é eficiente para identificar genótipos de arroz tolerantes a baixas temperaturas na germinação (BERTIN et al., 1996; STHAPIT e WITCOMBE, 1998). Este caráter é de fundamental importância para o estabelecimento da lavoura, pois o coleóptilo é o órgão que protege a plântula no momento de sua emergência, estendendo-se para cobrir a primeira folha jovem (OKUMOTO, 1997).

Tabela 3. Desempenho relativo do comprimento de coleóptilo (DR cc) de 400 famílias mutantes M₃, em relação à testemunha Nourim Mochi. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011.

Desempenho Relativo do Comprimento de Coleóptilo															
Famílias M ₃ com médias superiores à testemunha Nourim Mochi															
362	233														
Famílias M ₃ com médias iguais à testemunha Nourim Mochi (DR cc =116,17%)															
379	261	288	399	268	150	357	226	241	286	198	122	16	386	36	53
113	259	285	341	394	205	9	148	110	287	177	243	112	270	169	124
137	265	181	11	54	133	321	216	240	278	228	289	75	398	269	280
294	139	172	333	132	310	238	385	276	57	388	182	332	299	4	115
85	279	245	95	208	83	318	191	84	1	42	81	74	52	213	76
19	121	324	242	149	128	160	389	223	47	257	292	151	163	157	10
281	55	120	234	251	230	392	103	46	266	197	304	272	35	136	89
28	8	378	189	165	239	282	78	72	29	178	168	263	123	171	176
138	290	162	161	396	311	18	334	167	395	199	277	82	274	118	116
190	330	164	312	50	273	102	377	237	134	387	119	131	207	232	49
244															
Famílias M ₃ com médias inferiores à testemunha Nourim Mochi															
183	309	71	155	37	175	307	267	166	26	301	356	45	180	236	271
2	370	105	86	108	376	325	231	154	229	48	104	320	306	129	51
224	87	6	65	70	44	64	390	305	5	300	111	315	56	127	249
117	17	331	158	126	170	284	322	295	317	114	186	23	77	384	96
250	221	130	174	79	303	159	308	391	179	393	200	323	125	262	352
73	326	206	184	40	3	58	31	283	215	153	316	80	293	30	336
156	33	302	235	193	135	34	260	32	94	192	329	335	397	371	313
222	327	187	185	400	275	368	264	258	373	173	60	369	314	319	152
188	195	41	69	7	328	360	194	252	363	337	91	107	343	63	27
145	38	214	144	339	109	100	59	62	361	90	143	43	25	13	347
342	340	147	141	298	140	14	338	227	142	67	101	196	99	374	106
88	146	372	297	20	98	346	355	375	97	12	22	359	92	291	382
61	21	39	93	367	296	344	210	15	24	66	68	201	202	203	204
209	211	212	217	218	219	220	225	246	247	248	253	254	255	256	345
348	349	350	351	353	354	358	364	365	366	380	381	383			

Designação dos códigos das famílias mutantes no apêndice da tese.

Tabela 4. Desempenho relativo do comprimento de coleóptilo (DR cc) de 400 famílias mutantes M₃, em relação à testemunha BR IRGA 409. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011.

Desempenho Relativo do Comprimento de Coleóptilo															
Famílias M ₃ com médias superiores à testemunha BR IRGA 409															
362	233	379	261	288											
Famílias M ₃ com médias iguais à testemunha BR IRGA 409 (DR cc = 96,39%)															
399	268	150	357	226	241	286	198	122	16	386	36	53	113	259	285
341	394	205	9	148	110	287	177	243	112	270	169	124	137	265	181
11	54	133	321	216	240	278	228	289	75	398	269	280	294	139	172
333	132	310	238	385	276	57	388	182	332	299	4	115	85	279	245
95	208	83	318	191	84	1	42	81	74	52	213	76	19	121	324
242	149	128	160	389	223	47	257	292	151	163	157	10	281	55	120
234	251	230	392	103	46	266	197	304	272	35	136	89	28	8	378
189	165	239	282	78	72	29	178	168	263	123	171	176	138	290	162
161	396	311	18	334	167	395	199	277	82	274	118	116	190	330	164
312	50	273	102	377	237	134	387	119	131	207	232	49	244	183	309
71	155	37	175	307	267	166	26	301	356	45	180	236	271	2	370
105	86	108	376	325	231	154	229	48	104	320	306	129	51	224	87
6	65	70	44	64	390	305	5	300	111	315	56	127	249	117	17
331	158	126	170	284	322	295	317	114	186	23	77	384	96	250	221
130	174	79	303	159	308	391	179	393	200	323	125	262	352	73	326
206	184	40	3	58	31	283	215	153	316	80	293	30	336	156	33
302	235	193													
Famílias M ₃ com médias inferiores à testemunha BR IRGA 409															
135	34	260	32	94	192	329	335	397	371	313	222	327	187	185	400
275	368	264	258	373	173	60	369	314	319	152	188	195	41	69	7
328	360	194	252	363	337	91	107	343	63	27	145	38	214	144	339
109	100	59	62	361	90	143	43	25	13	347	342	340	147	141	298
140	14	338	227	142	67	101	196	99	374	106	88	146	372	297	20
98	346	355	375	97	12	22	359	92	291	382	61	21	39	93	367
296	344	210	15	24	66	68	201	202	203	204	209	211	212	217	218
219	220	225	246	247	248	253	254	255	256	345	348	349	350	351	353
354	358	364	365	366	380	381	383								

Designação dos códigos das famílias mutantes no apêndice da tese.

Tabela 5. Desempenho relativo do comprimento de coleóptilo (DR cc) de 400 famílias mutantes M₃, em relação à testemunha BRS Querência. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011.

Desempenho Relativo do Comprimento de Coleóptilo															
Famílias M ₃ com médias superiores à testemunha BRS Querência															
362	233	379	261	288											
Famílias M ₃ com médias iguais à testemunha BRS Querência (DR cc = 101,85%)															
399	268	150	357	226	241	286	198	122	16	386	36	53	113	259	285
341	394	205	9	148	110	287	177	243	112	270	169	124	137	265	181
11	54	133	321	216	240	278	228	289	75	398	269	280	294	139	172
333	132	310	238	385	276	57	388	182	332	299	4	115	85	279	245
95	208	83	318	191	84	1	42	81	74	52	213	76	19	121	324
242	149	128	160	389	223	47	257	292	151	163	157	10	281	55	120
234	251	230	392	103	46	266	197	304	272	35	136	89	28	8	378
189	165	239	282	78	72	29	178	168	263	123	171	176	138	290	162
161	396	311	18	334	167	395	199	277	82	274	118	116	190	330	164
312	50	273	102	377	237	134	387	119	131	207	232	49	244	183	309
71	155	37	175	307	267	166	26	301	356	45	180	236	271	2	370
105	86	108	376	325	231	154	229	48	104	320	306	129	51	224	87
6	65	70	44	64	390	305	5	300	111	315	56	127	249	117	17
331	158	126	170	284	322	295	317	114	186	23	77	384	96	250	221
130	174	79	303	159	308	391	179	393	200	323	125	262	352	73	326
206	184	40	3	58	31	283	215	153	316	80	293				
Famílias M ₃ com médias inferiores à testemunha BRS Querência															
30	336	156	33	302	235	193	135	34	260	32	94	192	329	335	397
371	313	222	327	187	185	400	275	368	264	258	373	173	60	369	314
319	152	188	195	41	69	7	328	360	194	252	363	337	91	107	343
63	27	145	38	214	144	339	109	100	59	62	361	90	143	43	25
13	347	342	340	147	141	298	140	14	338	227	142	67	101	196	99
374	106	88	146	372	297	20	98	346	355	375	97	12	22	359	92
291	382	61	21	39	93	367	296	344	210	15	24	66	68	201	202
203	204	209	211	212	217	218	219	220	225	246	247	248	253	254	255
256	345	348	349	350	351	353	354	358	364	365	366	380	381	383	

Designação dos códigos das famílias mutantes no apêndice da tese.

Na Tabela 6, são apresentados os resultados do desempenho relativo do comprimento de raiz em relação à testemunha tolerante Nourim Mochi, pode-se observar que não foi encontrada nenhuma família superior a testemunha ($DR_{cr} = 52,22\%$) e apenas uma família apresentou um comportamento semelhante à testemunha, sendo que o restante das famílias ($99,75\%$) apresentaram um desempenho inferior à testemunha. Já ao comparar as famílias mutantes, em relação à testemunha sensível BR IRGA 409 (Tabela 7), foram encontradas 50 famílias ($12,5\%$), com desempenho superior e 68 famílias (17%) obtiveram desempenho inferior a testemunha ($DR_{cr} = 5,35\%$), sendo que a maior parte das famílias, 282 ($70,5\%$) evidenciaram uma resposta semelhante ao da testemunha.

Para o desempenho relativo em relação à BRS Querência (Tabela 8) pode-se observar que 199 famílias ($49,75\%$) tiveram um comportamento semelhante ao da testemunha ($DR_{cr} = 13,43\%$), sendo que apenas sete famílias ($1,75\%$) apresentaram um desempenho superior e o restante das famílias ($48,5\%$) apresentaram um comportamento inferior ao da testemunha.

Apesar da fase de embebição durante a germinação ser considerada a mais sensível ao estresse por baixas temperaturas, Yoshida (1981) relata que a maior influência da temperatura sobre a germinação ocorre nas fases subseqüentes de ativação e crescimento do coleóptilo e radícula. A redução no crescimento coleóptilo e radícula durante estas fases podem ser atribuídos ao efeito direto da temperatura fria no alongamento celular e divisão, ou para o seu efeito indireto levando a um desequilíbrio metabólico (LYONS, 1973).

Tabela 6. Desempenho relativo do comprimento de raiz (DR cr) de 400 famílias mutantes M₃, em relação à testemunha Nourim Mochi. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011.

Desempenho Relativo do Comprimento de Raiz															
Famílias M ₃ com médias superiores à testemunha Nourim Mochi															
Nenhuma família apresentou média superior à testemunha															
Famílias M ₃ com médias iguais à testemunha Nourim Mochi (DR cr = 52,22%)															
371															
Famílias M ₃ com médias inferiores à testemunha Nourim Mochi															
164	229	258	260	78	300	315	237	390	385	118	376	161	301	318	126
34	151	224	154	267	156	282	181	262	232	135	183	171	266	257	302
272	182	235	265	40	239	271	163	236	177	319	27	249	273	269	387
283	30	174	215	275	305	268	81	386	187	56	250	190	178	200	378
252	278	391	198	153	172	191	277	259	234	228	65	307	162	179	155
280	134	264	69	222	244	170	46	150	160	119	186	276	47	352	289
149	396	230	308	192	317	70	242	120	384	293	75	221	251	240	379
303	281	169	389	377	331	309	261	233	55	388	323	226	263	84	194
180	284	73	238	395	23	292	287	125	42	129	80	6	306	370	393
79	288	127	63	294	320	241	53	105	17	392	327	89	274	295	18
31	57	199	74	197	71	286	314	299	245	316	311	290	110	205	325
356	136	83	111	326	270	32	54	64	336	398	26	29	72	158	195
3	152	121	243	343	185	45	96	231	19	207	335	279	58	138	33
51	337	321	9	189	85	330	304	48	328	112	175	82	104	1	5
223	363	332	216	165	4	397	113	50	394	2	77	173	7	123	167
157	128	108	329	213	76	159	206	184	13	193	114	310	132	368	313
399	362	49	340	60	35	148	11	10	139	28	102	168	341	94	115
52	86	130	103	324	25	8	322	124	357	41	95	62	360	208	44
87	176	188	334	117	36	333	133	137	122	285	116	59	91	16	400
166	342	37	131	144	369	373	214	145	361	339	100	38	227	312	107
196	374	90	338	43	141	140	14	347	109	101	106	143	359	22	67
98	375	147	142	372	20	61	92	382	12	97	39	99	88	298	21
297	346	146	291	355	93	344	367	210	296	15	24	66	68	201	202
203	204	209	211	212	217	218	219	220	225	246	247	248	253	254	255
256	345	348	349	350	351	353	354	358	364	365	366	380	381	383	

Designação dos códigos das famílias mutantes no apêndice da tese.

Tabela 7. Desempenho relativo do comprimento de raiz (DR cr) de 400 famílias mutantes M₃, em relação à testemunha BR IRGA 409. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011.

Desempenho Relativo do Comprimento de Raiz															
Famílias M ₃ com médias superiores à testemunha BR IRGA 409															
371	164	229	258	260	78	300	315	237	390	385	118	376	161	301	318
126	34	151	224	154	267	156	282	181	262	232	135	183	171	266	257
302	272	182	235	265	40	239	271	163	236	177	319	27	249	273	269
387	283														
Famílias M ₃ com médias iguais à testemunha BR IRGA 409 (DR cr = 5,35%)															
30	174	215	275	305	268	81	386	187	56	250	190	178	200	378	252
278	391	198	153	172	191	277	259	234	228	65	307	162	179	155	280
134	264	69	222	244	170	46	150	160	119	186	276	47	352	289	149
396	230	308	192	317	70	242	120	384	293	75	221	251	240	379	303
281	169	389	377	331	309	261	233	55	388	323	226	263	84	194	180
284	73	238	395	23	292	287	125	42	129	80	6	306	370	393	79
288	127	63	294	320	241	53	105	17	392	327	89	274	295	18	31
57	199	74	197	71	286	314	299	245	316	311	290	110	205	325	356
136	83	111	326	270	32	54	64	336	398	26	29	72	158	195	3
152	121	243	343	185	45	96	231	19	207	335	279	58	138	33	51
337	321	9	189	85	330	304	48	328	112	175	82	104	1	5	223
363	332	216	165	4	397	113	50	394	2	77	173	7	123	167	157
128	108	329	213	76	159	206	184	13	193	114	310	132	368	313	399
362	49	340	60	35	148	11	10	139	28	102	168	341	94	115	52
86	130	103	324	25	8	322	124	357	41	95	62	360	208	44	87
176	188	334	117	36	333	133	137	122	285	116	59	91	16	400	166
342	37	131	144	369	373	214	145	361	339	100	38	227	312	107	196
374	90	338	43	141	140	14	347	109	101						
Famílias M ₃ com médias inferiores à testemunha BR IRGA 409															
106	143	359	22	67	98	375	147	142	372	20	61	92	382	12	97
39	99	88	298	21	297	346	146	291	355	93	344	367	210	296	15
24	66	68	201	202	203	204	209	211	212	217	218	219	220	225	246
247	248	253	254	255	256	345	348	349	350	351	353	354	358	364	365
366	380	381	383												

Designação dos códigos das famílias mutantes no apêndice da tese.

Tabela 8. Desempenho relativo do comprimento de raiz (DR cr) de 400 famílias mutantes M₃, em relação à testemunha BRS Querência. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011.

Desempenho Relativo do Comprimento de Raiz															
Famílias M ₃ com médias superiores à testemunha BRS Querência															
371	164	229	258	260	78	300									
Famílias M ₃ com médias iguais à testemunha BRS Querência (DR cr = 13,43%)															
315	237	390	385	118	376	161	301	318	126	34	151	224	154	267	156
282	181	262	232	135	183	171	266	257	302	272	182	235	265	40	239
271	163	236	177	319	27	249	273	269	387	283	30	174	215	275	305
268	81	386	187	56	250	190	178	200	378	252	278	391	198	153	172
191	277	259	234	228	65	307	162	179	155	280	134	264	69	222	244
170	46	150	160	119	186	276	47	352	289	149	396	230	308	192	317
70	242	120	384	293	75	221	251	240	379	303	281	169	389	377	331
309	261	233	55	388	323	226	263	84	194	180	284	73	238	395	23
292	287	125	42	129	80	6	306	370	393	79	288	127	63	294	320
241	53	105	17	392	327	89	274	295	18	31	57	199	74	197	71
286	314	299	245	316	311	290	110	205	325	356	136	83	111	326	270
32	54	64	336	398	26	29	72	158	195	3	152	121	243	343	185
45	96	231	19	207	335	279									
Famílias M ₃ com médias inferiores à testemunha BRS Querência															
58	138	33	51	337	321	9	189	85	330	304	48	328	112	175	82
104	1	5	223	363	332	216	165	4	397	113	50	394	2	77	173
7	123	167	157	128	108	329	213	76	159	206	184	13	193	114	310
132	368	313	399	362	49	340	60	35	148	11	10	139	28	102	168
341	94	115	52	86	130	103	324	25	8	322	124	357	41	95	62
360	208	44	87	176	188	334	117	36	333	133	137	122	285	116	59
91	16	400	166	342	37	131	144	369	373	214	145	361	339	100	38
227	312	107	196	374	90	338	43	141	140	14	347	109	101	106	143
359	22	67	98	375	147	142	372	20	61	92	382	12	97	39	99
88	298	21	297	346	146	291	355	93	344	367	210	296	15	24	66
68	201	202	203	204	209	211	212	217	218	219	220	225	246	247	248
253	254	255	256	345	348	349	350	351	353	354	358	364	365	366	380
381	383														

Designação dos códigos das famílias mutantes no apêndice da tese.

Em relação ao desempenho relativo do comprimento de parte aérea (Tabela 9), quando foram comparadas as famílias mutantes com a testemunha tolerante, pode-se observar que a maioria das famílias, 268 famílias (67%) apresentaram um desempenho inferior a testemunha, já 125 famílias (31,35%) apresentaram um comportamento semelhante (DR cpa = 60,70%) e apenas sete famílias (1,75%) apresentaram um desempenho superior a cultivar Nourim Mochi. No entanto ao comparar as famílias mutantes com a testemunha sensível (Tabela 10), foram detectadas 113 famílias (33,25%) com desempenho superior e 85 famílias (21,25%) com desempenho inferior, sendo que 182 famílias (45,5%) apresentaram uma resposta semelhante à testemunha (DR cpa = 19,22%).

Na tabela 11 pode ser verificado que 100 famílias (25%) apresentaram um desempenho superior ao da testemunha BRS Querência (DR cpa = 26,55%), 98 famílias (24,5%) um desempenho inferior e 202 famílias (50,5%) apresentaram um comportamento igual ao da testemunha.

Em relação à testemunha Nourim Mochi das 400 famílias mutantes avaliadas, 40,25% situaram-se na mesma classe da testemunha tolerante para o caráter CC, sendo que duas famílias (M₃ 362 e M₃ 233) apresentaram desempenho superior à testemunha, indicando que a indução de mutação com EMS na dose de 1,5% proporcionou, variabilidade genética para tolerância a baixas temperaturas para esse caráter. Da mesma maneira pode ser observado para o caráter CPA, que das 400 famílias mutantes avaliadas, 31,25% apresentaram um comportamento semelhante à testemunha Nourim Mochi, sendo que sete famílias (M₃ 319, M₃ 257, M₃ 260, M₃ 153, M₃ 161, M₃ 282 e M₃ 164) foram superiores a testemunha, demonstrando maior tolerância ao estresse a baixas temperaturas. No entanto para o caráter CR, somente uma família (M₃ 371), apresentou um comportamento semelhante à testemunha Nourim Mochi.

Em relação à testemunha BRS Querência das 400 famílias mutantes avaliadas, cinco famílias (M₃ 262, M₃ 233, M₃ 379, M₃ 261 e M₃ 288) apresentaram desempenho superior à testemunha, no entanto 35,75% apresentaram um comportamento inferior à testemunha para o caráter CC, indicando que indução de mutação com EMS também promoveu diminuição no índice de tolerância em algumas famílias. Igualmente pode ser observado para o caráter CR, que das 400 famílias mutantes avaliadas, 48,5% evidenciaram um comportamento inferior ao da testemunha BRS Querência, porém sete famílias (M₃ 371, M₃ 164, M₃ 229, M₃ 258,

M₃ 260, M₃ 78 e M₃ 300) foram superiores a testemunha. Estes resultados permitem inferir que a indução de mutação foi eficiente na ampliação de variabilidade genética, do caráter tolerância a baixas temperaturas, pois foram obtidas famílias mutantes com índices maiores de tolerância e sensibilidade que a cultivar original. Também pode ser verificado que das 400 famílias mutantes avaliadas 24,5 %, apresentaram uma resposta inferior ao da testemunha BRS Querência para o caráter CPA, sendo que 25% das famílias apresentaram um desempenho superior à testemunha para esse caráter.

Das 400 famílias mutantes avaliadas 34%, apresentaram um comportamento inferior à testemunha BR IRGA 409 para o caráter CC, já para os caracteres CR e CPA, 17% e 21,25% das famílias, respectivamente, apresentaram um desempenho inferior a testemunha sensível.

Tabela 9. Desempenho relativo do comprimento de parte aérea (DR cpa) de 400 famílias mutantes M₃, em relação à testemunha Nourim Mochi. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011.

Desempenho Relativo do Comprimento de Parte Aérea															
Famílias M ₃ com médias superiores à testemunha Nourim Mochi															
319	257	260	153	161	282	164									
Famílias M ₃ com médias iguais à testemunha Nourim Mochi (DR cpa = 60,70%)															
390	259	73	315	262	258	283	275	51	303	46	171	126	52	121	301
307	162	300	371	170	396	265	284	45	177	58	110	376	74	125	385
29	151	71	118	267	120	76	105	172	155	386	337	78	294	317	229
56	111	119	179	316	318	273	200	356	178	156	308	302	163	305	128
280	389	235	154	295	55	85	84	50	181	215	241	276	323	264	393
320	237	70	244	299	182	174	169	221	53	268	292	42	266	331	222
138	3	387	57	104	112	23	287	398	11	328	160	134	198	231	263
274	213	226	378	370	377	277	286	335	148	293	34	271			
Famílias M ₃ com médias inferiores à testemunha Nourim Mochi															
81	327	236	325	329	44	306	352	281	139	183	223	180	288	289	309
272	132	290	261	230	113	394	79	75	173	149	31	314	391	239	228
54	249	252	205	362	82	10	175	310	187	324	384	135	83	136	64
184	32	69	285	129	233	278	77	2	330	397	47	399	122	35	94
243	334	72	269	127	240	313	89	336	167	95	18	1	168	48	185
304	27	4	9	395	238	137	30	194	152	8	388	232	270	150	321
245	96	166	130	28	5	333	332	158	197	133	49	326	19	17	379
36	392	40	117	26	157	124	368	279	251	103	176	192	234	250	373
224	114	311	16	102	400	341	116	190	65	242	363	208	115	6	60
186	80	86	165	206	144	216	63	131	199	123	360	193	189	7	343
91	369	312	41	100	159	188	195	87	143	207	108	33	338	145	191
322	347	59	37	107	342	339	340	140	62	227	90	214	141	38	13
109	25	142	43	101	357	374	361	98	92	106	22	147	196	359	298
67	14	99	375	88	20	372	93	61	382	355	146	97	12	346	39
291	21	297	344	296	367	210	15	24	66	68	201	202	203	204	209
211	212	217	218	219	220	225	246	247	248	253	254	255	256	345	348
349	350	351	353	354	358	364	365	366	380	381	383				

Designação dos códigos das famílias mutantes no apêndice da tese.

Tabela 10. Desempenho relativo do comprimento de parte aérea (DR cpa) de 400 famílias mutantes M₃, em relação à testemunha BR IRGA 409. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011.

Desempenho Relativo do Comprimento de Parte Aérea															
Famílias M ₃ com médias superiores à testemunha BR IRGA 409															
319	257	260	153	161	282	164	390	259	73	315	262	258	283	275	51
303	46	171	126	52	121	301	307	162	300	371	170	396	265	284	45
177	58	110	376	74	125	385	29	151	71	118	267	120	76	105	172
155	386	337	78	294	317	229	56	111	119	179	316	318	273	200	356
178	156	308	302	163	305	128	280	389	235	154	295	55	85	84	50
181	215	241	276	323	264	393	320	237	70	244	299	182	174	169	221
53	268	292	42	266	331	222	138	3	387	57	104	112	23	287	398
11	328	160	134	198	231	263	274	213	226	378	370	377	277	286	335
148	293	34	271	81											
Famílias M ₃ com médias iguais à testemunha BR IRGA 409 (DR cpa = 19,22%)															
327	236	325	329	44	306	352	281	139	183	223	180	288	289	309	272
132	290	261	230	113	394	79	75	173	149	31	314	391	239	228	54
249	252	205	362	82	10	175	310	187	324	384	135	83	136	64	184
32	69	285	129	233	278	77	2	330	397	47	399	122	35	94	243
334	72	269	127	240	313	89	336	167	95	18	1	168	48	185	304
27	4	9	395	238	137	30	194	152	8	388	232	270	150	321	245
96	166	130	28	5	333	332	158	197	133	49	326	19	17	379	36
392	40	117	26	157	124	368	279	251	103	176	192	234	250	373	224
114	311	16	102	400	341	116	190	65	242	363	208	115	6	60	186
80	86	165	206	144	216	63	131	199	123	360	193	189	7	343	91
369	312	41	100	159	188	195	87	143	207	108	33	338	145	191	322
347	59	37	107	342	339										
Famílias M ₃ com médias inferiores à testemunha BR IRGA 409															
340	140	62	227	90	214	141	38	13	109	25	142	43	101	357	374
361	98	92	106	22	147	196	359	298	67	14	99	375	88	20	372
93	61	382	355	146	97	12	346	39	291	21	297	344	296	367	210
15	24	66	68	201	202	203	204	209	211	212	217	218	219	220	225
246	247	248	253	254	255	256	345	348	349	350	351	353	354	358	364
365	366	380	381	383											

Designação dos códigos das famílias mutantes no apêndice da tese.

Tabela 11. Desempenho relativo do comprimento de parte aérea (DR cpa) de 400 famílias mutantes M₃, em relação à testemunha BRS Querência. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011.

Desempenho Relativo do Comprimento de Parte Aérea (DR cpa)															
Famílias M ₃ com médias superiores à testemunha BRS Querência															
319	257	260	153	161	282	164	390	259	73	315	262	258	283	275	51
303	46	171	126	52	121	301	307	162	300	371	170	396	265	284	45
177	58	110	376	74	125	385	29	151	71	118	267	120	76	105	172
155	386	337	78	294	317	229	56	111	119	179	316	318	273	200	356
178	156	308	302	163	305	128	280	389	235	154	295	55	85	84	50
181	215	241	276	323	264	393	320	237	70	244	299	182	174	169	221
53	268	292	42												
Famílias M ₃ com médias iguais à testemunha BRS Querência (DR cpa = 26,55%)															
266	331	222	138	3	387	57	104	112	23	287	398	11	328	160	134
198	231	263	274	213	226	378	370	377	277	286	335	148	293	34	271
81	327	236	325	329	44	306	352	281	139	183	223	180	288	289	309
272	132	290	261	230	113	394	79	75	173	149	31	314	391	239	228
54	249	252	205	362	82	10	175	310	187	324	384	135	83	136	64
184	32	69	285	129	233	278	77	2	330	397	47	399	122	35	94
243	334	72	269	127	240	313	89	336	167	95	18	1	168	48	185
304	27	4	9	395	238	137	30	194	152	8	388	232	270	150	321
245	96	166	130	28	5	333	332	158	197	133	49	326	19	17	379
36	392	40	117	26	157	124	368	279	251	103	176	192	234	250	373
224	114	311	16	102	400	341	116	190	65	242	363	208	115	6	60
186	80	86	165	206	144	216	63	131	199	123	360	193	189	7	343
91	369	312	41	100	159	188	195	87	143						
Famílias M ₃ com médias inferiores à testemunha BRS Querência															
207	108	33	338	145	191	322	347	59	37	107	342	339	340	140	62
227	90	214	141	38	13	109	25	142	43	101	357	374	361	98	92
106	22	147	196	359	298	67	14	99	375	88	20	372	93	61	382
355	146	97	12	346	39	291	21	297	344	296	367	210	15	24	66
68	201	202	203	204	209	211	212	217	218	219	220	225	246	247	248
253	254	255	256	345	348	349	350	351	353	354	358	364	365	366	380
381	383														

Designação dos códigos das famílias mutantes no apêndice da tese.

A análise da correlação de Pearson (Tabela 12) demonstrou que todas as variáveis analisadas apresentaram correlações significativas e positivas entre si. Estes resultados evidenciam que reduções nos valores médios de uma variável são acompanhadas de reduções similares nas demais variáveis correlacionadas no grupo dos 403 genótipos estudados frente ao estresse por baixas temperaturas. As variáveis CPA e CC (0,62), e CPA e CR (0,60) apresentaram maior coeficiente de correlação significativa positiva, seguidas pela correlação entre as variáveis CR e CC (0,50). Dessa forma, os resultados obtidos sugerem que qualquer variável estudada pode ser utilizada como critério para discriminar famílias tolerantes ao estresse por baixas temperaturas.

Tabela 12. Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis: comprimento coleóptilo (CC), comprimento de raiz (CR) e comprimento de parte aérea (CPA) de 400 famílias mutantes M₃ e as testemunhas Nourim Mochi, BR IRGA 409 e BRS Querência. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011.

Variáveis	CC	CR	CPA
CC	1	0,50*	0,62*
CR		1	0,60*
CPA			1

* Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade de erro.

3.4 Conclusão

A indução de mutação em sementes de arroz da cultivar BRS Querência, com etilmetanosulfonato (EMS), a uma concentração de 1,5%, é eficiente no incremento da variabilidade genética para tolerância a baixas temperaturas no estágio de germinação.

A indução de mutação também promoveu diminuição no índice de tolerância ao estresse por baixas temperaturas, pela ocorrência de um grande número de mutações deletérias, afetando de forma negativa o desempenho das famílias mutantes.

3.5 Referências Bibliográficas

- AMARAL, A. dos S.; SANTOS, E.C. dos. Efeito da umidade e da temperatura do solo na emergência de plântulas de arroz. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 5, n. 1, p. 43-54, 1983.
- BERTIN, P., KINET, J.M., BOUHARMONT, J. Evaluation of chilling sensitivity in different rice varieties. Relationship between screening procedures applied during germination and vegetative growth. **Euphytica**, Dordrecht, v.89, p.201-210, 1996.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: SNDA/DNDV/CLAV. 365p, 2009.
- CRUZ, C. D. Programa genes: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2001. 648 p.
- CRUZ, R.P. da; MILACH, S.C.K. Cold tolerance at the germination stage of rice: Methods of evaluation and characterization of genotypes. **Scientia Agrícola**, v.61, n.1, p.1-8, 2004
- CRUZ, R.P.; GOLOMBIESKI, J.I.; BAZANA, M.T.; CABREIRA, C.; SILVEIRA, T.F.; ROBERTO, B.S.; SILVA, L.P. Alterações na composição de ácidos graxos pela temperatura baixa na fase vegetativa em genótipos de arroz. In: IV Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 2009, Porto Alegre - RS. **Anais...** p.128-133.
- FAGUNDES, P.R.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; STEINMETZ, S. Tolerância de genótipos de arroz irrigado ao frio nos estádios de germinação e emergência. . In: Embrapa Clima Temperado, 2010, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 118. 19p.
- FREITAS, D.A.C. **Desempenho de genótipos de arroz irrigado quanto ao frio na germinação e na emergência**. 2009. 72f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- IRGA, Instituto Rio-Grandense do Arroz. 2011. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br>.
- LYONS, J.M. Chilling injury in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v.24, p.445-466, 1973.
- MALUSZYNSKI, M. **Crop germplasm enhancement throught mutation techiques**. In: Proceedings of the international Symposium on Rice Germplasm Evaluation and Enhancement. J. N. Rutger, J. F. Robinson and R. H. Dilday, editors. Arkansas, USA, 1998.
- NÓBREGA, F.G. O perigo das mutações no RNA. **Ciência Hoje**, Ribeirão Preto, v.24, n.142, p.22-23, 1998.
- OKUMOTO, Y. Seedling. In: MATSUO, T.; FUTSUHARA, Y.; KIKUCHI, F. & YAMAGUCHI, H. (Eds.). **Science of the Rice Plant: Genetics**. 3.ed. Tokyo: Food and Agriculture Policy Reseach Center, 1997. p.256-262.
- SASAKI, T. Cold tolerance. In: Matsuo, T.; Futsuhara, Y.; Kikuchi, F.; & Yamaguchi, H. (Eds.). **Science of the Rice Plant: Genetics**. 3.ed. Tokyo: Food and Agriculture Policy Reseach Center, 1997. p.534-550.

SAHASRABUDHE, S.R. et al. Specificity of base substitutions induced by the acridine mutagen ICR – 191: mispairing by guanine N7 adducts as a mutagenic mechanism. **Genetics**, Baltimore, v.129, p.981-989, 1991.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. **SAS: Statistical Analysis System-Getting Started with the SAS Learning Edition**. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2002. 86p.

STHAPIT, B.R., WITCOMBE, J.R. Inheritance of tolerance to chilling stress in rice during germination and plumule greening. **Crop Science**, Madison, v.38, p.660-665, 1998.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños: International Rice Research Institute, 1981. cap.1, p.1-63.

4 CAPÍTULO II

IDENTIFICAÇÃO DE VARIABILIDADE PARA CARACTERES DE IMPORTÂNCIA AGRONÔMICA EM FAMÍLIAS MUTANTES DE ARROZ IRRIGADO

4.1 Introdução

O arroz é o segundo cereal mais cultivado no mundo, sendo a base alimentar de mais de três bilhões de pessoas. Cerca de 160 milhões de hectares são cultivados com arroz, anualmente, no mundo, produzindo cerca de 688 milhões de toneladas (AGRIANUAL, 2011).

Uma vez que o consumo e o cultivo do arroz se popularizaram, a distribuição para diferentes regiões seguida por seleção de tipos específicos gerou uma extraordinária diversidade varietal no gênero *Oryza* (HARLAND, 1975). A variabilidade genética constitui-se na essência dos processos evolutivos e do melhoramento vegetal, uma vez que, é imprescindível a presença desta para que a seleção natural e/ou artificial seja efetiva (JENNINGS et al., 1981). Além da variabilidade genética pré-existente no germoplasma, é possível a adição de variabilidade por meio de mutações artificiais, recombinações gênicas, transformação genética e mutações somaclonais.

A utilização de agentes mutagênicos físicos e químicos pode ser de fundamental importância para criação e incorporação de novos genes e/ou alelos de interesse agronômico, podendo resultar em genótipos mais estáveis e mais adaptados às condições edafoclimáticas do Sul do Brasil. A taxa de mutação espontânea é muito baixa; a mutação induzida tem sido mais utilizada para elevar as frequências de mutações e variações que podem ser induzidas tanto por tratamento com mutagênicos químicos, como substâncias alquilantes (etilmetanossulfonato), quanto físicos, como radiações ionizantes (PREDIERI, 2001). Inúmeros trabalhos demonstram resultados positivos obtidos mediante o emprego de agentes mutagênicos, a qual consiste em provocar alterações no DNA, gerando dessa forma

um genótipo que poderá possuir uma ou mais características desejáveis agronomicamente (MALUSZYNSKI et al., 1998; MARTINS et al., 2007; MANSOUR et al., 2010).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do mutagênico químico etilmetanossulfonato (EMS) sobre os caracteres comprimento de panícula principal, peso da panícula principal, massa de grãos da panícula principal, comprimento da folha bandeira, largura da folha bandeira, estatura de planta e comprimento de colmo, em 340 famílias M_3 de arroz derivadas da cultivar BRS Querência.

4.2 Material e Métodos

Obtenção das famílias mutantes

A obtenção dos genótipos mutantes foi realizada através tratamento de sementes de arroz da cultivar BRS Querência com o mutagênico químico, etilmetanosulfonato (EMS), a uma concentração de 1,5% (v/v). O tratamento das sementes foi feito no Laboratório de Genômica e Fitomelhoramento (LGF) da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” (FAEM), Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Capão do Leão – RS, Brasil.

O tratamento foi constituído de uma amostra de 40.000 sementes que foram acondicionadas em saquinho de tule e introduzidas em água destilada para embebição. As sementes permaneceram submersas por um período de seis horas, sendo posteriormente submetidas à ação do agente mutagênico por duas horas. Logo após a aplicação do mutagênico, permaneceram por uma hora em água corrente e uma hora em água parada. Estas sementes após permanecerem uma hora em água parada foram semeadas em campo experimental para avanço de geração.

Avanço de geração

As sementes da geração M_1 foram semeadas no ano de 2009, para avanço de geração, em campo experimental na Fazenda Experimental da Palma (FEP) pertencentes à Universidade Federal de Pelotas (UFPel), localizada no município de

Capão do Leão, RS. As plantas colhidas em *bulk*, deram origem a uma população M_2 .

No ano seguinte, em campo experimental localizado na Fazenda Palmital, da Embrapa Arroz e Feijão, sediada no município de Goianira, Goiás, 20.000 sementes da geração M_2 foram semeadas, visando o avanço de geração. Cada planta foi colhida individualmente, dando origem a 1500 famílias M_3 .

Ensaio de campo

As sementes da geração M_3 foram semeadas em campo experimental na Estação Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado localizada em Pelotas-RS. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completamente casualizados com quatro repetições, em que cada planta foi considerada uma unidade experimental. A cultivar BRS Querência foi utilizada como testemunha. Para o ensaio a campo, foi empregado o sistema de cultivo mínimo, de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do arroz irrigado (SOSBAI, 2010).

Foram avaliadas 340 famílias M_3 e a cultivar BRS Querência, para os caracteres: comprimento da panícula principal (CP), em cm; peso da panícula principal (PP), em g; massa de grãos da panícula principal (MGP), em g; comprimento da folha bandeira (CF), em cm; largura da folha bandeira (LF), em cm; estatura de planta (EP), em cm, e comprimento de colmo (CC), em cm.

Os dados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$), e a comparação entre as médias foi realizada pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade de erro. Também foi realizada análise de correlação de Pearson entre as variáveis mensuradas, e posteriormente análise de trilha. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio dos programas computacionais SAS e Genes (SAS LEARNING EDITION, 2002; CRUZ, 2001).

4.3 Resultados e Discussão

Os resultados apresentados pela análise de variância (Tabela 1) permitem evidenciar diferenças significativas a 5% de probabilidade de erro pelo teste F, entre as médias dos genótipos para todos os caracteres avaliados. Indicando haver diferenças significativas entre pelo menos um par de genótipos em cada variável analisada, permitindo concluir que houve eficiência na indução de mutação com EMS a dose de 1,5 %.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para os caracteres comprimento de panícula principal (CP), peso da panícula principal (PP), massa de grãos da panícula principal (MGP), comprimento da folha bandeira (CF), largura da folha bandeira (LF), estatura de planta (EP) e comprimento de colmo (CC), de 340 famílias mutantes M₃ e a testemunha BRS Querência. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio						
		CP	PP	MGP	CF	LF	EP	CC
Genótipos	340	12,45*	1,41*	1,22*	24,51*	0,07*	70,39*	69,18*
Blocos	3	69,41	10,50	9,06	38,39	0,02	314,69	92,19
Resíduo	1020	3,78	0,51	0,43	14,11	0,03	25,78	24,58
Média Geral	–	24,98	3,20	2,90	20,78	1,73	85,17	60,19
CV (%)	–	7,79	22,36	22,68	18,07	9,63	5,96	8,24

*Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

GL= graus de liberdade.

Os resultados obtidos pelo teste de Dunnett, para os sete caracteres estudados estão inclusos nas tabelas 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8, evidenciaram variabilidade genética entre as famílias estudadas, exceto para a variável comprimento da folha bandeira. Verificou-se que para todos os caracteres, com exceção do comprimento da folha bandeira, ocorreram famílias com médias significativamente diferentes da testemunha BRS Querência.

Em relação ao caráter comprimento da panícula principal (Tabela 2), pode-se observar que a maioria das famílias apresentou médias significativamente iguais a testemunha (24,72 cm), no entanto oito famílias obtiveram médias superiores a testemunha e apenas uma família apresentou comprimento de panícula principal inferior ao da testemunha.

Tabela 2. Comprimento da panícula principal de 340 famílias mutantes M₃ em relação à testemunha BRS Querência. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011.

Comprimento da panícula principal															
Famílias M ₃ com médias superiores à testemunha BRS Querência															
331	335	332	277	217	336	218	196								
Famílias M ₃ com médias iguais à testemunha BRS Querência (24,72 cm)															
36	242	297	33	236	88	18	30	132	339	31	17	204	176	227	34
284	317	2	75	52	185	178	189	265	3	10	55	184	149	177	243
125	37	171	206	40	271	35	179	190	47	19	43	197	209	320	289
172	153	188	258	337	65	80	15	91	49	148	173	238	298	5	95
24	195	253	9	46	262	276	302	72	180	245	257	268	270	105	175
39	45	131	205	26	29	83	186	300	25	32	340	84	230	288	76
79	27	111	237	273	13	234	12	170	48	78	203	69	110	116	121
246	81	140	161	187	194	210	308	67	202	286	303	92	255	283	324
4	1	135	280	50	53	89	99	107	146	207	259	87	137	232	315
240	290	193	23	28	183	314	38	254	313	115	130	323	102	106	154
200	291	127	198	157	159	318	223	261	11	208	156	133	338	225	98
118	147	275	7	241	136	166	287	152	163	214	70	108	22	112	215
272	212	231	249	267	295	139	244	327	16	211	305	63	150	224	256
142	333	8	20	167	292	322	328	239	278	73	174	248	122	145	134
141	155	182	307	21	126	251	334	94	269	124	168	221	281	151	57
86	120	299	316	129	164	274	226	306	310	60	143	199	93	85	90
109	144	219	233	247	266	51	128	228	279	309	62	114	330	119	162
264	165	169	77	101	263	41	64	117	220	66	235	301	68	325	54
42	191	103	104	97	181	14	285	96	282	58	319	6	293	312	229
192	294	59	71	252	158	304	296	329	123	222	74	260	326	321	216
56	201	113	44	311	138	250	160	100	61	82					
Famílias M ₃ com médias inferiores à testemunha BRS Querência															

213

Designação dos códigos das famílias mutantes no apêndice da tese.

Para o caráter peso da panícula principal (Tabela 3), seis famílias apresentaram médias superiores ao da testemunha (3,19 g) e somente uma família apresentou média inferior para esse caráter, sendo que as demais famílias apresentaram o peso da panícula principal significativamente igual ao da testemunha.

Tabela 3. Peso da panícula principal de 340 famílias mutantes M₃ em relação à testemunha BRS Querência. FAEM/UFPeL-LGF, Pelotas-RS, 2011.

Peso da panícula principal															
Famílias M ₃ com médias superiores à testemunha BRS Querência															
36	34	28	2	17	16										
Famílias M ₃ com médias iguais à testemunha BRS Querência (3,19 g)															
30	1	236	29	33	3	219	40	206	339	18	38	15	19	9	31
176	227	22	27	37	132	25	43	52	48	197	12	35	203	214	205
196	13	223	26	55	239	177	189	149	4	187	64	230	204	21	11
237	50	179	262	45	286	147	51	148	340	209	153	75	46	232	10
7	23	280	215	111	265	140	89	8	62	253	300	24	212	298	150
255	163	240	185	194	172	173	313	107	238	268	207	125	188	210	32
234	102	131	41	66	5	47	99	159	155	166	195	291	54	167	92
108	135	49	137	76	157	20	175	290	251	283	338	88	220	243	199
228	245	126	161	164	152	94	226	14	193	323	67	136	42	320	6
184	57	257	273	242	105	73	330	146	198	247	289	337	178	224	254
292	304	241	65	270	144	83	112	77	314	312	264	208	39	70	284
235	181	287	288	336	174	170	72	271	295	310	333	143	127	130	53
261	95	186	315	221	103	154	118	334	180	211	256	183	246	171	302
128	139	59	202	114	63	82	200	307	267	58	133	165	116	134	158
263	104	156	106	324	101	233	80	142	282	145	168	169	269	331	301
97	91	121	109	325	192	141	303	276	87	299	297	151	317	318	68
190	119	138	258	319	93	69	309	249	296	162	90	182	306	160	275
244	122	329	98	252	124	84	279	293	308	110	294	225	229	327	129
222	248	113	60	120	85	79	328	217	335	71	115	322	201	316	231
266	272	326	332	216	218	321	56	285	250	305	100	78	44	281	191
123	74	278	274	117	96	86	61	311	81	259	260	213			
Famílias M ₃ com médias inferiores à testemunha BRS Querência															

277

Designação dos códigos das famílias mutantes no apêndice da tese.

Quanto ao caráter massa de grãos da panícula principal (Tabela 4), foram detectadas sete famílias com médias superiores à testemunha (2,89 g), no entanto nenhuma família apresentou médias inferiores à testemunha, sendo as demais famílias não apresentaram diferenças significativas em relação à testemunha para esse caráter.

Tabela 4. Massa de grãos da panícula principal de 340 famílias mutantes M₃ em relação à testemunha BRS Querência. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011.

Massa de grãos da panícula principal															
Famílias M ₃ com médias superiores à testemunha BRS Querência															
36	34	2	28	30	17	1									
Famílias M ₃ com médias iguais à testemunha BRS Querência (2,89 g)															
16	236	29	206	33	339	3	18	40	38	9	15	19	197	22	176
31	205	25	43	214	37	27	232	227	132	48	223	52	203	12	289
13	237	26	196	64	51	177	239	230	21	189	55	340	45	4	11
148	179	35	187	286	147	204	209	50	153	46	215	262	265	149	10
280	253	140	75	111	212	23	300	62	240	210	8	298	207	163	185
172	194	255	313	107	188	150	234	24	173	66	152	242	245	32	268
125	5	159	291	54	41	243	167	102	238	166	251	338	99	126	7
47	199	290	226	157	135	220	175	228	155	20	42	137	164	108	161
195	76	283	219	49	67	14	323	136	184	92	94	57	73	247	105
88	198	337	273	304	292	146	257	330	193	224	320	6	241	131	178
181	144	235	211	208	65	336	312	112	77	83	264	270	89	70	288
174	287	72	271	333	53	63	127	170	284	314	334	130	103	310	246
221	118	295	143	154	261	39	128	95	183	186	315	114	180	256	58
202	59	158	139	200	307	324	82	233	267	254	106	101	142	133	331
165	303	134	263	282	116	145	301	171	156	266	302	98	168	309	80
109	192	269	151	121	252	141	325	169	249	319	68	138	87	318	299
276	69	119	162	91	296	90	244	306	182	104	93	122	329	258	275
248	190	160	225	113	293	297	229	317	308	222	217	124	129	84	85
294	327	335	120	97	328	279	201	332	110	115	79	218	71	272	316
60	321	322	231	250	56	216	326	285	100	305	281	123	44	191	74
78	117	278	96	274	61	86	311	213	259	260	277	81			
Famílias M ₃ com médias inferiores à testemunha BRS Querência															

Nenhuma família apresentou média inferior à testemunha

Designação dos códigos das famílias mutantes no apêndice da tese.

Para o caráter largura da folha bandeira (Tabela 6), foram verificadas somente três famílias com médias inferiores à testemunha, sendo que os restantes das famílias apresentaram médias significativamente iguais à testemunha (1,67 cm).

Tabela 6. Largura da folha bandeira de 340 famílias mutantes M₃ em relação à testemunha BRS Querência. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011.

Largura da folha bandeira															
Famílias M ₃ com médias superiores à testemunha BRS Querência															
Nenhuma família apresentou média superior à testemunha															
Famílias M ₃ com médias iguais à testemunha BRS Querência (1,67 cm)															
46	86	93	112	9	89	139	183	129	130	196	280	17	30	47	52
79	88	102	133	178	190	236	45	48	53	58	80	91	92	105	115
122	125	137	174	177	184	185	187	336	15	29	36	64	83	87	101
103	109	111	119	168	189	206	221	227	238	245	254	313	10	25	34
39	54	66	114	124	127	132	172	180	186	195	224	260	271	16	27
28	40	43	55	82	85	94	95	98	107	108	120	141	148	149	166
203	230	243	297	1	18	22	31	35	37	42	49	50	65	69	77
99	104	126	134	146	173	179	182	202	255	262	263	298	2	12	21
26	62	68	78	84	121	123	135	152	163	171	175	228	265	270	286
287	290	295	268	3	5	8	19	23	24	41	97	110	117	118	142
144	145	161	169	170	176	194	208	209	223	226	233	246	251	256	267
274	281	315	317	7	11	32	33	38	57	59	71	72	106	131	136
138	153	165	188	214	215	237	249	258	261	273	276	288	300	305	308
314	4	20	56	113	116	156	159	200	204	205	219	235	275	277	291
306	67	70	90	96	100	150	157	167	232	244	252	283	284	285	296
302	304	310	318	324	326	73	81	147	154	162	211	241	250	259	301
307	312	338	76	128	151	155	191	197	198	199	201	218	239	240	247
266	269	279	292	293	320	322	325	60	63	207	220	222	229	231	248
257	303	311	319	330	337	6	13	61	140	158	289	294	299	323	340
14	75	164	192	193	212	282	335	216	217	234	242	316	328	332	339
210	264	331	253	272	278	333	334	321	327	309	51	181	329	74	160
225															
Famílias M ₃ com médias inferiores à testemunha BRS Querência															
213	44	143													

Designação dos códigos das famílias mutantes no apêndice da tese.

Em relação ao caráter estatura de planta (Tabela 7), 121 famílias apresentaram estatura média superior à testemunha (76,25 cm), já as demais famílias apresentaram estatura média significativamente igual à apresentada pela testemunha. Contrariando os resultados obtidos por Martins et al. (2005), onde a indução de mutação foi eficiente na redução do caráter estatura de planta em genótipos de arroz. No entanto Borojevic (1966), que em trabalho com indução de mutações em trigo indicou um acréscimo na média para caracteres quantitativos estatura de planta, número de grãos por espiga e rendimento de grãos. Os resultados observados sugerem que o agente mutagênico promoveu alterações nos alelos que conferem a estatura baixa provocando o aumento da estatura de planta, como anteriormente observado em cultivares de arroz do tipo selvagem.

Tabela 7. Estatura de planta de 340 famílias mutantes M₃ em relação à testemunha BRS Querência. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011.

Estatura de planta															
Famílias M ₃ com médias superiores à testemunha BRS Querência															
33	9	36	43	26	39	47	25	48	23	17	19	46	230	11	15
29	20	37	31	40	22	45	2	5	16	52	212	223	3	24	42
84	196	12	21	34	53	66	6	7	28	262	1	8	145	18	115
41	13	178	179	4	162	204	207	222	236	60	118	205	92	202	291
259	56	215	30	287	298	283	35	38	243	177	313	10	14	51	234
255	256	307	129	188	227	297	320	143	182	140	147	271	295	104	149
172	221	245	246	263	267	272	150	315	27	32	50	132	168	218	268
301	304	314	161	192	49	185	276	299							
Famílias M ₃ com médias iguais à testemunha BRS Querência (76,25 cm)															
206	261	77	187	233	316	336	281	112	241	332	70	197	122	79	183
186	214	251	266	289	300	308	311	75	91	144	148	101	105	146	253
254	280	98	158	173	238	265	194	99	114	166	176	198	136	171	330
108	124	189	235	55	191	200	226	237	264	328	152	102	107	155	224
78	103	121	228	65	81	89	100	126	248	324	193	270	305	338	151
184	275	303	310	317	63	180	76	110	113	117	244	257	258	292	294
82	83	74	95	109	142	163	286	64	116	203	240	260	273	93	111
153	54	170	174	285	309	339	125	190	239	44	130	208	269	71	169
86	73	302	326	331	229	128	225	319	325	164	159	219	157	199	220
85	139	209	247	249	284	321	131	175	61	68	282	323	327	58	127
57	217	288	87	80	154	242	277	290	306	329	201	232	322	120	278
69	279	141	312	340	106	137	94	134	59	135	318	333	97	119	165
334	195	293	72	138	216	211	252	296	337	210	62	90	167	133	96
67	156	250	274	231	335	88	181	160	123	213					
Famílias M ₃ com médias inferiores à testemunha BRS Querência															

Nenhuma família apresentou média inferior à testemunha

Designação dos códigos das famílias mutantes no apêndice da tese.

Para o caráter comprimento de colmo (Tabela 8), 116 famílias evidenciaram médias superiores à testemunha (51,53 cm) e apenas uma família apresentou comprimento de colmo inferior, sendo que as demais famílias permaneceram na mesma classe da testemunha. Estes resultados indicam a possibilidade de ter ocorrido alteração da constituição genética dos indivíduos para o aumento do comprimento de colmo, quando se utiliza o agente mutagênico.

A comparação da cultivar BRS Querência, com as famílias mutantes permitiu a identificação de quatro famílias (M₃ 36, M₃ 2, M₃ 28, M₃ 17 e M₃ 34), que se destacaram por apresentaram médias significativamente superiores para maioria

dos caracteres avaliados, entre eles, peso da panícula principal, massa de grãos da panícula principal, estatura de planta e comprimento de colmo; sugerindo a ocorrência de alterações genéticas ocasionadas por mutação em genes que controlam estes caracteres. Além das famílias citadas, para o caráter massa de grãos da panícula principal, mais duas famílias (M₃ 30 e M₃ 1) apresentaram médias superiores para essa característica.

Os caracteres estatura de planta e comprimento de colmo foram os que apresentaram maior destaque, em resposta ao agente mutagênico, pois a maior parte das famílias se comportou de maneira diferencial em relação à testemunha com médias significativamente superiores para essas duas características. Coimbra et al. (2004) , avaliando o efeito do agente mutagênico EMS em genótipos de aveia, observou que o emprego do mutagênico incrementou o caráter estatura de planta em doses mais baixas; o contrário do obtido quando empregadas doses mais elevadas.

Para o caráter comprimento da panícula principal, oito famílias (M₃ 331, M₃ 335, M₃ 332, M₃ 277, M₃ 217, M₃ 336, M₃ 218 e M₃ 196), se destacaram por apresentarem médias significativamente superiores em comparação com a testemunha. Esses resultados revelam o efeito benéfico da mutação para o caráter avaliado em algumas famílias.

Para os caracteres massa de grãos da panícula principal, comprimento da folha bandeira e estatura de planta nenhuma família apresentou médias significativamente inferiores ao da testemunha, no entanto para o caráter largura de folha bandeira foram identificadas três famílias (M₃ 231, M₃ 44 e M₃ 143) que apresentaram largura de folha bandeira inferior ao da testemunha, já para os demais caracteres, foi verificado somente uma família inferior a testemunha para o caráter comprimento da panícula principal (M₃ 213), peso da panícula principal (M₃ 277) e comprimento de colmo (M₃ 335).

Os resultados obtidos por Mahar et al. (2003) corroboram a eficiência, da mutação induzida, em criar variabilidade genética em caracteres de herança quantitativa em plantas autógamas.

Comparando os resultados obtidos para os sete caracteres avaliados no estudo, pode ser verificado que os caracteres estatura de planta e comprimento de colmo apresentaram maior número de famílias que se diferenciaram da testemunha utilizada, pois são caracteres altamente correlacionados. Já os caracteres largura da

folha bandeira, peso da panícula principal, massa de grãos da panícula principal e comprimento da panícula principal, foram as que apresentaram, respectivamente, um menor número de famílias que obtiveram médias diferentes estaticamente da testemunha, sendo que para o caráter comprimento de folha nenhuma família diferiu da testemunha.

Cabe ressaltar que o espectro de mutações está intimamente relacionado com o tamanho da população avaliada; o que sugere que quanto maior for o desvio padrão, proporcionalmente maior será a variabilidade do caráter, sendo que para essa relação ser válida, o tamanho da população avaliada tem que ser suficientemente grande, a fim de proporcionar uma análise mais criteriosa da variabilidade existente entre as populações estudadas (SCHLOTZHAUER e LITTELL, 1987). Assim, o espectro de mutação é dependente do número de genes que controlam o caráter, da constituição genotípica, do produto mutagênico, da dose avaliada e, do número de genomas envolvidos (diplóide ou poliplóide) (CHANDHANAMUTTA e FREY, 1974).

Tabela 8. Comprimento de colmo de 340 famílias mutantes M₃ em relação à testemunha BRS Querência. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011.

Comprimento de colmo															
Famílias M ₃ com médias superiores à testemunha BRS Querência															
9	43	26	39	23	25	33	48	47	11	20	36	230	42	46	22
19	6	29	16	66	212	15	56	223	222	17	21	37	45	41	40
5	8	7	145	162	84	53	24	28	12	60	31	14	1	2	115
52	262	3	118	51	215	4	104	304	207	287	311	13	291	129	307
192	92	143	256	202	259	263	34	182	301	38	205	221	283	179	313
100	295	82	77	168	147	255	267	150	178	272	298	299	234	233	158
316	18	140	204	281	35	266	315	101	314	246	243	144	188	50	261
122	177	251	320												
Famílias M ₃ com médias iguais à testemunha BRS Querência (51,53 cm)															
112	113	161	236	196	241	245	27	10	70	114	191	32	172	235	30
214	330	268	271	187	103	264	276	183	49	124	149	226	227	74	294
44	98	308	61	166	228	254	260	146	328	136	79	108	155	198	280
206	186	300	224	117	126	99	152	194	297	310	185	248	105	197	326
151	148	200	91	289	253	305	64	132	285	102	109	71	54	63	173
238	107	292	338	237	275	244	321	93	89	229	121	142	193	309	78
324	81	75	319	163	169	171	303	265	174	325	269	239	270	86	110
65	201	128	189	176	55	76	180	240	73	286	220	282	257	329	58
83	164	219	116	208	203	68	199	258	85	130	247	273	95	111	170
184	225	139	249	153	317	159	57	157	327	312	306	138	302	190	59
218	125	323	127	279	120	216	322	278	97	154	87	131	141	175	290
293	339	94	134	209	288	165	232	119	252	296	333	334	106	80	69
137	284	318	135	340	250	336	211	62	90	167	96	195	72	242	210
133	337	274	156	160	181	67	231	332	123	217	88	277	213	331	
Famílias M ₃ com médias inferiores à testemunha BRS Querência															

335

Designação dos códigos das famílias mutantes no apêndice da tese.

Nos programas de melhoramento genético, a correlação entre as variáveis é importante quando se deseja realizar a seleção simultânea entre características ou quando o caractere de interesse apresenta baixa herdabilidade ou difícil mensuração e identificação. As correlações são, em geral, explicadas pela ligação gênica, bem como pelo efeito pleiotrópico dos genes, afetando dois caracteres simultaneamente (FALCONER, 1981). Portanto, o conhecimento do grau de associação entre caracteres agronômicos é de grande importância para os melhoristas, principalmente porque a seleção sobre determinado caráter pode alterar o comportamento do outro.

Através da análise de correlação de Pearson apresentada na tabela 9, pode ser evidenciada correlação significativa e positiva para quase todas as variáveis estudadas. Apenas as variáveis EP com CF e CC com CF não apresentaram correlações significativas ao nível de 5% de significância, resultado que indica que as respostas dessas variáveis são independentes uma da outra, caso que não acontece com as demais. As variáveis que apresentaram maior correlação significativa positiva foram MGP com PP (0,98), seguidas pela correlação entre CC e EP que foi de 0,92. Foi evidenciada correlação negativa significativa somente para combinação CC com CP.

Os caracteres largura e comprimento da folha bandeira se apresentam positivamente correlacionados com as variáveis CP, PP e também MGP. Estas correlações permitem inferir sobre a possibilidade, de que um aumento nas dimensões da folha que é considerado um importante parâmetro, por definir a taxa de fotossíntese realizada na planta, resulta na maior produção de fotoassimilados que serão, em parte, translocados para formação da panícula, refletindo em melhor capacidade produtiva.

Tabela 9. Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis: comprimento de panícula principal (CP), peso da panícula principal (PP), massa de grãos da panícula principal (MGP), comprimento da folha bandeira (CF), largura da folha bandeira (LF), estatura de planta (EP) e comprimento de colmo (CC), de 340 famílias mutantes M₃ e a testemunha BRS Querência. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011.

Variáveis	CP	PP	MGP	CF	LF	EP	CC
CP	1	0,47*	0,47*	0,29*	0,23*	0,26*	-0,15*
PP		1	0,98*	0,35*	0,31*	0,40*	0,22*
MP			1	0,34*	0,29*	0,40*	0,21*
CF				1	0,12*	0,10	-0,02
LF					1	0,23*	0,14*
EP						1	0,92*
CC							1

* Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade de erro.

Estudos de correlação simples não permitem tirar conclusões sobre causa e efeito entre as variáveis, mas apenas indicam uma associação entre elas (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992). A partir dessa lacuna, Wright (1921; 1923) propôs um método próprio que investiga essas relações causais, denominado de análise de trilha ou “Path analysis”. Conforme Samonte et al. (1998), a principal vantagem da análise de trilha é permitir a fragmentação do coeficiente de correlação em componentes, um sendo o coeficiente de trilha propriamente dito, avaliando a influência direta da variável independente sobre a variável resposta e outro, que demonstra os efeitos indiretos da variável independente sobre a variável resposta, através de outras variáveis.

Na tabela 10, são apresentadas as estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis analisadas sobre a massa de grãos da panícula principal. O coeficiente de determinação do modelo da análise de trilha R^2 (0,95) indica que as variáveis explicativas utilizadas explicam grande parte das variações na variável básica MGP.

Considerando os efeitos diretos sobre a massa de grãos da panícula principal, as variáveis que tiveram efeito direto positivo foram CC (0,22), CP (0,11) e PP que apresentou o maior efeito direto (0,97), ficando também com a maior correlação total (0,97), indicando grande contribuição para o aumento da MGP. Embora o baixo efeito direto do CP, a sua correlação total foi de 0,47, demonstrando a sua maior influência indireta via PP que foi de 0,45.

As variáveis que apresentaram correlação total positiva com a massa de grãos da panícula principal foram CF, EP e LF, o que sugere que a seleção indireta

possa ser eficiente. Porém os caracteres da correlação direta sobre as variáveis foram negativos, sendo que para os caracteres CF e LF é verificada menor magnitude, ao contrário da variável EP que apresenta valor de maior magnitude, indicando assim que o caráter auxiliar não é determinante e que os outros caracteres são mais eficientes. Assim a seleção indireta, por meio das variáveis CF, LF e EP, somente será eficiente em aumentar a MGP se forem considerados concomitantemente os efeitos indiretos via PP. Nesse caso a concentração de esforços na seleção por meio das variáveis CF, LF e EP, poderá não resultar em ganhos satisfatórios na variável MGP.

A análise de trilha apontou o PP e o CP como variáveis a serem utilizadas quando o objetivo é a obtenção de incrementos indiretos na variável básica MGP, por meio de seleção indireta. Devido aos maiores valores de correlação e efeito direto apresentados pela variável PP, esta deve ser priorizada.

Tabela 10. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos entre a variável massa de grãos da panícula principal (MGP) com o comprimento da panícula principal (CP), peso da panícula principal (PP), comprimento da folha bandeira (CF), largura da folha bandeira (LF), estatura de planta (EP) e comprimento de colmo (CC), em 340 famílias mutantes M₃ e a cultivar BRS Querência. FAEM/UFPel-LGF, Pelotas-RS, 2011.

Caracteres	Efeito	Caracteres	Efeito
	Efeito direto sobre MGP		Efeito direto sobre MGP
	0,1065		0,9715
	Efeito indireto via PP		Efeito indireto via CP
	0,4595		0,0504
CP	Efeito indireto via CF	PP	Efeito indireto via CF
	-0,0004		-0,0005
	Efeito indireto via LF		Efeito indireto via LF
	-0,0036		-0,0047
	Efeito indireto via EP		Efeito indireto via EP
	-0,0567		-0,0891
	Efeito indireto via CC		Efeito indireto via CC
	-0,0324		0,0474
Total	0,4730	Total	0,9750
	Efeito direto sobre MGP		Efeito direto sobre MGP
	-0,0015		-0,0153
	Efeito indireto via CP		Efeito indireto via CP
	0,0313		0,0247
CF	Efeito indireto via PP	LF	Efeito indireto via PP
	0,3371		0,2983
	Efeito indireto via LF		Efeito indireto via CF
	-0,0019		-0,0002
	Efeito indireto via EP		Efeito indireto via EP
	-0,0225		-0,0509
	Efeito indireto via CC		Efeito indireto via CC
	-0,0035		0,0304
Total	0,3390	Total	0,2870
	Efeito direto sobre MGP		Efeito direto sobre MGP
	-0,2204		0,2173
	Efeito indireto via CP		Efeito indireto via CP
	0,0274		-0,0159
EP	Efeito indireto via PP	CC	Efeito indireto via PP
	0,3925		0,2118
	Efeito indireto via CF		Efeito indireto via CF
	-0,0002		0,00002
	Efeito indireto via LF		Efeito indireto via LF
	-0,0035		-0,0021
	Efeito indireto via CC		Efeito indireto via EP
	0,1993		-0,2021
Total	0,3950	Total	0,2090
Coeficiente de determinação	0,9511		
Efeito residual	0,2212		

4.4 Conclusão

A indução de mutação com etilmetanosulfonato (EMS), a uma concentração de 1,5%, é eficiente na geração de mutantes de arroz para os caracteres comprimento de panícula principal, peso da panícula principal, massa de grãos da panícula principal, largura da folha bandeira, estatura de planta e comprimento de colmo.

O agente mutagênico etilmetanosulfonato, não proporcionou incremento da variabilidade genética para o caráter comprimento da folha bandeira.

4.5 Referências Bibliográficas

- AGRIANUAL 2011: Anuário estatístico da agricultura brasileira. São Paulo: FNP-Consultoria e Comércio, p.161-167, 2011.
- BOROJEVIC, K. Studies on radiation-induced mutations in quantitative characters of wheat (*Triticum vulgare*). In: Mutations In Plant Breeding. **Proceedings**. Vienna: IAEA, 1966, p.15-38.
- CRUZ, C. D. Programa genes: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2001. 648 p.
- CHANDHANAMUTTA, P., FREY, K.J. Spontaneous and induced mutation rates in di-, tetra - and hexaploid oats (*Anena* sp.). **Radiation Botany**, Great Britain, v.15, p.279-289, 1974.
- COIMBRA, J. L. M.1; CARVALHO, F I. F. de; OLIVEIRA, A. C. de; GUIDOLIN, A F. Criação de variabilidade genética no caráter estatura de planta em aveia: hibridação artificial x mutação induzida. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.10, n. 3, p. 273-280, 2004.
- FALCONER, D. S. Introdução à genética quantitativa. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ. 1981, 279p.
- HARLAND, J. R. **Crops and man**. Madison: American Society Agronomic, 1975. 295p.
- JENNINGS, P. R.; COFFMAN, W. R.; KAUFFMAN, H. E. **Mejoramiento de arroz**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1981. 237 p.
- MALUSZYNSKI, M.; AHOOWALIA, B.; ASHRI, A.; NICTERLEIN, K.; VAN ZANTEN, L. Induced mutations in rice breeding and germplasm enhancement. In: Proceedings Of The 19th Session Of The International Rice Commission. Cairo, Egypt, 7-9 September 1998.
- MANSOUR, D.; ZIMMER, P. D.; FONSECA, F. S. , MENEGHELLO, G. E. Indução de mutação em sementes de arroz (*Oryza sativa* L.) e seleção de possíveis mutantes para dormência. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.16, n.1-4, p.23-28, 2010.
- MARTINS, A.F.; ZIMMER, P.D.; OLIVEIRA, A.C.; CARVALHO, F.I.F.; VIEIRA, E.A.; CARVALHO, M.F.; MARTINS, L.F.; FONSECA. Variabilidade para caracteres morfológicos em mutantes de arroz. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, n.6, p.1215-1223, 2005.
- MARTINS, A. F.; VIEIRA, E. A.; KOPP, M. M.; LUZ, V. K.; CARVALHO, M. F. ; BRANCO, J. S. C.; CRUZ, R. P.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C. Caracterização de famílias mutantes de arroz para tolerância ao frio nos períodos vegetativo e reprodutivo. **Bragantia**, v.66, n.2, p.227-233, 2007.
- MAHAR, A.R.; HOLLINGTON, P.A.; VIRK, D.S. et al. Selection for early heading and salt-tolerance in bread wheat. **Cereal Research Communications**, v. 31, n.1-2, p. 81-88, 2003.
- PREDIERI, S. Mutation induction and tissue culture in improving fruits. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Netherlands, v.64, p.185-210, 2001.
- SAMONTE, S.O.P.B., WILSON, L.T., McCHUNG, A.M. Path analyses of yield and yield-related traits of fifteen diverse rice genotypes. **Crop Science**, Madison, v.38, p.1130-1136, 1998.

SCHLOTZAUER, S.D., LITTELL, R.C. Sas system for elementary statistical analysis. Cary: Sas Institute, 1987. 399p.

SOCIEDADE SUL BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO - SOSBAI. Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. In: XXVIII REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 2010, Porto Alegre. **Anais**. Porto Alegre: CBAI, 2010. 188 p.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. **SAS: Statistical Analysis System-Getting Started with the SAS Learning Edition**. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2002. 86p.

VENCOVSKY. R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496p.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, v.20, p.557-585, 1921.

WRIGHT, S. Theory of path coefficients. **Genetics**, New York, v.8, p.239-285, 1923.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o melhoramento genético de um caráter é fundamental a existência de variabilidade, sendo a identificação de variabilidade é um dos primeiros passos para dar partida a um programa de melhoramento visando à obtenção de genótipos superiores. Para o arroz, essa pode ser incrementada por meio da introdução de germoplasma - através de cruzamentos com genótipos do grupo *japonica*, através da avaliação do germoplasma disponível no programa de melhoramento ou pela utilização de mutações induzidas.

De acordo com os resultados encontrados, pode-se perceber a eficiência e a importância do uso de agentes mutagênicos na busca de variabilidade genética para plantas. Além disso, as famílias M₃ apresentam caracteres promissores para uso direto e/ou para uso em hibridações. É possível com o uso de agentes mutagênicos que se consiga incrementar determinadas características nas cultivares já existentes no mercado, facilitando e/ou acelerando o processo de seleção e lançamento de uma cultivar.

A obtenção de cultivares tolerantes ao estresse por baixas temperaturas, no período de germinação é de grande importância para estabilidade da produção deste cereal no Rio Grande do Sul, onde períodos de temperaturas baixas são comuns ao longo do ciclo da cultura.

A temperatura é um fator de natureza abiótica e imprevisível e, por isso, os efeitos negativos de sua ocorrência sobre o arroz são de difícil controle em nível de manejo, o que torna a tolerância genética das cultivares extremamente importante para estabilizar a germinação e estabelecimento de plantas nas áreas sujeitas à ocorrência de frio.

O melhoramento visando obtenção de genótipos tolerantes ao estresse por baixas temperaturas seria de fundamental interesse em regiões onde ocorre tal condição. A indução de mutação tem sido relatada por muitos pesquisadores como uma eficiente forma de indução de variabilidade genética para diversos caracteres. As avaliações neste trabalho demonstraram a eficiência com a indução de mutação para o caráter tolerância a baixas temperaturas no estágio germinativo e sobre caracteres de importância agrônômica em arroz.

Apêndices

Apêndice A - Capítulo I

Caracterização de famílias mutantes de arroz quanto à tolerância ao estresse por baixas temperaturas no estágio germinativo.

Apêndice A1. Desempenho relativo do comprimento de coleótilo (DR cc), comprimento de raiz (DR cr) e comprimento de parte aérea (DR cpa) de 400 famílias mutantes M₃ e as testemunhas Nourim Mochi, BR IRGA 409 e BRS Querência. FAEM/UFPeL-CGF, Pelotas-RS, 2011.

Amostra	Família M ₃	DR cc (%)	DR cr (%)	DR cpa (%)
1	410	94,35	4,70	25,87
2	395	68,40	4,14	29,91
3	921	57,82	5,90	45,56
4	1370	89,75	4,90	24,69
5	1173	64,44	4,94	22,21
6	1312	65,42	8,26	14,56
7	1420	43,58	4,61	13,25
8	922	81,57	2,65	22,99
9	1062	119,23	5,44	24,88
10	540	86,33	3,16	31,57
11	1301	103,45	3,25	44,42
12	1109	14,00	0,76	2,24
13	1051	23,24	4,37	4,94
14	1194	25,14	1,77	2,47
15	1457	0,00	0,00	0,00
16	1347	124,05	2,06	17,18
17	443	64,12	8,72	21,10
18	400	76,29	7,38	26,58
19	409	92,00	5,43	20,69
20	417	17,62	0,95	2,81
21	1199	11,67	0,56	1,55
22	159	14,76	1,62	6,10
23	1100	62,30	8,13	44,90
24	1227	0,00	0,00	0,00
25	1050	30,00	4,74	5,75
26	1245	69,98	6,63	20,56
27	167	33,22	18,41	25,59
28	1067	81,67	3,01	21,71
29	1110	79,82	7,13	58,83
Continua				

Amostra	Família M ₃	DR cc (%)	DR cr (%)	DR cpa (%)
30	1099	55,14	16,32	24,12
31	870	58,07	7,04	33,41
32	1319	51,95	6,82	30,73
33	1404	59,25	5,67	10,56
34	169	53,24	21,70	39,72
35	1278	82,50	3,29	28,57
36	1263	119,00	2,43	20,29
37	937	71,33	2,21	8,49
38	917	42,67	1,99	5,64
39	1299	7,08	0,94	2,54
40	178	57,64	18,23	19,81
41	140	52,08	3,72	15,61
42	976	92,90	9,34	46,52
43	299	34,52	1,89	6,55
44	1284	66,14	2,50	38,38
45	437	84,10	6,03	63,36
46	1397	84,50	13,76	67,10
47	1055	88,00	10,87	28,86
48	1076	66,86	5,47	25,77
49	1087	72,06	3,51	21,63
50	1314	73,77	4,41	50,85
51	1391	65,96	5,66	67,88
52	1364	92,71	2,79	66,62
53	1295	117,62	8,08	47,13
54	1265	103,50	6,13	32,88
55	1493	86,15	12,21	51,10
56	1259	63,47	13,91	55,59
57	1251	96,19	7,32	45,23
58	1179	59,48	4,93	60,63
59	925	32,10	2,88	9,32
60	1282	43,58	3,26	14,13
61	1045	8,52	0,91	2,49
62	1261	38,71	4,96	8,04
63	861	34,75	8,68	12,20
64	1271	64,70	6,01	31,20
65	1429	64,76	13,37	15,46
66	1054	0,00	0,00	0,00
67	1198	23,33	0,80	2,49
68	100	0,00	0,00	0,00
69	1293	39,40	14,99	30,59
70	1096	64,83	11,28	48,66
71	1028	71,17	7,32	57,67
72	1285	80,23	6,16	27,90
73	1399	58,24	9,20	74,06

Continua

Amostra	Família M ₃	DR cc (%)	DR cr (%)	DR cpa (%)
74	64	93,96	7,95	60,59
75	1056	100,48	12,13	33,64
76	1077	92,17	4,07	57,23
77	1407	62,48	4,01	29,70
78	952	80,84	27,16	58,16
79	868	61,32	8,75	34,71
80	1095	56,78	9,34	14,06
81	1082	93,63	14,82	39,38
82	1115	75,78	4,81	32,65
83	1075	94,64	6,43	31,90
84	1063	94,83	10,45	50,72
85	1395	95,00	4,99	50,86
86	1201	68,50	2,91	13,60
87	1376	65,48	2,63	10,67
88	1248	19,33	0,56	3,12
89	1089	82,00	7,61	27,27
90	1010	37,45	2,18	8,60
91	1144	46,73	3,27	15,91
92	1444	17,00	1,20	7,50
93	864	7,08	0,25	3,70
94	1382	50,91	2,89	27,86
95	1390	94,33	2,82	26,36
96	448	61,33	5,52	22,40
97	1093	14,29	0,67	2,16
98	1083	17,45	1,31	5,61
99	1078	28,00	0,61	3,90
100	1268	43,42	2,28	17,45
101	1185	26,67	1,83	6,95
102	1094	73,86	2,97	17,64
103	972	84,56	2,72	18,63
104	1171	66,24	4,76	44,97
105	915	67,56	7,52	57,81
106	1421	18,17	1,47	4,16
107	1321	46,33	1,91	10,52
108	415	67,47	4,19	9,46
109	1182	44,00	1,34	5,86
110	1292	108,95	6,69	62,05
111	165	64,92	6,82	55,42
112	1101	129,33	5,19	45,12
113	1206	116,98	4,64	34,45
114	1239	61,71	3,53	17,97
115	1232	95,00	3,50	15,11
116	1418	75,64	2,27	16,16
117	1118	63,47	2,51	20,66

Continua

Amostra	Família M ₃	DR cc (%)	DR cr (%)	DR cpa (%)
118	1052	76,00	23,24	57,77
119	319	74,11	12,53	55,70
120	1323	85,43	12,00	58,46
121	1401	91,21	5,56	65,40
122	871	116,58	2,74	28,99
123	1286	78,00	4,06	12,16
124	1324	105,33	2,67	18,91
125	408	58,54	9,38	61,35
126	1043	62,96	22,35	68,96
127	1402	63,24	8,82	27,68
128	1424	102,89	3,86	53,46
129	967	66,00	10,06	30,14
130	1262	61,03	2,84	21,89
131	54	77,77	2,12	14,05
132	412	97,33	3,65	35,15
133	977	103,17	2,32	20,83
134	1327	72,54	15,26	43,53
135	1039	52,51	21,41	31,55
136	1317	81,81	7,10	31,06
137	1191	103,47	2,49	23,93
138	960	76,11	5,98	45,53
139	1330	99,88	3,15	37,22
140	174	30,69	2,16	11,82
141	1091	32,48	2,15	9,16
142	1150	29,00	0,76	8,50
143	965	35,32	1,11	18,49
144	176	47,00	2,77	19,68
145	1406	42,82	2,07	11,90
146	949	24,00	0,46	3,43
147	1079	33,32	0,77	3,66
148	1098	109,00	3,13	37,94
149	1105	89,39	13,17	33,62
150	1432	142,38	14,39	22,75
151	150	86,78	22,86	60,69
152	1000	40,43	6,40	24,72
153	432	56,13	13,81	75,92
154	1396	67,19	20,40	52,89
155	1440	70,83	12,32	58,23
156	1072	53,85	20,60	53,35
157	79	86,71	3,96	19,22
158	1200	63,62	5,89	22,78
159	77	60,78	3,91	11,26
160	938	89,36	12,71	44,39
161	1412	76,71	23,74	78,93

Continua

Amostra	Família M ₃	DR cc (%)	DR cr (%)	DR cpa (%)
162	1460	76,83	12,18	66,41
163	990	86,71	16,75	54,03
164	1097	75,07	34,10	76,26
165	1439	81,00	4,64	13,30
166	1329	70,13	2,05	22,37
167	1113	76,42	5,02	26,82
168	986	79,38	3,08	25,67
169	1502	104,50	9,33	47,61
170	1065	62,24	11,90	63,70
171	1085	77,67	19,29	67,63
172	1071	99,48	13,32	58,86
173	1116	44,68	4,03	33,53
174	1410	60,61	17,66	48,11
175	1057	70,58	4,74	31,74
176	1498	77,80	2,57	18,33
177	1092	110,27	16,48	62,53
178	869	79,71	13,27	54,01
179	1112	60,60	12,31	54,85
180	863	112,92	8,37	36,25
181	1437	102,83	21,38	50,61
182	1061	95,71	18,15	48,06
183	1030	72,05	20,11	37,22
184	1202	57,28	3,65	31,01
185	1253	48,62	6,40	26,25
186	1059	62,73	12,54	14,17
187	1469	49,60	14,66	31,68
188	1415	40,66	2,42	10,93
189	1494	82,00	5,16	11,78
190	1308	74,50	13,12	15,76
191	993	89,17	13,74	8,62
192	1400	52,00	10,50	17,88
193	73	53,56	3,75	12,02
194	931	37,56	9,15	24,48
195	171	39,58	6,04	10,36
196	1342	22,43	2,43	3,00
197	1422	84,05	7,56	21,34
198	154	122,00	13,59	42,77
199	1152	76,67	7,05	11,96
200	1250	59,63	13,28	54,38
201	433	0,00	0,00	0,00
202	1369	0,00	0,00	0,00
203	956	0,00	0,00	0,00
204	1503	0,00	0,00	0,00
205	1178	130,14	6,56	32,50

Continua

Amostra	Família M ₃	DR cc (%)	DR cr (%)	DR cpa (%)
206	1433	58,19	3,84	13,01
207	1481	72,47	5,24	9,60
208	141	94,37	2,61	14,50
209	1225	0,00	0,00	0,00
210	1281	2,73	0,32	0,67
211	942	0,00	0,00	0,00
212	1058	0,00	0,00	0,00
213	939	92,95	3,89	41,82
214	1307	47,05	2,73	6,48
215	1230	56,96	14,98	50,59
216	450	102,74	4,76	12,81
217	946	0,00	0,00	0,00
218	185	0,00	0,00	0,00
219	397	0,00	0,00	0,00
220	440	0,00	0,00	0,00
221	1332	66,42	11,09	48,50
222	1337	49,39	13,05	45,73
223	1257	105,00	4,71	36,62
224	139	65,42	21,52	18,00
225	932	0,00	0,00	0,00
226	436	126,33	8,96	41,51
227	908	24,16	2,54	8,49
228	132	101,62	12,76	32,67
229	1145	66,95	32,19	55,86
230	1290	84,97	11,21	34,55
231	1190	67,85	5,35	42,96
232	1388	72,27	19,64	24,13
233	1221	170,50	9,41	29,87
234	1236	85,44	12,88	17,91
235	314	53,28	17,08	53,08
236	1367	69,03	17,38	38,41
237	449	72,29	25,31	48,50
238	1296	97,26	8,92	24,91
239	1114	82,42	16,31	33,05
240	1305	97,41	10,59	26,99
241	1356	124,40	7,69	50,37
242	1224	90,02	11,71	15,51
243	1300	106,81	5,45	27,66
244	933	71,60	12,07	48,44
245	373	93,71	7,24	22,12
246	1405	0,00	0,00	0,00
247	1473	0,00	0,00	0,00
248	1419	0,00	0,00	0,00
249	1428	63,10	16,63	32,39

Continua

Amostra	Família M ₃	DR cc (%)	DR cr (%)	DR cpa (%)
250	1237	61,28	13,65	18,25
251	1313	85,50	11,18	18,51
252	414	37,48	14,19	32,63
253	1316	0,00	0,00	0,00
254	1411	0,00	0,00	0,00
255	936	0,00	0,00	0,00
256	1408	0,00	0,00	0,00
257	1081	86,69	19,26	85,87
258	592	47,39	28,13	73,54
259	1328	116,90	12,66	77,99
260	859	52,38	27,60	78,93
261	137	160,83	10,15	34,67
262	1068	59,32	18,92	71,04
263	1001	78,79	10,27	42,55
264	1074	46,31	12,43	49,52
265	1431	98,55	17,12	63,94
266	1197	86,40	19,34	45,89
267	1189	70,00	21,66	60,47
268	1222	134,67	13,99	46,92
269	1309	100,62	17,06	27,50
270	1289	105,67	6,14	22,68
271	1496	84,54	16,48	39,75
272	892	84,03	18,45	35,63
273	380	73,35	15,38	55,00
274	1394	75,39	7,31	41,81
275	1205	46,79	14,71	71,86
276	1069	95,62	11,30	50,02
277	1203	76,26	12,85	40,96
278	1497	102,33	12,81	29,73
279	1291	94,29	5,33	19,36
280	1393	100,33	12,06	53,49
281	1392	86,00	9,54	37,49
282	1436	81,69	20,97	80,06
283	1111	56,20	16,49	71,64
284	401	63,22	9,16	61,46
285	1023	146,83	2,38	29,90
286	1172	127,56	7,76	40,92
287	1228	108,62	8,47	43,81
288	1273	149,17	7,64	36,03
289	1479	117,46	11,25	35,91
290	1315	77,26	6,36	35,11
291	1143	15,83	0,44	2,18
292	442	87,48	8,21	46,32
293	1345	55,30	10,00	40,10

Continua

Amostra	Família M ₃	DR cc (%)	DR cr (%)	DR cpa (%)
294	1140	99,79	7,58	56,73
295	1331	62,40	7,18	52,08
296	302	4,62	0,22	1,88
297	1423	23,33	0,54	1,28
298	151	36,00	0,40	4,25
299	930	95,12	7,45	47,46
300	1427	64,83	25,88	65,71
301	1272	69,61	22,89	63,85
302	12	53,73	18,40	53,53
303	1129	61,03	10,05	67,26
304	1366	83,17	5,13	25,42
305	935	64,45	15,30	53,54
306	1188	66,13	8,26	38,25
307	146	70,36	12,00	64,62
308	1180	59,98	11,25	53,80
309	1341	71,54	9,53	36,08
310	379	92,56	3,52	32,18
311	1336	76,69	6,39	17,48
312	233	83,83	1,50	14,04
313	398	50,97	3,33	27,17
314	322	43,24	7,00	33,36
315	1210	64,42	24,87	70,12
316	197	55,48	7,28	52,80
317	136	62,44	10,44	56,28
318	945	93,63	22,38	55,14
319	392	41,93	17,73	84,71
320	378	66,07	8,77	49,09
321	399	101,86	4,99	22,57
322	1155	62,57	2,86	8,05
323	1322	59,62	9,12	50,14
324	1373	89,81	2,71	30,87
325	1137	67,24	6,86	38,11
326	200	57,71	6,77	21,90
327	1446	51,56	8,67	38,86
328	1227	38,21	4,79	44,13
329	1121	50,88	3,73	38,24
330	940	74,92	4,98	28,80
331	1499	63,63	9,85	46,00
332	1132	95,64	5,05	22,01
333	1297	99,25	2,57	21,74
334	90	76,31	2,38	28,05
335	1500	50,33	5,74	40,52
336	1311	55,31	6,19	26,66
337	1241	35,43	4,97	58,02

Continua

Amostra	Família M ₃	DR cc (%)	DR cr (%)	DR cpa (%)
338	161	24,68	2,29	15,03
339	422	42,05	1,99	9,96
340	1318	28,89	6,92	10,40
341	1310	116,55	3,30	15,89
342	1434	26,00	3,33	11,62
343	175	38,08	6,26	12,46
344	1302	4,29	0,45	2,00
345	444	0,00	0,00	0,00
346	1125	20,83	0,47	2,91
347	1139	32,38	1,67	14,52
348	1304	0,00	0,00	0,00
349	1447	0,00	0,00	0,00
350	1242	0,00	0,00	0,00
351	1464	0,00	0,00	0,00
352	1451	59,36	11,25	37,81
353	1303	0,00	0,00	0,00
354	430	0,00	0,00	0,00
355	198	20,67	0,38	3,45
356	1387	70,14	6,61	54,29
357	1491	128,00	2,88	3,21
358	388	0,00	0,00	0,00
359	411	14,91	2,08	4,37
360	1220	50,27	3,78	16,03
361	1450	34,65	2,39	3,08
362	1454	190,33	3,50	31,99
363	158	43,97	5,48	17,82
364	441	0,00	0,00	0,00
365	416	0,00	0,00	0,00
366	1226	0,00	0,00	0,00
367	926	10,00	0,38	1,48
368	1218	64,51	3,33	18,98
369	195	50,88	2,09	13,84
370	1477	68,01	8,13	41,19
371	1417	51,11	42,42	62,03
372	1445	18,33	0,93	2,80
373	1174	54,05	2,07	21,34
374	162	18,46	3,47	5,06
375	303	15,24	1,11	3,25
376	300	67,70	23,97	61,40
377	1398	73,00	10,29	41,28
378	1036	81,06	14,43	41,63
379	1246	144,50	11,50	19,93
380	1138	0,00	0,00	0,00
381	376	0,00	0,00	0,00

Continua

Amostra	Família M ₃	DR cc (%)	DR cr (%)	DR cpa (%)
382	1124	12,62	1,10	3,58
383	1416	0,00	0,00	0,00
384	1426	62,51	11,26	31,09
385	1053	96,21	24,09	60,98
386	1363	127,21	14,38	55,78
387	1146	72,75	15,96	45,48
388	381	129,25	8,77	23,13
389	153	88,25	10,40	53,49
390	1208	64,69	23,89	79,15
391	145	62,30	14,42	34,66
392	1298	84,49	9,38	19,94
393	1122	59,92	8,31	49,03
394	1277	115,83	4,04	33,61
395	1090	76,42	8,18	24,54
396	966	76,48	11,76	59,70
397	920	50,76	4,62	28,61
398	1497	99,73	5,92	44,13
399	190	132,81	3,60	29,22
400	978	56,43	2,49	19,64
Nourim Mochi		116,17	52,22	60,70
BR IRGA 409		96,39	5,35	19,22
BRS Querência		101,85	13,43	26,55

Apêndice B - Capítulo II

Identificação de variabilidade para caracteres de importância agrônômica em famílias mutantes de arroz

Apêndice B1. Médias das variáveis: comprimento da panícula principal (CP), peso da panícula principal (PP), massa de grãos da panícula principal (MGP), comprimento da folha bandeira (CF), largura da folha bandeira (LF), estatura de planta (EP), e comprimento de colmo (CC), de 340 famílias mutantes M₃ e a testemunha BRS Querência. FAEM/UFPel-CGF, Pelotas-RS, 2011.

Amostra	Família M ₃	CP (cm)	PP (g)	MP (g)	CF (cm)	LF (cm)	E (cm)	CC (cm)
1	1	25,15	4,61	4,26	22,38	1,80	89,75	64,60
2	2	26,70	4,80	4,40	24,35	1,78	91,25	64,55
3	3	26,50	4,28	3,89	23,85	1,75	90,75	64,25
4	4	25,18	3,85	3,46	20,88	1,70	89,13	63,95
5	5	25,75	3,45	3,14	20,53	1,75	91,25	65,50
6	6	23,30	3,26	2,90	17,87	1,58	90,13	66,83
7	7	24,68	3,70	3,08	21,30	1,73	90,00	65,33
8	8	24,38	3,61	3,24	19,40	1,75	89,75	65,38
9	9	25,70	4,17	3,83	21,80	1,98	95,75	70,05
10	10	26,48	3,72	3,36	26,25	1,85	88,00	61,53
11	11	24,80	3,82	3,45	22,20	1,73	92,50	67,70
12	12	25,35	4,02	3,65	19,45	1,78	90,25	64,90
13	13	25,43	3,94	3,58	23,20	1,58	89,25	63,83
14	14	23,38	3,30	2,99	19,83	1,55	88,00	64,63
15	15	25,83	4,20	3,83	21,53	1,88	92,25	66,43
16	16	24,45	4,68	4,21	22,48	1,83	91,00	66,55
17	17	26,93	4,68	4,29	24,25	1,93	93,00	66,08
18	18	27,15	4,21	3,88	22,30	1,80	89,50	62,35
19	19	26,03	4,18	3,83	24,75	1,75	92,88	66,85
20	20	24,38	3,36	3,04	17,90	1,70	92,00	67,63
21	21	24,23	3,82	3,49	19,25	1,78	90,25	66,03
22	22	24,58	4,15	3,78	23,05	1,80	91,50	66,93
23	23	25,00	3,69	3,27	23,03	1,75	93,63	68,63
24	24	25,73	3,56	3,18	21,03	1,75	90,75	65,03
25	25	25,55	4,08	3,75	20,63	1,85	94,13	68,58
26	26	25,58	3,91	3,56	20,43	1,78	95,00	69,43
27	27	25,45	4,14	3,73	23,85	1,83	87,00	61,55
28	28	25,00	4,83	4,40	20,13	1,83	90,00	65,00

Continua

Amostra	Família M ₃	CP (cm)	PP (g)	MP (g)	CF (cm)	LF (cm)	E (cm)	CC (cm)
29	29	25,58	4,35	3,99	22,65	1,88	92,25	66,68
30	30	27,13	4,67	4,29	26,00	1,93	88,50	61,38
31	31	27,05	4,16	3,75	23,98	1,80	91,75	64,70
32	32	25,55	3,48	3,15	22,28	1,73	87,00	61,45
33	33	27,45	4,33	3,92	23,65	1,73	96,00	68,55
34	34	26,80	5,02	4,51	23,40	1,85	90,25	63,45
35	35	26,13	4,01	3,44	23,78	1,80	88,25	62,13
36	36	28,13	5,08	4,58	25,03	1,88	95,75	67,63
37	37	26,23	4,14	3,74	21,53	1,80	92,00	65,78
38	38	24,98	4,21	3,84	19,33	1,73	88,25	63,28
39	39	25,60	3,11	2,70	23,70	1,85	95,00	69,40
40	40	26,18	4,26	3,86	24,53	1,83	91,75	65,58
41	41	23,73	3,46	3,13	18,83	1,75	89,38	65,65
42	42	23,58	3,28	3,03	18,90	1,80	90,75	67,18
43	43	26,00	4,07	3,74	22,90	1,83	95,50	69,50
44	44	22,20	2,31	2,05	21,05	1,18	83,00	60,80
45	45	25,60	3,78	3,46	23,30	1,90	91,38	65,78
46	46	25,70	3,72	3,39	23,95	2,00	92,75	67,05
47	47	26,08	3,45	3,08	25,73	1,93	94,25	68,18
48	48	25,33	4,05	3,68	22,58	1,90	93,75	68,43
49	49	25,80	3,37	3,00	21,43	1,80	86,75	60,95
50	50	25,13	3,81	3,40	19,83	1,80	87,00	61,88
51	51	23,93	3,76	3,52	20,79	1,40	88,00	64,08
52	52	26,63	4,06	3,67	21,85	1,93	91,00	64,38
53	53	25,13	3,04	2,78	21,75	1,90	90,25	65,13
54	54	23,60	3,42	3,13	20,98	1,85	83,33	59,73
55	55	26,48	3,90	3,47	25,70	1,83	85,00	58,53
56	56	22,40	2,38	2,15	20,57	1,70	88,63	66,23
57	57	24,13	3,26	2,96	22,20	1,73	81,50	57,38
58	58	23,33	2,88	2,66	20,00	1,90	81,63	58,30
59	59	23,13	2,93	2,65	19,03	1,73	80,13	57,00
60	61	24,03	2,58	2,19	26,45	1,60	88,88	64,85
61	62	21,03	2,06	1,87	16,73	1,58	81,75	60,73
62	63	23,88	3,60	3,26	22,48	1,78	78,38	54,50
63	64	24,43	2,91	2,78	25,10	1,60	84,13	59,70
64	65	23,73	3,84	3,54	20,38	1,88	83,63	59,90
65	66	25,88	3,17	2,84	21,90	1,80	84,50	58,63
66	67	23,70	3,46	3,17	18,30	1,85	90,25	66,55
67	68	25,23	3,29	3,00	25,53	1,68	77,00	51,78
68	69	23,63	2,74	2,47	18,45	1,78	81,75	58,13
69	70	25,30	2,73	2,45	24,93	1,80	80,63	55,33
70	71	24,60	3,10	2,80	21,08	1,68	86,13	61,53
71	72	23,13	2,52	2,23	17,28	1,73	82,88	59,75
72	73	25,68	3,06	2,79	23,25	1,73	79,38	53,70

Continua

Amostra	Família M ₃	CP (cm)	PP (g)	MP (g)	CF (cm)	LF (cm)	E (cm)	CC (cm)
73	74	24,33	3,24	2,96	22,35	1,65	82,75	58,43
74	75	22,85	2,28	2,02	27,50	1,38	83,75	60,90
75	77	26,70	3,73	3,30	25,63	1,55	85,88	59,18
76	78	25,48	3,36	3,02	20,00	1,63	84,00	58,53
77	79	23,78	3,13	2,81	19,85	1,80	86,63	62,85
78	80	25,33	2,34	2,01	27,63	1,78	84,63	59,30
79	83	25,48	2,56	2,24	19,08	1,93	86,00	60,53
80	84	25,85	2,84	2,52	22,65	1,90	81,25	55,40
81	85	25,25	2,02	1,68	20,73	1,65	84,50	59,25
82	86	21,00	2,90	2,60	22,23	1,83	83,88	62,88
83	87	25,58	3,15	2,81	26,08	1,88	83,88	58,30
84	88	25,50	2,62	2,32	20,25	1,78	90,75	65,25
85	89	23,95	2,56	2,31	17,20	1,83	82,00	58,05
86	90	24,13	2,12	1,83	17,08	2,00	82,83	58,70
87	91	25,10	2,77	2,47	19,73	1,88	81,38	56,28
88	92	27,28	3,33	2,96	26,43	1,93	75,50	48,23
89	93	25,13	3,62	2,80	24,05	1,98	84,50	59,38
90	94	23,95	2,70	2,43	17,53	1,68	78,38	54,43
91	95	25,83	2,79	2,44	22,78	1,90	85,88	60,05
92	96	25,20	3,39	2,97	19,93	1,90	88,83	63,63
93	97	23,98	2,73	2,41	22,18	2,00	83,38	59,40
94	98	24,20	3,30	2,97	22,80	1,83	80,25	56,05
95	99	25,75	3,01	2,69	21,28	1,83	83,75	58,00
96	100	23,35	2,17	1,90	15,98	1,68	77,25	53,90
97	101	23,40	2,80	2,30	19,73	1,75	79,75	56,35
98	102	24,70	2,67	2,54	19,33	1,83	85,50	60,80
99	103	25,13	3,43	3,09	23,05	1,80	85,38	60,25
100	104	21,43	2,35	2,10	15,18	1,68	84,50	63,08
101	105	23,75	2,85	2,59	17,25	1,88	85,75	62,00
102	106	24,93	3,47	3,12	22,15	1,93	84,75	59,83
103	107	23,48	3,01	2,74	19,48	1,88	84,63	61,15
104	108	23,43	2,86	2,41	19,48	1,80	87,38	63,95
105	109	25,63	3,25	2,96	20,80	1,90	85,75	60,13
106	110	24,93	2,85	2,60	16,85	1,73	80,38	55,45
107	111	25,13	3,51	3,19	19,95	1,83	84,75	59,63
108	112	24,60	3,39	3,02	20,53	1,83	85,13	60,53
109	113	23,95	2,79	2,52	24,90	1,88	83,75	59,80
110	114	25,30	2,60	2,25	17,80	1,75	84,00	58,70
111	115	25,45	3,65	3,30	23,25	1,88	83,38	57,93
112	116	24,55	3,14	2,82	22,75	2,00	86,25	61,70
113	117	22,35	2,58	2,37	17,95	1,70	84,00	61,65
114	118	23,88	2,92	2,67	19,93	1,85	85,38	61,50
115	119	24,95	2,51	2,25	17,63	1,90	89,50	64,55
116	120	25,30	2,87	2,57	15,93	1,70	83,50	58,20

Continua

Amostra	Família M ₃	CP (cm)	PP (g)	MP (g)	CF (cm)	LF (cm)	E (cm)	CC (cm)
117	121	23,73	2,19	1,96	21,45	1,75	84,00	60,28
118	122	24,70	3,00	2,72	19,70	1,75	88,88	64,18
119	123	23,85	2,74	2,44	22,75	1,88	79,75	55,90
120	124	24,13	2,57	2,30	25,30	1,83	80,75	56,63
121	125	25,28	2,79	2,52	19,80	1,78	84,63	59,35
122	126	24,30	2,67	2,41	18,13	1,90	86,10	61,80
123	127	22,88	2,30	2,06	21,68	1,78	72,63	49,75
124	128	24,18	2,62	2,33	20,57	1,85	85,13	60,95
125	129	26,28	3,50	3,15	24,63	1,90	83,13	56,85
126	130	24,23	3,32	3,08	16,60	1,80	84,50	60,28
127	131	24,88	3,04	2,78	24,50	1,85	81,63	56,75
128	132	23,93	2,95	2,69	19,13	1,63	82,50	58,58
129	133	24,08	2,59	2,32	16,83	1,95	87,83	63,75
130	134	24,95	3,04	2,75	20,15	1,95	83,00	58,05
131	135	25,60	3,47	2,89	20,38	1,73	81,88	56,28
132	136	27,13	4,12	3,70	19,38	1,85	87,00	59,88
133	137	24,75	2,87	2,58	21,85	1,93	77,63	52,88
134	138	24,25	2,87	2,57	20,83	1,80	80,25	56,00
135	139	25,15	3,39	3,06	21,83	1,78	80,13	54,98
136	140	24,65	3,28	2,98	19,73	1,73	85,25	60,60
137	141	25,10	3,36	3,03	19,80	1,90	80,38	55,28
138	142	22,00	2,74	2,47	17,13	1,73	79,13	57,13
139	143	24,48	2,95	2,64	19,33	1,98	82,00	57,53
140	144	25,25	3,62	3,31	23,40	1,58	87,50	62,25
141	145	24,25	2,78	2,51	21,35	1,83	80,50	56,25
142	146	24,40	2,84	2,59	20,43	1,75	83,75	59,35
143	147	24,03	3,05	2,72	18,43	1,15	87,63	63,60
144	148	23,95	3,16	2,87	22,68	1,75	85,88	61,93
145	149	24,30	2,83	2,57	18,85	1,75	89,63	65,33
146	150	25,13	3,24	2,91	24,93	1,80	85,75	60,63
147	151	24,70	3,76	3,44	19,73	1,65	87,50	62,80
148	152	25,80	3,75	3,45	19,85	1,83	85,88	60,08
149	153	26,43	3,85	3,36	22,70	1,83	87,38	60,95
150	154	24,43	3,55	3,19	20,60	1,68	87,13	62,70
151	155	24,15	2,75	2,52	20,23	1,63	84,25	60,10
152	156	24,63	3,30	3,16	20,45	1,78	84,88	60,25
153	157	25,93	3,73	3,39	18,83	1,73	83,38	57,45
154	158	24,93	3,01	2,70	20,88	1,65	81,25	56,33
155	159	24,25	3,42	3,05	24,23	1,63	84,75	60,50
156	160	24,78	2,86	2,55	22,43	1,70	76,88	52,10
157	161	24,85	3,36	3,06	17,00	1,68	82,13	57,28
158	162	23,10	2,87	2,64	16,50	1,58	85,50	62,40
159	163	24,85	3,43	3,14	19,08	1,70	82,25	57,40
160	164	21,80	2,68	2,38	20,40	1,38	73,75	51,95

Continua

Amostra	Família M ₃	CP (cm)	PP (g)	MP (g)	CF (cm)	LF (cm)	E (cm)	CC (cm)
161	165	25,25	3,32	3,02	21,88	1,75	86,88	61,63
162	166	23,85	2,70	2,44	19,43	1,65	89,13	65,28
163	167	24,63	3,54	3,23	19,15	1,78	83,75	59,13
164	168	24,08	3,31	3,02	20,10	1,55	82,38	58,30
165	169	23,80	2,87	2,58	18,08	1,73	79,75	55,95
166	170	24,65	3,42	3,11	18,70	1,83	85,38	60,73
167	171	24,38	3,42	3,12	20,48	1,68	78,38	54,00
168	172	24,18	2,82	2,53	17,70	1,88	87,00	62,83
169	173	23,80	2,82	2,50	19,80	1,75	82,88	59,08
170	174	25,35	3,06	2,78	17,98	1,75	83,25	57,90
171	175	26,23	2,97	2,56	21,10	1,78	85,25	59,03
172	176	25,95	3,52	3,20	20,05	1,85	87,38	61,43
173	177	25,80	3,52	3,17	18,33	1,80	85,50	59,70
174	178	24,33	3,06	2,79	17,30	1,90	83,25	58,93
175	179	25,63	3,35	3,05	20,80	1,78	81,88	56,25
176	180	26,83	4,15	3,76	16,13	1,75	85,38	58,55
177	181	26,35	3,87	3,51	22,78	1,90	88,13	61,78
178	182	26,55	3,22	2,87	20,70	1,93	89,25	62,70
179	183	26,10	3,80	3,45	20,43	1,80	89,25	63,15
180	184	25,68	3,00	2,67	20,15	1,85	84,13	58,45
181	185	23,40	3,08	2,87	20,98	1,40	75,25	51,85
182	186	24,25	2,69	2,42	16,50	1,80	87,63	63,38
183	187	25,00	2,98	2,69	17,20	1,98	86,00	61,00
184	188	26,45	3,26	2,98	19,98	1,90	84,25	57,80
185	189	26,58	3,53	3,23	18,45	1,90	86,75	60,18
186	190	25,58	3,01	2,69	17,55	1,85	86,00	60,43
187	191	25,25	3,84	3,44	18,40	1,90	86,50	61,25
188	192	25,93	3,49	3,19	18,30	1,73	87,83	61,90
189	193	26,55	3,86	3,49	21,68	1,88	85,13	58,58
190	194	26,10	2,74	2,38	24,58	1,93	83,13	57,03
191	195	23,50	2,31	2,04	21,13	1,63	85,00	61,50
192	196	23,23	2,78	2,52	15,80	1,55	86,88	63,65
193	197	25,03	3,29	2,91	20,50	1,55	84,38	59,35
194	198	25,25	3,53	3,20	22,38	1,75	85,45	60,20
195	199	25,73	3,42	3,02	16,33	1,85	79,63	53,90
196	200	28,78	3,94	3,55	24,38	1,95	90,38	61,60
197	299	26,00	4,04	3,78	24,63	1,63	86,13	60,13
198	301	24,88	3,24	2,95	16,68	1,63	85,38	60,50
199	302	24,00	3,33	3,08	22,50	1,63	82,13	58,13
200	303	24,93	2,89	2,61	20,55	1,70	85,00	60,08
201	304	22,40	2,48	2,28	18,08	1,63	81,00	58,60
202	305	25,23	2,93	2,66	18,45	1,80	88,75	63,53
203	306	25,33	4,01	3,67	24,23	1,83	83,50	58,18
204	307	26,88	3,83	3,42	19,80	1,70	89,13	62,25

Continua

Amostra	Família M ₃	CP (cm)	PP (g)	MP (g)	CF (cm)	LF (cm)	E (cm)	CC (cm)
205	309	25,60	3,95	3,75	25,35	1,70	88,88	63,28
206	310	26,20	4,25	3,97	22,38	1,88	86,65	60,45
207	311	25,13	3,50	3,23	22,85	1,60	89,00	63,88
208	312	24,80	3,11	2,84	20,85	1,75	83,00	58,20
209	313	26,00	3,74	3,40	23,13	1,75	82,00	56,00
210	314	25,25	3,49	3,25	23,28	1,50	78,65	53,40
211	315	24,45	2,99	2,85	20,00	1,65	79,00	54,55
212	316	24,50	3,56	3,27	20,95	1,55	91,00	66,50
213	317	18,63	1,86	1,74	17,90	1,30	66,38	47,75
214	318	24,63	3,99	3,74	21,23	1,73	86,00	61,38
215	319	24,55	3,67	3,38	19,23	1,73	88,63	64,08
216	320	22,50	2,43	2,15	19,23	1,53	79,13	56,63
217	321	32,30	2,55	2,33	17,48	1,53	81,50	49,20
218	322	30,00	2,42	2,23	18,30	1,63	87,00	57,00
219	323	23,95	4,27	3,00	20,65	1,70	82,25	58,30
220	324	23,73	3,33	3,06	19,33	1,60	82,13	58,40
221	325	24,18	3,01	2,73	18,80	1,88	87,38	63,20
222	326	22,88	2,59	2,34	20,00	1,60	89,00	66,13
223	327	24,83	3,92	3,68	16,73	1,75	91,00	66,18
224	328	24,43	3,22	2,90	21,65	1,85	84,75	60,33
225	329	24,73	2,60	2,38	18,78	1,35	82,50	57,78
226	330	24,05	3,30	3,07	17,98	1,75	85,00	60,95
227	331	26,83	4,15	3,70	25,33	1,88	87,75	60,93
228	333	23,93	3,32	3,05	21,18	1,78	84,63	60,70
229	334	23,25	2,60	2,36	20,08	1,60	82,63	59,38
230	335	25,50	3,84	3,50	22,75	1,83	92,75	67,25
231	338	24,50	2,46	2,16	20,43	1,60	76,25	51,75
232	339	25,08	3,72	3,70	21,23	1,68	81,00	55,93
233	340	23,95	2,85	2,60	18,45	1,75	86,50	62,55
234	341	25,43	3,48	3,19	22,35	1,53	88,00	62,58
235	342	23,70	3,09	2,86	21,95	1,70	85,13	61,43
236	343	27,38	4,45	4,09	26,48	1,93	89,00	61,63
237	344	25,45	3,82	3,57	20,10	1,73	85,00	59,55
238	345	25,80	3,50	3,12	21,05	1,88	85,50	59,70
239	346	24,35	3,88	3,51	26,03	1,63	83,13	58,78
240	347	25,05	3,53	3,25	23,80	1,63	83,50	58,45
241	348	24,68	3,19	2,90	20,95	1,65	86,25	61,58
242	349	27,58	3,25	3,16	22,13	1,53	81,25	53,68
243	350	26,30	3,33	3,13	20,85	1,83	88,25	61,95
244	351	24,48	2,68	2,43	22,43	1,68	84,00	59,53
245	353	25,68	3,32	3,16	22,98	1,88	87,25	61,58
246	354	25,28	2,98	2,73	21,90	1,75	87,25	61,98
247	355	23,95	3,23	2,96	22,75	1,63	82,00	58,05
248	356	24,33	2,59	2,38	20,40	1,60	84,50	60,18

Continua

Amostra	Família M ₃	CP (cm)	PP (g)	MP (g)	CF (cm)	LF (cm)	E (cm)	CC (cm)
249	357	24,50	2,71	2,48	21,43	1,73	82,00	57,50
250	358	22,00	2,37	2,15	14,70	1,65	76,75	54,75
251	359	24,23	3,34	3,11	17,20	1,75	86,00	61,78
252	360	23,13	2,65	2,51	19,25	1,68	79,00	55,88
253	361	25,73	3,58	3,32	24,20	1,48	85,65	59,93
254	362	24,98	3,20	2,60	21,25	1,88	85,65	60,68
255	363	25,20	3,54	3,20	22,30	1,80	88,00	62,80
256	364	24,43	2,98	2,67	18,40	1,75	88,00	63,58
257	365	25,65	3,26	2,91	23,30	1,60	84,00	58,35
258	366	25,90	2,73	2,40	21,40	1,73	84,00	58,10
259	367	25,13	1,92	1,74	22,43	1,65	88,65	63,53
260	368	22,83	1,89	1,72	19,83	1,85	83,50	60,68
261	369	24,83	3,03	2,70	19,15	1,73	86,65	61,83
262	370	25,70	3,80	3,38	21,70	1,80	90,00	64,30
263	371	23,75	2,87	2,57	20,35	1,80	87,25	63,50
264	372	23,85	3,12	2,81	20,85	1,50	85,00	61,15
265	373	26,55	3,64	3,37	26,63	1,78	85,50	58,95
266	374	23,95	2,46	2,55	15,65	1,63	86,00	62,05
267	375	24,50	2,89	2,60	20,80	1,75	87,25	62,75
268	376	25,65	3,50	3,15	20,93	1,77	87,00	61,35
269	377	24,20	2,82	2,52	22,78	1,63	83,00	58,80
270	378	25,65	3,17	2,81	21,18	1,78	84,38	58,73
271	379	26,15	3,06	2,79	23,40	1,83	87,50	61,35
272	380	24,55	2,46	2,21	20,95	1,48	87,25	62,70
273	381	25,45	3,26	2,94	20,50	1,73	83,50	58,05
274	382	24,08	2,21	1,89	21,73	1,75	76,50	52,43
275	383	24,70	2,68	2,40	16,20	1,70	84,25	59,55
276	384	25,70	2,77	2,46	18,53	1,73	86,75	61,05
277	386	33,18	1,42	1,68	17,23	1,70	81,25	48,08
278	387	24,35	2,23	1,92	22,40	1,48	80,75	56,40
279	388	23,90	2,62	2,30	23,43	1,63	80,63	56,73
280	389	25,15	3,69	3,35	21,98	1,95	85,65	60,50
281	390	24,18	2,31	2,07	20,15	1,75	86,33	62,15
282	391	23,35	2,84	2,57	16,20	1,55	81,75	58,40
283	392	25,20	3,34	3,01	18,78	1,68	88,38	63,18
284	393	26,80	3,10	2,76	21,13	1,68	82,00	55,20
285	394	23,38	2,38	2,12	17,68	1,68	83,25	59,88
286	395	25,23	3,78	3,44	22,68	1,78	83,65	58,43
287	396	24,65	3,08	2,79	20,68	1,78	88,50	63,85
288	397	25,50	3,08	2,80	21,18	1,73	81,50	56,00
289	398	25,98	3,23	3,63	22,23	1,58	86,00	60,03
290	399	25,05	3,35	3,08	21,55	1,78	81,25	56,20
291	400	24,93	3,42	3,14	19,75	1,70	88,75	63,83
292	401	24,38	3,20	2,92	20,85	1,63	84,00	59,63

Continua

Amostra	Família M ₃	CP (cm)	PP (g)	MP (g)	CF (cm)	LF (cm)	E (cm)	CC (cm)
293	402	23,30	2,62	2,37	20,35	1,63	79,50	56,20
294	403	23,15	2,60	2,31	17,08	1,58	84,00	60,85
295	404	24,50	3,05	2,72	20,90	1,78	87,50	63,00
296	405	23,00	2,70	2,44	16,48	1,68	78,75	55,75
297	406	27,55	2,76	2,37	19,05	1,83	87,75	60,20
298	407	25,80	3,55	3,24	17,88	1,80	88,50	62,70
299	408	24,13	2,77	2,46	17,78	1,58	86,75	62,63
300	409	25,58	3,56	3,26	23,00	1,73	86,00	60,43
301	410	23,65	2,81	2,56	21,95	1,65	87,00	63,35
302	411	25,70	2,97	2,54	20,25	1,68	82,75	57,05
303	412	25,23	2,78	2,58	16,07	1,60	84,25	59,03
304	413	23,10	3,20	2,92	17,58	1,68	87,00	63,90
305	414	24,45	2,37	2,08	18,93	1,73	84,38	59,93
306	415	24,05	2,68	2,42	20,88	1,70	81,25	57,20
307	416	24,25	2,89	2,61	18,70	1,65	88,00	63,75
308	417	25,25	2,61	2,35	22,33	1,73	86,00	60,75
309	418	23,90	2,72	2,53	21,73	1,43	83,25	59,35
310	419	24,05	3,05	2,74	19,53	1,68	84,25	60,20
311	420	22,15	2,04	1,75	20,63	1,60	86,00	63,85
312	421	23,28	3,12	2,82	21,10	1,65	80,50	57,23
313	422	24,98	3,51	3,20	19,90	1,88	88,13	63,15
314	423	25,00	3,13	2,76	19,83	1,73	87,00	62,00
315	424	25,08	3,01	2,68	22,18	1,75	87,13	62,05
316	425	24,10	2,47	2,19	18,90	1,53	86,50	62,40
317	426	26,80	2,75	2,36	20,60	1,75	84,25	57,45
318	427	24,85	2,75	2,46	17,88	1,68	80,00	55,15
319	429	23,33	2,73	2,47	17,93	1,60	82,50	59,18
320	430	26,00	3,27	2,90	18,70	1,63	87,75	61,75
321	431	22,53	2,38	2,18	21,48	1,45	82,00	59,48
322	432	24,38	2,48	2,18	19,65	1,63	81,00	56,63
323	433	24,95	3,29	2,98	21,88	1,58	81,75	56,80
324	434	25,20	2,85	2,61	21,43	1,68	84,50	59,30
325	436	23,63	2,79	2,51	21,73	1,63	82,50	58,88
326	437	22,63	2,46	2,12	18,58	1,68	82,75	60,13
327	438	24,48	2,60	2,31	19,00	1,45	81,75	57,28
328	439	24,38	2,55	2,30	18,35	1,53	85,00	60,63
329	440	22,90	2,67	2,40	18,48	1,40	81,25	58,35
330	441	23,88	3,24	2,91	20,48	1,60	85,25	61,38
331	442	36,08	2,81	2,58	21,35	1,50	82,75	46,68
332	443	35,45	2,46	2,27	17,73	1,53	86,25	50,80
333	444	24,40	3,05	2,79	20,00	1,48	80,00	55,60
334	445	24,23	3,00	2,75	22,28	1,48	79,75	55,53
335	446	35,55	2,54	2,30	17,83	1,55	76,25	40,70
336	447	31,75	3,07	2,83	21,30	1,90	86,50	54,75

Continua

Amostra	Família M ₃	CP (cm)	PP (g)	MP (g)	CF (cm)	LF (cm)	E (cm)	CC (cm)
337	448	25,90	3,22	2,95	24,73	1,60	78,75	52,85
338	449	24,75	3,34	3,10	20,60	1,65	84,38	59,63
339	450	27,13	4,25	3,92	24,15	1,53	83,25	56,13
340	451	25,53	3,75	3,47	21,40	1,58	80,50	54,98
BRS Querência		24,72	3,19	2,89	19,92	1,67	76,25	51,53