

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal



Dissertação

**RADIAÇÃO GAMA NA INDUÇÃO DE VARIABILIDADE EM
CULTIVARES DE ARROZ IRRIGADO**

ALINE SCHEER DA SILVA

Pelotas, 2010.

ALINE SCHEER DA SILVA

**RADIAÇÃO GAMA NA INDUÇÃO DE VARIABILIDADE EM CULTIVARES DE
ARROZ IRRIGADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pelotas, sob a orientação do Prof. Dr. José Antonio Peters, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Peters

Co-Orientadores: Dr. Ariano Martins de Magalhães Jr.

Profa. Dra. Eugênia Jacira Bolacel Braga

Profa. Dra. Vera Lucia Bobrowski

Banca examinadora:

Dr. Paulo Ricardo Reis Fagundes
(Embrapa Clima Temperado)

Dr. Sidnei Deuner
(Universidade Federal de Pelotas)

Prof. Dr. José Antonio Peters
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A Deus, agradeço pela vida, por me dar força e coragem para enfrentar todas as dificuldades encontradas ao longo da jornada.

Aos meus amados pais Germano e Eline, pelos exemplos de vida e dedicação, pelo amor e carinho, pela confiança e pelo total incentivo neste e em todos momentos da minha vida.

Ao meu querido Vinicius, pelo amor, carinho e entusiasmo, pelas palavras de apoio, pela cumplicidade e paciência.

Aos meus familiares pelo carinho e apoio.

À Universidade Federal de Pelotas, em particular, ao Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, pela oportunidade de realizar o curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA – Clima Temperado), pela disponibilização do material vegetal e do local para realização dos experimentos.

Aos funcionários da Embrapa Clima Temperado que colaboraram com a realização deste trabalho.

Ao centro de Oncologia do Departamento de Radiologia da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Pelotas.

Ao professor José Antonio Peters pela orientação e valiosos ensinamentos, pela confiança, amizade e carinho.

Ao pesquisador Ariano Martins de Magalhães Jr. e a professora Eugenia Jacira Bolacel Braga pela co-orientação, auxílio e pelas sugestões que, certamente, contribuíram para realização deste trabalho.

Ao professor Willian Barros pelo apoio estatístico.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, pelos ensinamentos transmitidos ao longo do curso.

Aos funcionários do Departamento de Botânica, em especial a Suzi Braga, pela amizade e colaboração.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação, pela alegre convivência.

A minhas queridas colegas Ilda M. de Castro da Silva e Janiele Perotti pela fiel amizade, pelo carinho e disponibilidade.

Aos colegas do laboratório de Cultura de Tecidos de Plantas pela tranqüila convivência, colaboração e pelo companheirismo.

Aos estagiários do laboratório de Cultura de Tecidos de Plantas, em especial, ao Rodrigo Danielowski pela preciosa e incansável ajuda na execução e avaliação dos experimentos.

Aos demais amigos, que de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

RESUMO

SILVA, Aline Scheer da. **Radiação gama na indução de variabilidade em cultivares de arroz irrigado**. 2010. 75f. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

O arroz irrigado (*Oryza sativa* L.) apresenta grande importância econômica e social, principalmente na região sul do Brasil, fato que estimula a busca por cultivares mais produtivas e com características agronômicas que atendam as exigências de mercado. Técnicas de apoio aos programas de melhoramento, como a cultura de tecidos, transformação genética, uso de marcadores moleculares ou de mutações induzidas, estão sendo cada vez mais utilizadas. A indução de mutações é considerada um método alternativo para criar variabilidade genética, sendo o uso de radiações ionizantes um método eficaz, com o qual foram obtidos mutantes com características de maior produtividade, precocidade, menor porte, maior resistência às doenças e pragas em diferentes espécies, os quais são utilizados nos programas de melhoramento na obtenção de novas cultivares. O presente trabalho teve como objetivo obter mutantes com características agronômicas superiores, os quais poderão se transformar em novas cultivares ou servirem para retrocruzamentos nos programas de melhoramento de arroz. Sementes das cultivares BRS Querência e BRS Fronteira foram irradiadas com doses de 0 (controle), 200, 250, 300 e 350 (sementes com 13% de umidade) e 0 (controle), 50, 100, 150 e 200 Gy (sementes com 25% de umidade) e posteriormente semeadas, na casa de vegetação, em bandejas plásticas contendo solo típico da cultura de arroz, cuja umidade foi mantida através de irrigação manual. As plântulas foram avaliadas quanto à emergência e índice de velocidade de emergência e aos 14 e 28 dias após a semeadura quanto a altura, comprimento de raízes, número de folhas e massa seca da parte aérea e das raízes. Após os 28 DAS as plântulas foram transplantadas para o campo onde completaram seu ciclo de vida. No campo foram avaliados 36 descritores morfofisiológicos utilizados em arroz irrigado. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey e regressão polinomial. Nas avaliações realizadas na casa de vegetação, as doses de 300 e 350 Gy afetaram negativamente a germinação e o IVE em sementes irradiadas com 13% de umidade. Nas sementes com 25% estas variáveis foram reduzidas com 200 Gy. No campo, o aumento das doses de radiação provocou redução no tamanho das plantas. Ocorreram também reduções de outros descritores, dependendo da cultivar, como largura e espessura dos grãos (BRS Querência) e número de grãos/panícula (BRS Fronteira). Os resultados mostraram que a irradiação afeta vários parâmetros morfofisiológicos das plantas. Para determinar se estas alterações são positivas ou

negativas e se transmitem pela progênie, será necessária a continuidade do trabalho com as sementes obtidas de cada planta M_1 .

Palavras-chave: *Oryza sativa* L. Mutação. Atributos agronômicos.

ABSTRACT

SILVA, Aline Scheer da. **Gamma radiation in the induction of variability in rice cultivars**. 2010.75f. Paper (Master of Science) Post Graduation Program in Plant Physiology of Federal University of Pelotas, Pelotas.

Rice (*Oryza sativa* L.) has great economic and social importance, especially in southern Brasil, a fact that encourages the search for best cultivars and agronomic characteristics that meet market requirements. Technical support to breeding programs, such as tissue culture, genetic transformation, use of molecular markers or induced mutations, are being increasingly used. The induction of mutations is considered an alternative method to create genetic variability, and the use of ionizing radiation an effective method with which mutants were obtained with characteristics of higher productivity, early maturity, smaller, more resistance to diseases and pests in different species, which are used in breeding programs to develop new cultivars. This study aimed to select mutants with superior agronomic characteristics, which could become new cultivars or serve to backcross in breeding programs for rice. Seeds of BRS Querência and BRS Fronteira were irradiated with 0 (control), 200, 250, 300 and 350 (seed with 13% humidity) and 0 (control), 50, 100, 150 and 200 Gy (seeds with 25% humidity) and then sown in a greenhouse in plastic trays containing soil typical of the rice crop, the moisture was maintained by irrigation manual. Seedlings were evaluated for emergence index and emergence rate and at 14 and 28 days after sowing in height, root length, leaf number and dry weight of shoots and roots. After 28 DAS seedlings were transplanted to the field where complete their life cycle. In the field, were evaluated 36 descriptors morphophysiological used in rice. The results were submitted to analysis of variance and means compared by Tukey's test and regression. Assessments performed in the greenhouse, doses of 300 and 350Gy negatively affected germination and IVE in seeds irradiated with 13% humidity. In seeds with 25% of these variables were reduced to 200 Gy. In the field, in both cultivars, increasing doses of radiation caused reduction in plant size. There were reductions of other descriptors, depending on the cultivar as width and thickness of the grains (BRS Querência) and grains per panicle (BRS Fronteira). The results showed that irradiation affects various parameters on physiology of plants. To determine whether these changes are positive or negative and transmitted by the progeny, need to continue working with the seeds from each M1 plant.

Key-words: *Oryza sativa* L. Mutation. Agronomics characters.

SUMÁRIO

Resumo	5
Abstract	7
Introdução geral	10
Artigo 1 - Desenvolvimento de plântulas de arroz irrigado oriundas de sementes irradiadas com 13% de umidade	14
Resumo	15
Abstract	16
Introdução	16
Material e Métodos	18
Resultados e Discussão	19
Conclusão	26
Referências	27
Artigo 2 - Desenvolvimento de plântulas de arroz irrigado oriundas de sementes irrigadas com 25% de umidade	29
Resumo	30
Abstract	31
Introdução	31
Material e Métodos	33
Resultados e Discussão	35
Conclusão	40
Referências	40

Artigo 3 - Avaliação de atributos morfofisiológicos em arroz irrigado, cultivar BRS	
Querência, submetidas à radiação gama	43
Resumo	44
Abstract	45
Introdução	45
Material e Métodos	47
Resultados e Discussão	48
Conclusão	55
Referências	55
Artigo 4 - Avaliação de atributos morfofisiológicos em arroz irrigado, cultivar BRS	
Fronteira, submetidas à radiação gama	57
Resumo	58
Abstract	59
Introdução	59
Material e Métodos	61
Resultados e Discussão	62
Conclusão	70
Referências	70
Considerações finais	72
Referências	73

INTRODUÇÃO GERAL

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais produzidos e consumidos em todo o mundo, com 150 milhões de hectares cultivados e produção de 600 milhões de toneladas base casca. Presente principalmente em países em desenvolvimento, a cultura do arroz desempenha papel estratégico em níveis econômicos e sociais (GOMES; MAGALHÃES Jr., 2004). Este cereal é considerado um dos alimentos com melhor balanço nutricional, contribuindo com cerca de 20% da energia e 15% da proteína per capita necessárias para o consumo humano (KENNED; BURLINGAME, 2003). O Brasil é o nono produtor mundial, sendo sua produção oriunda de dois sistemas de cultivo: de várzea (irrigado) e de terras altas (sequeiro). Maior produtor nacional, o Rio Grande do Sul, com uma produção na safra de 2008/2009 de 8,047 milhões de toneladas, contribui com mais de 60% do total de arroz produzido no Brasil (IRGA 2009). Estima-se que haverá uma demanda de consumo deste cereal para o ano 2020 de cerca de 900 milhões de toneladas, sendo pouco provável que ocorra aumento significativo na área plantada, dada a estabilidade observada em nível mundial, desde 1980 (MAGALHÃES Jr. et al., 2003).

Um dos principais objetivos em programas de melhoramento genético é desenvolver genótipos mais produtivos, com resistência a fatores bióticos e abióticos e, desta forma, incrementar a produção. Para isto, a rotina dos melhoristas consiste em criar e ampliar variabilidade, selecionar genótipos desejáveis e testá-los em diferentes ambientes, para um ajuste que permita a expressão máxima do seu potencial. Assim, o melhoramento genético tem desempenhado um importante papel no progresso da agricultura, pois possibilita aos agricultores o cultivo de constituições genéticas de alto potencial produtivo e com caracteres agrônômicos de interesse na cadeia produtiva (BERTAN, 2005).

A pesquisa com arroz irrigado no Rio Grande do Sul tem efetiva participação da Embrapa Clima Temperado (CPACT), sendo a mesma responsável pelo lançamento de várias cultivares nas últimas décadas. A substituição das cultivares tradicionais, de porte alto, pelas modernas de porte baixo, duplicou a produtividade do arroz irrigado nos Estados da região Sul do Brasil. Com o advento destas cultivares houve uma mudança positiva não só na filosofia do melhoramento genético, como também em nível de agricultores, que passaram a utilizar tecnologia avançada no cultivo deste cereal. Além de ser uma tecnologia de fácil adoção e de baixo custo, a utilização de cultivares melhoradas proporciona ao produtor retorno econômico em curto espaço de tempo. Dentro deste enfoque, o desenvolvimento de novas cultivares que proporcionem maior produtividade, com resistência genética aos principais estresses ambientais de ordem bióticos e abióticos, e menor uso de insumos agrícolas, aliada à alta qualidade do produto, é uma faceta cada vez mais importante na prática da agricultura moderna (FAGUNDES et al., 2005).

Dentre as cultivares recentemente lançadas tem-se a BRS Querência e a BRS Fronteira. A cultivar BRS Querência originou-se de um cruzamento controlado entre a linhagem CL 246 e a cultivar Zho Fee NO 10, realizado em casa de vegetação, em 1989/90, na Embrapa Clima Temperado, em Pelotas, RS. A linhagem CL 246 é fonte de qualidade de grão, produtividade, resistência à brusone e apresenta boa adaptação às condições edafoclimáticas predominantes no sul do Brasil, aliada à características de grãos com excelente qualidade industrial e culinária. Já o genitor Zho Fee é uma ótima fonte de tolerância ao frio. Para condução das gerações segregantes foi utilizado o método genealógico modificado. Em 2000, a linhagem passou a integrar a rede de Ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) do Rio Grande do Sul, apresentando ótimo desempenho nas diversas regiões orizícolas onde foi avaliada. Esta cultivar foi lançada em 2004, tem ciclo precoce, ao redor de 110 dias, da emergência das plântulas à maturação completa dos grãos, é constituída por plantas do tipo "moderno-americano", de folhas e grãos lisos com boa tolerância a doenças. Apresenta alta capacidade de perfilhamento, colmos fortes e destaca-se pela panícula longa, com grande número de espiguetas férteis. Seus grãos são longo-finos ("agulhinha"), com elevado rendimento industrial, altamente translúcidos ("vítreos") e de ótima qualidade culinária (FAGUNDES et al., 2005).

A cultivar BRS Fronteira originou-se do cruzamento triplo entre os genitores CNA 6183, BR IRGA 409 e IRI 344, realizado pela Embrapa Arroz e Feijão em 1990. Os dois primeiros apresentam boas características agronômicas e grãos com excelentes qualidades industriais e culinárias, e o IRI 344 é fonte de resistência a brusone e mancha de grãos. No desenvolvimento da cultivar, foi utilizado o método de melhoramento genealógico. Como resultado da parceria estabelecida entre a Embrapa através de seus centros, Embrapa Arroz e Feijão e Embrapa Clima Temperado, Fundação Marona e a Coordenadoria de Assistência Técnica Integrada (CATI), através do Núcleo de Produção de Sementes, Mudas e Matrizes de Taubaté, a cultivar BRS Fronteira foi avaliada nos Estados do Rio Grande do Sul e São Paulo, em Ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) no período agrícola de 2001/02 a 2003/04, tendo como testemunha a cultivar BR-IRGA 409. É uma cultivar de ciclo médio (em torno de 135 dias) que combina características de arquitetura moderna de planta, resistência ao acamamento, panículas longas e alta capacidade produtiva com grãos de classe longo-fino, casca lisa e de qualidade industrial e culinária similares aos da BR-IRGA 409, de ampla aceitação pela indústria arroseira. Sendo assim, o lançamento desta cultivar teve como objetivo aumentar a diversidade genética e dar maior opção aos produtores gaúchos e paulistas (CUTRIM et al., 2006). No entanto, para que as cultivares BRS Querência e BRS Fronteira apresentem maiores produtividades existem algumas características a serem melhoradas. Para BRS Querência é interessante aumentar o perfilhamento das plantas, a resistência ao frio e a brusone; já para a cultivar BRS Fronteira a redução do ciclo é a principal característica a ser alterada.

A variabilidade genética constitui-se na essência dos processos evolutivos e do melhoramento de plantas, uma vez que é imprescindível a presença desta para que seja efetiva a seleção natural e/ou artificial (MARTINS et al., 2005). Dessa forma, qualquer método que amplie o reservatório genético da espécie é fundamentalmente importante para o melhoramento da mesma (VIEIRA et al., 1995). Na natureza, a variabilidade genética nas plantas é induzida por mutação espontânea e pelo cruzamento dentro da mesma espécie ou entre espécies diferentes. No entanto, a ocorrência de mutações espontâneas na natureza é de frequência relativamente baixa e de difícil identificação (BROCK, 1971), por serem na sua maioria deletérias (AHLOOWALIA; MULUSZYNSKI, 2001). Essas mutações

são definidas como mudanças hereditárias na sequência de DNA que são derivadas a partir da segregação genética ou recombinação (VAN HARTEN, 1998).

Além da variabilidade genética existente no germoplasma, é possível aumentá-la por meio de mutações artificiais, recombinações gênicas, transformação genética e mutações somaclonais (MATSUDA et al., 2005; PALOMBI et al., 2007; QUECINI et al., 2009). Em muitos casos, uma mutação pontual pode corrigir ou melhorar alguns caracteres, permitindo a seleção de constituições genéticas superiores ainda nas primeiras gerações (MARTINS et al., 2005). Os agentes mutagênicos mais utilizados para aumentar a variabilidade genética em vegetais são os produtos químicos e os raios ionizantes (raios X e raios gama), por serem estes últimos menos agressivos ao ambiente e mais precisos, são eles os mais empregados. A radiação gama é considerada um dos principais indutores de mutação e de aberrações cromossômicas estruturais (PIMENTEL, 1990), sendo seus efeitos influenciados por diversos fatores. Dentre esses fatores, podem-se citar as condições de armazenamento após a irradiação (CONGER & CARABIA, 1972), o genótipo dos indivíduos (BAHL; GUPTA, 1982), o modo de exposição do material (IQBAL; ZAHUR, 1975), a presença de algumas substâncias químicas (KUMAR, 1991), a fase do ciclo celular (GUDKOV; GRODZINSKY, 1982), a dosagem de radiação (SANTOS, 1993), o grau de ploidia dos cromossomos (BROCK, 1980), o conteúdo de DNA por genoma haplóide (PLEWA et al., 1993) e o nível de oxigênio (BUMP et al., 1982).

A dose ideal para promover mutações sem a ocorrência de perdas no rendimento do organismo irradiado é tecido-específica, variando a radiosensibilidade com a espécie, com a cultivar, com as condições fisiológicas da planta e com a manipulação do material irradiado antes e depois do tratamento (PATADE; SUPRASANNA, 2008). Portanto, diferentes tecidos respondem de forma própria, sendo necessária a realização de testes de radiosensibilidade para determinar a dose ideal (GAZZANEO et al., 2007).

O objetivo geral deste trabalho foi obter mutantes com características agrônomicas superiores, os quais poderão se transformar em novas cultivares ou servirem para retrocruzamentos em programas de melhoramento.

Artigo 1

**DESENVOLVIMENTO DE PLÂNTULAS DE ARROZ IRRIGADO ORIUNDAS DE
SEMENTES COM 13% DE UMIDADE IRRADIADAS COM RAIOS GAMA**

De acordo com ras normas da Revista Ciência Rural, a qual será submetido

Desenvolvimento de plântulas de arroz irrigado oriundas de sementes irradiadas com 13% de umidade

Development of rice seedlings grown from seeds irradiated with 13% humidity

Aline Scheer da Silva^I Rodrigo Danielowski^I Eugenia Jacira Bolacel Braga^I Ariano Martins de Magalhães Jr^{II} Jose Antonio Peters^I

RESUMO

A variabilidade disponível dentro da espécie é fundamental para obtenção de cultivares superiores, sendo a radiação gama uma ferramenta adicional na busca deste propósito. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi verificar o efeito de diferentes doses de radiação gama Co^{60} na emergência e no crescimento inicial de plântulas de duas cultivares de arroz. Para tanto, sementes (13% de umidade) das cultivares BRS Querência e BRS Fronteira foram irradiadas com doses de 0 (controle), 200, 250, 300 e 350 Gy, sendo, em seguida, semeadas em bandejas contendo solo e mantidas em casa de vegetação. As plântulas foram avaliadas quanto à percentagem de emergência aos 5 e 14 dias após a semeadura (DAS), índice de velocidade de emergência e quanto à média da altura da plântula, do número de folhas por plântula, do comprimento de raízes e da massa seca da parte aérea e das raízes, aos 14 e 28 (DAS). Os resultados obtidos revelam que doses superiores a 250 Gy afetam negativamente a emergência das plântulas, sendo que entre as variáveis estudadas, o número de folhas por plântula é a menos afetada pela radiação.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., raios gama, variabilidade.

^I Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas, RS, Brasil.

^{II} Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, Brasil.

ABSTRACT

The variability within the species available is critical to obtaining superior genotypes, and the gamma radiation with an additional tool in pursuing this purpose. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of different doses of Co60 gamma radiation on emergence and early growth of seedlings of two rice cultivars. To this end, seeds (13% moisture) of BRS Querência and BRS Fronteira were irradiated with 0 (control), 200, 250, 300 and 350 Gy, and then sown in trays containing soil and kept at home vegetation. Seedlings were evaluated for percentage of emergence at 5 and 14 days after sowing (DAS), rate of emergence and on the average shoot height, number of leaves per seedling, the root length and mass dry shoot and root at 14 and 28 (DAS). The results showed that doses above 250 Gy negatively affect seedling emergence, being that among the variables studied, the number of leaves per plant is less affected by radiation.

Key-words: *Oryza sativa* L., gamma rays, variability.

INTRODUÇÃO

O arroz está entre os mais importantes cereais cultivados e apresenta grande importância no consumo da população mundial, pois mais de um terço desta depende dele na sua alimentação básica. Estima-se que haverá uma demanda de consumo de arroz para o ano 2020 de cerca de 900 milhões de toneladas, sendo pouco provável que ocorra aumento significativo na área plantada, dada a estabilidade observada em nível mundial desde 1980 (MAGALHÃES Jr. et al., 2003). Dentre as cultivares lançadas nos últimos anos pelas instituições de pesquisa da região sul do Brasil tem-se a BRS Querência e a BRS Fronteira, no entanto, para se obter incremento no potencial produtivo de ambas cultivares existem algumas variáveis a serem melhoradas. Em virtude de esta espécie possuir uma estreita base genética para variáveis de interesse, a busca por cultivares com características agrônomicas superiores

é uma constante preocupação entre os melhoristas do arroz. Em 1928, STADLER demonstrou que mutações induzidas através de irradiação eram fontes de variabilidade genética em gramíneas, constituindo assim uma ferramenta de sucesso no melhoramento genético de milhares de novas cultivares. A radiação gama é considerada um dos principais indutores de mutações e de aberrações cromossômicas estruturais (PIMENTEL, 1990), e as mudanças morfofisiológicas que beneficiam a espécie em questão é uma das principais utilidades desta técnica no melhoramento genético (HUNG & JOHNSON, 2008). A utilização de raios gama em diferentes tecidos vegetais tem como alvo principal as modificações das moléculas de DNA, sendo que a energia transferida pelas irradiações resulta em ionização no interior da célula, acentuando as chances de obtenção de mutações de interesse (GUIMARÃES & ANDO, 1980; RODRIGUES & ANDO, 2003; FU et al., 2008). Estudos sobre os efeitos das radiações ionizantes em plantas cultivadas são conduzidos mediante a irradiação de sementes, plântulas e plantas em diversos estádios de desenvolvimento e, percentagem de germinação, emergência, sobrevivência das plântulas, desenvolvimento e produção final das plantas são critérios comumente utilizados na avaliação da radiosensibilidade (RODRIGUES & ANDO, 2003; FU et al., 2008; HUNG & JOHNSON, 2008). Por meio de radiação gama foram obtidos mutantes com características de maior produtividade, precocidade, menor porte, maior resistência a doenças, pragas e acamamento, que foram utilizados na obtenção de novas cultivares de diversas espécies (MIKAELSEN, 1971).

Em arroz, mais de 400 cultivares mutantes foram relatadas pela FAO/IAEA (<http://www.mvd-iaea.org>, 27-12-2007). No mercado brasileiro, a chegada de cultivares ClearField (CL) de arroz irrigado, oriundas de uma mutação induzida, facilitou o controle químico de arroz-vermelho, apresentando excelentes resultados no controle das principais plantas daninhas nas lavouras orizícolas do Rio Grande do Sul (RS), onde estima-se que a área semeada com a cultivar registrada para o estado, IRGA 422 CL, supere 30% do total. No

entanto, o emprego de uma única cultivar promove certa vulnerabilidade genética para o arroz irrigado do RS e pode expor a lavoura a riscos de ordem ambientais, tanto bióticos como abióticos (FAGUNDES & ANDRES, 2008).

Embora as pesquisas com irradiação visem principalmente à obtenção de mutantes, que poderão se transformar em novas cultivares ou servirem para retrocruzamentos em programas de melhoramento é importante determinar qual o efeito destas irradiações nos estádios iniciais do desenvolvimento das plantas. Assim, o presente trabalho teve por objetivo verificar o efeito de diferentes doses de radiação gama Co^{60} na emergência e no crescimento inicial de plântulas de duas cultivares de arroz.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas sementes de arroz das cultivares BRS Querência e BRS Fronteira, cedidas pelo Centro de Pesquisa da Embrapa Clima Temperado, as quais foram irradiadas com raios gama provenientes de uma fonte de Co^{60} “Eldorado 78” (Atomic Energy of Canadá Ltda.). As diferentes dosagens 0, 200, 250, 300, 350 Gy foram obtidas através da variação do tempo de exposição das sementes a radiação, com taxa de 15,24 Gy por minuto. Foram irradiados, para cada cultivar e dose, lotes de 500 sementes com 13% de umidade. Depois de irradiadas as sementes foram imediatamente semeadas em bandejas plásticas contendo solo tipo Planossolo Háplico, típico da cultura de arroz, cuja umidade foi mantida através de irrigação manual.

Inicialmente foi analisada a percentagem de emergência aos cinco e aos 14 dias após semeadura (DAS), conforme BRASIL (1992), e o índice de velocidade de emergência (IVE). Para a determinação do IVE, foi contado diariamente o número de plântulas emergidas até a estabilização do estande. O IVE foi determinado pela fórmula descrita por POPINIGIS (1977):

$$IVE = E1/N1 + E2/N2 + \dots + En/Nn$$

Sendo: IVE = índice de velocidade de emergência; E1, E2, En = número de plântulas emergidas na primeira, segunda e última contagem e N1, N2, Nn = número de dias após a semeadura.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x5 (duas cultivares e cinco doses de radiação) com seis repetições e unidade experimental composta por 80 sementes para as variáveis, percentagem de emergência e índice de velocidade de emergência. As demais avaliações foram realizadas nas plântulas, aos 14 e 28 DAS separadamente, sendo a unidade experimental composta por 10 plântulas e seis repetições. As plântulas foram colhidas ao acaso e avaliadas quanto à média da altura da plântula (cm), número de folhas, comprimento de raízes (cm) e massa seca da parte aérea e do sistema radicular (g) após secagem em estufa a 72°C durante 72 horas.

Os dados experimentais foram submetidas à análise de variância, comparados pelo teste de médias (Tukey) a 1% de probabilidade e regressão polinomial, através do Sistema de Análise Estatística - SANEST (ZONTA & MACHADO, 1984).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cultivar BRS Querência apresentou, aos cinco DAS, maior percentagem de emergência nos tratamentos controle (17,6%) e 250 Gy (25,7%), os quais diferiram significativamente das demais doses (Tabela 1). Nesta primeira avaliação, não foram observadas plântulas emergentes nas doses de 300 e 350 Gy. MELO (2005) encontrou para algumas variedades de arroz irrigado, menor número de plantas emergidas em tratamentos com doses de 300 e 360 Gy. Para a cv. BRS Fronteira a melhor resposta foi obtida no tratamento controle (22,0%), sendo este resultado significativamente superior aos tratamentos

com radiação (Tabela 1). Já, aos 14 DAS (Tabela 2), a maior porcentagem de emergência na cv. BRS Querência foi com 200 Gy (90,8%), sendo que o tratamento controle diferiu apenas das maiores doses (300 e 350 Gy), as quais apresentaram redução neste caráter de 12,3 e 15,7%. Para a cv. BRS Fronteira, a melhor resposta aos 14 DAS foi com a dose de 250 Gy (84,7%), mostrando ser diferente dos demais tratamentos. O estudo do efeito de doses de radiação gama sobre a germinação é importante para determinar qual é o limite máximo que o material vegetal em estudo suporta, bem como avaliar aquelas doses que não induzem perdas do poder germinativo (HUSSIM et al., 2001).

Quanto ao IVE foi observado efeito negativo em todas doses de radiação na cv. BRS Fronteira e nas doses de 200, 300 e 350 Gy para a cv. BRS Querência (Tabela 2).

Tabela 1- Porcentagem de emergência aos cinco dias após semeadura (DAS) em plântulas de duas cultivares de arroz, submetidas a diferentes doses de radiação gama Co^{60} .

Doses (Gy)	% de Emergencia	
	Cultivares	
	BRS Querência	BRS Fronteira
Controle	17,6 b	22,0 a
200	2,4 c	3,0 b
250	25,7 a	5,9 b
300	0,0 c	1,9 b
350	0,0 c	4,3 b

*Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 1% de probabilidade de erro.

Tabela 2 - Porcentagem de emergência aos 14 dias após semeadura (DAS) e índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas de duas cultivares de arroz, submetidas a diferentes doses de radiação gama Co^{60} .

DOSE (Gy)	% Emergência		IVE	
	Cultivares		Cultivares	
	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Querência	BRS Fronteira
Controle	87,8 ab	78,0 b	16,2 a	16,7 a
200	90,9 a	79,0 b	12,8 b	13,5 b
250	84,7 b	84,7 a	18,3 a	14,0 b
300	74,0 c	73,0 c	9,2 c	10,5 bc
350	77,0 c	74,2 c	9,6c	12,4 c

*Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 1% de probabilidade de erro.

Para a variável altura de plântula, não foi observada diferença significativa entre as cultivares em estudo na primeira avaliação (14 DAS), pois ambas apresentaram a mesma tendência de queda a partir da dose de 200 Gy, com maior redução (23,2%) na dose de 350 Gy (Figura 1A). Estes resultados confirmam estudos realizados por FU et al. (2008), que verificaram redução na altura de plantas de arroz a partir de doses superiores a 200 Gy. Aos 28 DAS (Figura 1B), as cultivares responderam diferentemente em relação à radiação. Na cultivar BRS Querência observou-se uma diminuição linear com o aumento da dose de radiação, ocorrendo uma redução de 29,6% na altura das plântulas na dose de 350 Gy. Por outro lado, para a BRS Fronteira observou-se, para a mesma variável, uma resposta crescente até a dose de 300 Gy (35,4cm) quando comparada ao tratamento controle (32,2cm). Redução na altura de plântulas de arroz irrigado também foi observado por MELO (2005), quando sementes das variedades São Francisco, Metica, Diamante, Rio Formoso e Jequitibá foram irradiadas com dose de 360 Gy.

Resultados semelhantes aos observados aos 14 DAS em ambas as cultivares e aos 28 DAS para a cultivar BRS Querência foram encontrados por RODRIGUES & ANDO (2002) ao avaliarem grupos de arroz de sequeiro. BARROS & ARTHUR (2005) ao tentarem identificar as doses letais e de redução do crescimento em plantas irradiadas com radiação gama, concluíram que o grau de radiosensibilidade varia com a espécie, o teor de umidade, o estágio de desenvolvimento, a dose de radiação empregada e, principalmente, o critério usado para medir o efeito fisiológico.

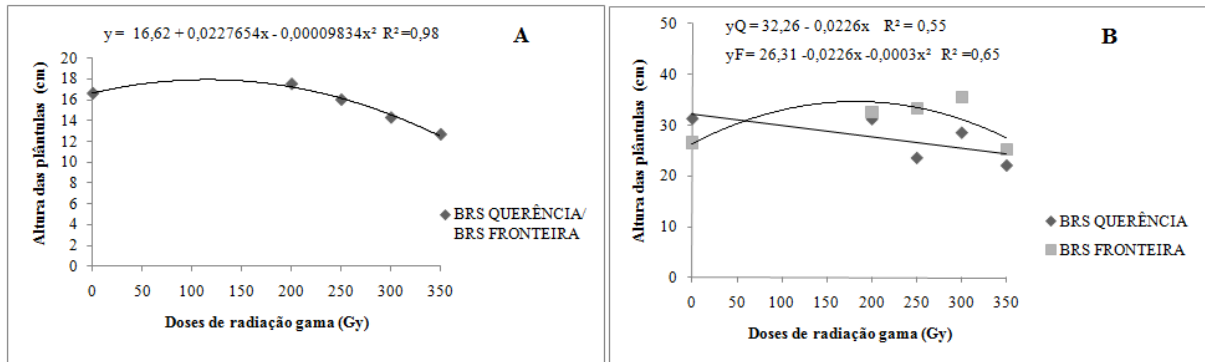


Figura 1 - Altura de plântulas de duas cultivares de arroz, BRS Querência e BRS Fronteira, submetidas a diferentes doses de radiação gama, avaliada aos 14 DAS (A) e aos 28 DAS (B).

O número médio de folhas por plântula aos 14 DAS, aumentou linearmente na cv. BRS Fronteira com o incremento da radiação, atingindo 2,9 folhas/plântula na dose de 350 Gy (Figura 2A). Já a cv. BRS Querência respondeu de forma diferente, com maior número médio de folhas no tratamento controle (2,37). Aos 28 DAS, esta cultivar manteve a mesma tendência, ou seja, maior número de folhas por plântula no tratamento controle (5,4) e redução em todas as doses de radiação aplicadas. Em contrapartida, para a cv. BRS Fronteira não foram observadas diferenças neste parâmetro em todos os tratamentos estudados (Figura 2B).

Estudos realizados tem demonstrado que o efeito da radiação depende do estágio de desenvolvimento das plantas e das variáveis analisadas, ocorrendo inclusive recuperação de alguns parâmetros que inicialmente apresentavam redução. Isto pode ser visualizados no trabalho realizado por HUNG & JOHNSON (2008) sobre o efeito da radiação ionizante no crescimento *in vitro* e *ex vitro* de *Wasabia japonica* onde constataram que aos 3 meses em meio de cultura, brotos irradiados com dose de 40 Gy apresentaram redução de 52,9 % no peso fresco de brotos, 60 % no número médio de brotos e de 61% na altura das brotações, ao serem comparados com o tratamento controle (0 Gy). Porém aos 18 meses após o transplante

para casa de vegetação, as plantas apresentaram com o mesmo tratamento de 40 Gy, incremento de 20% na sobrevivência e 32% no peso fresco dos rizomas.

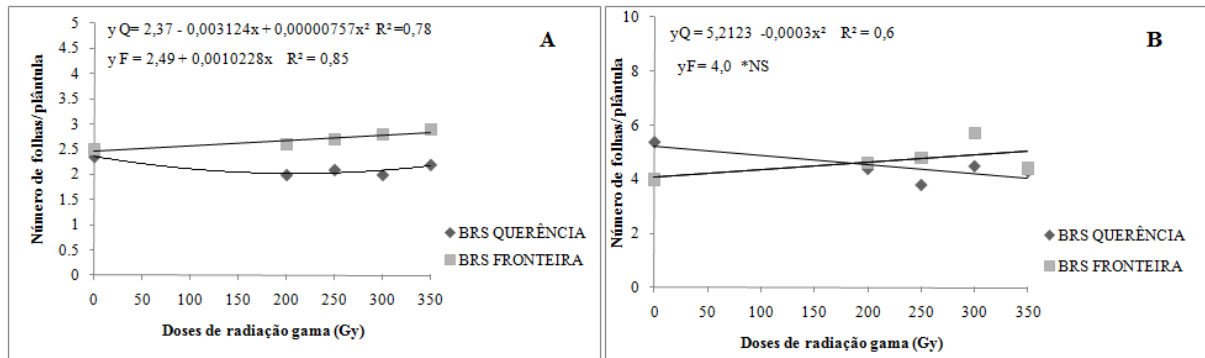


Figura 2 - Número de folhas por plântula de duas cultivares de arroz, BRS Querência e BRS Fronteira, submetidas a diferentes doses de radiação gama, avaliada aos 14 DAS (A) e aos 28 DAS (B).

O comprimento médio das raízes da BRS Querência, aos 14 DAS, foi maior na dose de 250 Gy, com incremento de 26,6 % em relação ao tratamento controle, reforçando o estímulo positivo deste tratamento, que também foi observado na emergência de plântulas aos 5 DAS. Nos tratamentos com 300 e 350 Gy observou-se uma redução neste caráter de 20,8% e 22,4%, respectivamente. Já aos 28 DAS, esta cultivar apresentou redução no comprimento médio das raízes em todas as doses de radiação, atingindo o máximo de redução no tratamento com 350 Gy (17,5% em relação ao controle). Para a cultivar BRS Fronteira, nas duas datas avaliadas, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 3).

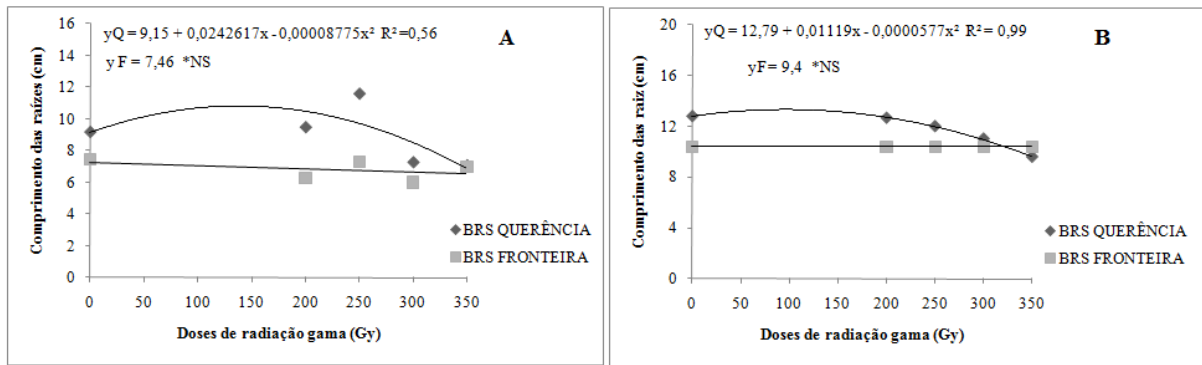


Figura 3 - Comprimento das raízes de duas cultivares de arroz, BRS Querência e BRS Fronteira, submetidas a diferentes doses de radiação gama, avaliada aos 14 DAS (A) e aos 28 DAS (B).

Para massa seca da parte aérea as cultivares responderam de forma distinta (Figura 4). Na cv. BRS Querência, aos 14 DAS, ocorreu um decréscimo nesta variável quando as sementes foram irradiadas com doses superiores a 200 Gy, com uma redução de 33,3% na dose de 350 Gy. As maiores médias foram observadas nos tratamentos controle e 200 Gy, com 0,0155 e 0,0157g por planta, respectivamente. Esses resultados refletem o ocorrido na variável altura, onde também ocorreram reduções a partir da dose de 250 Gy. Já, a cv BRS Fronteira apresentou uma resposta crescente até a dose de 300 Gy (0,057g), reduzindo a massa na dose mais elevada (0,037g) (Figura 4A). Segundo RODRIGUES et al. (2002) a diferença de sensibilidade à radiação gama encontrada entre as cultivares pode ser explicada pela função protetora que a casca da semente exerce sobre o embrião.

Na segunda avaliação, ou seja, aos 28 DAS ocorreu um decréscimo na massa seca da parte aérea das plantas da cv. BRS Querência com o aumento da radiação, com uma redução de 53,6% na maior dose utilizada em relação ao tratamento controle. Na cv. BRS Fronteira observou-se um aumento neste caráter com a elevação da dose de radiação, tendo as plantas um acréscimo de 129% na massa seca no tratamento com 350 Gy, quando comparado ao controle (Figura 4B).

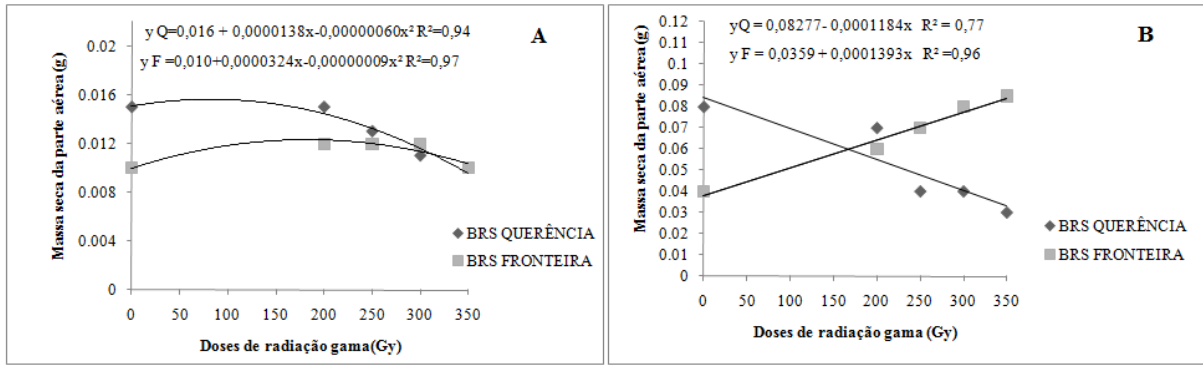


Figura 4 - Massa seca da parte aérea (g) de duas cultivares de arroz, BRS Querência e BRS Fronteira, submetidas a diferentes doses de radiação gama, avaliada aos 14 DAS (A) e aos 28 DAS (B).

Em relação a massa seca das raízes, aos 14 DAS, não foram observadas diferenças estatísticas na cultivar BRS Querência, enquanto a cv. BRS Fronteira apresentou incremento médio de 77% nas doses superiores a 200 Gy. Já aos 28 DAS, a cv. BRS Querência apresentou diminuição de massa seca com o uso da radiação e a BRS Fronteira apresentou um comportamento inverso, ou seja, o incremento de massa seca das raízes foi proporcional com o aumento das doses (Figura 5). O fato de que o comportamento das plantas a diferentes doses de radiação gama não obedecerem a um padrão definido, como foi visto neste trabalho, também foi observado por MARCOS FILHO & GODOY (1974) ao estudarem os efeitos da irradiação em feijoeiro.

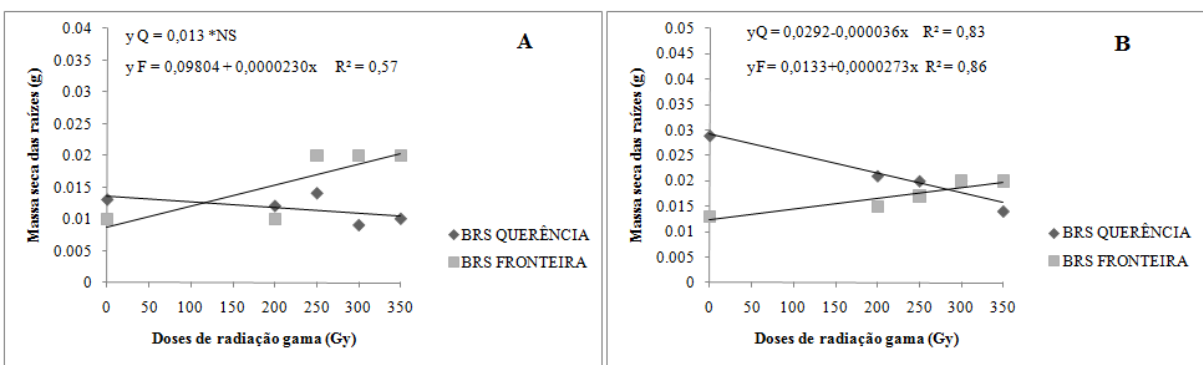


Figura 5 - Massa seca das raízes (g) de duas cultivares de arroz, BRS Querência e BRS Fronteira, submetidas a diferentes doses de radiação gama, avaliada aos 14 DAS (A) e aos 28 DAS (B).

Em consequência dos dados expostos anteriormente, a relação parte aérea/sistema radicular, aos 14 DAS, diminuiu em ambas as cultivares com o aumento da dose de radiação, sendo esta redução a partir da dose de 250 Gy para cv. BRS Querência e de 200 Gy para a cv. BRS Fronteira (Tabela 2). Com o desenvolvimento das plântulas, ou seja, aos 28 DAS observou-se um aumento nesta relação para a cv. BRS Fronteira, em todas as doses utilizadas, devido principalmente, ao aumento mais pronunciado da parte aérea das plântulas. Em contrapartida, a cv. BRS Querência, no mesmo período, apresentou decréscimo na relação parte aérea/sistema radicular a partir do tratamento controle, ou seja, em todas as doses de radiação utilizadas (Tabela 3).

Tabela 3 - Relação parte aérea/ sistema radicular em duas datas de avaliação, 14 e 28 dias após semeadura (DAS) em plântulas de duas cultivares de arroz, submetidas a diferentes doses de radiação gama ^{60}Co .

Dose (Gy)	Parte aérea/ sistema radicular			
	14 DAS		28 DAS	
	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Querência	BRS Fronteira
0	1,2	1,0	2,8	3,1
200	1,2	0,5	2,7	4,0
250	1,1	0,6	2,0	4,1
300	0,9	0,6	2,0	4,0
350	0,9	0,6	2,1	4,2

CONCLUSÕES

Nas condições em que foi desenvolvido o trabalho pode-se concluir que as doses de 300 e 350 Gy prejudicam a emergência das plântulas e doses superiores a 200 Gy afetam negativamente a altura e massa seca da parte aérea das plântulas na cv. BRS Querência, sendo que o número de folhas o caráter menos influenciado pelas doses de radiação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, A. C.; ARTUR, V. Determinação experimental da dose de redução do crescimento (GR50) e da dose letal (LD50) de soja irradiada por raios gama. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v.72, n.2, p.249-253, 2005.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília,1992. 365 p.
- FAGUNDES, P. R. R.; ANDRES, A. **Comportamento de Linhagens Clearfield da Embrapa na Região Litoral Sul do Rio Grande do Sul – Safra 2006/07**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 4p. (Embrapa Clima Temperado: Comunicado Técnico, 201).
- FU, H. W.; LI, Y. F; SHU, Q. Y. A revisit of mutation induction by gamma rays in rice (*Oryza sativa* L.): implications of microsatellite markers for quality control. **Molecular Breeding**. v. 22, p.281-288, 2008.
- GUIMARÃES, E. D.; ANDO, A. Efeitos da aplicação dos mutagênicos azida sódica e radiações gama em sementes de arroz. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.5, p.619-622, 1980.
- HUNG, D. C.; JOHNSON, K. Effects of ionizing radiation on the growth and allyl isothiocyanate accumulation of *Wasabia japonica* in vitro and ex vitro. **In Vitro Cellular Developmental Biology**.-Plant v. 44, p.51–58, 2008.
- HUSSIN, G.; HARUN, A. R.; SHAMSUDIN, S. Study on mutagenises of signal grass (*Brachiaria decumbens*) by gamma irradiation. Institut Haiwan Kluang; Malaysian Institut for Nuclear Technology Research (MINT). Disponível em: http://agrolink.moa.my/jph/ihk/report1999_2000/penyelidikan/research/ghazali1.htm.
- 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).

MARCOS FILHO, J.; GODOY, O. P. Efeitos de irradiação de sementes sobre a produtividade do feijoeiro. **O Solo**, Piracicaba, v.1, p.18-22, 1974.

MELO, P. C. S. de. Desenvolvimento de matérias de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado, tolerantes à salinidade dos solos por inundação com raios gama. Recife, 2005. 87p. Tese (Doutorado Tecnologias Energéticas e Nucleares)- Universidade Federal de Pernambuco.

MIKAELSEN, K. Mutagenic effectiveness and efficiency of gamma rays, fast neutrons and ethyl methane sulphonate in rice. In: RICE BREEDING WITH INDUCED MUTATIONS III, IAEA, 1969, New Delhi **Proceedings...** Vienna: FAO/IAEA Division 1970, p. 91-96.

PIMENTEL, M. C. G. **Indução de aberrações cromossômicas estruturais em milho (*Zea mays* L.) por radiação gama.** Viçosa, 1990. 86p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente.** Brasília : AGIPLAN, 1977. 289p.

RODRIGUES, L. R. F.; ANDO, A. Caracterização e avaliação de três grupos de arroz-de-sequeiro de diferentes procedências por meio da sensibilidade à radiação gama. **Bragantia**, Campinas, v.61, n.1, p.17-23, 2002.

RODRIGUES, L. R. F.; ANDO, A. Melhoramento genético vegetal uso da sensibilidade à radiação gama na discriminação de variedades de arroz-de-sequeiro dos grupos índica e japônica. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.2, p.179-188, 2003.

STADLER, L. J. Mutations in barley induced by X-rays and radium. **Science**, v. 68, p.186–187, 1928.

ZONTA, E. P.; MACHADO, A. A. **SANEST – Sistema de análise estatística para microcomputadores.** Pelotas, 1984.

Artigo 2

**DESENVOLVIMENTO DE PLÂNTULAS DE ARROZ ORIUNDAS DE SEMENTES
COM 25% DE UMIDADE IRRADIADAS COM RAIOS GAMA**

De acordo com as normas da revista Ciência e Agrotecnologia, a qual será
submetido

Desenvolvimento de plântulas de arroz oriundas de sementes irradiadas com 25% de umidade

Development of rice seedlings grown from seeds irradiated with 25% humidity

Aline Scheer da Silva^I, Rodrigo Danielowski^I, Eugenia Jacira Bolacel Braga^I, Ariano Martins de Magalhães Jr.^{II} e Jose Antonio Peters^I

RESUMO

Técnicas como radiações ionizantes, utilizadas para induzir mutações constituem ferramenta eficaz no aumento de variabilidade genética em programas de melhoramento de espécies de interesse econômico. Este trabalho teve por objetivo verificar o efeito de diferentes doses de radiação gama Co^{60} em sementes previamente embebidas sobre a emergência e o crescimento inicial de plântulas de duas cultivares de arroz. Para isso, lotes de sementes (25% de umidade) das cultivares BRS Querência e BRS Fronteira foram irradiados com doses de 0 (controle), 50, 100, 150 e 200 Gy, sendo, em seguida, semeadas em bandejas contendo solo e mantidas em casa de vegetação. As plântulas foram avaliadas quanto à percentagem de emergência, índice de velocidade de emergência (IVE) e quanto à média da altura das plântulas, do número de folhas por plântula, do comprimento das raízes e da massa seca da parte aérea e da raiz, aos 14 e 28 dias após a semeadura. Os resultados mostraram que a radiação gama afeta o desenvolvimento das plântulas. A maior doses testada (200 Gy) reduz significativamente a emergência e o IVE, sendo a massa seca da parte aérea o caráter mais afetado pela radiação.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., raios gama, umidade, variabilidade genética.

^I Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas, RS, Brasil.

^{II} Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, Brasil.

ABSTRACT

Techniques such as ionizing radiation, used to induce mutations are an effective tool in increasing genetic variability in breeding programs of species of economic interest. This study aimed to evaluate the effect of different doses of Co60 gamma radiation on seeds previously soaked on the emergence and early growth of seedlings of two rice cultivars. To do this, lots of seeds (25% moisture) of BRS Querência and BRS Fronteira were irradiated with 0 (control), 50, 100, 150 and 200 Gy, and then sown in trays containing soil and kept in a greenhouse. Seedlings were evaluated for percentage of emergence, rate of emergence (IVE) and on the average length of shoot and root, of the number of leaves per seedling and dry weight of shoot and root at 14 and 28 days after sowing. The results showed that gamma radiation affects the development of seedlings. The highest dose tested (200 Gy) significantly reduces the emergence and EVI, and the dry mass of shoot the character most affected by radiation.

Key-words: *Oryza sativa* L., gamma rays, humidity, genetic variability.

INTRODUÇÃO

O arroz irrigado apresenta grande importância econômica e social, principalmente na região sul do Brasil, fato que estimula a busca por cultivares mais produtivas e com características agronômicas que atendam as exigências de mercado. Dentre as cultivares recentemente lançadas na região sul do país tem-se a BRS Querência e a BRS Fronteira, no entanto, para se obter incremento no potencial produtivo de ambas cultivares existem algumas variáveis a serem melhoradas. Técnicas de apoio aos programas de melhoramento, como a cultura de tecidos, transformação genética, uso de marcadores moleculares ou de mutações induzidas, estão sendo cada vez mais utilizadas nas diversas instituições de pesquisas

(MAGALHÃES et al, 1999; FU et al., 2008), visando reduzir o tempo para a obtenção de novas cultivares e assim aumentar a competitividade e a qualidade dos produtos no mercado mundial. Neste sentido, a indução de mutações tornou-se uma ferramenta muito utilizada visando o aumento de variabilidade genética (GAUL, 1970; FU et al., 2008), principalmente se a base genética da cultura for estreita (KUMAR, 1991). Existem diversas fontes de indução de mutação, porém a radiação gama é considerada como uma das principais (PIMENTEL, 1990). Por meio do uso de radiações ionizantes foram obtidos mutantes com características de maior produtividade, precocidade, menor porte, maior resistência às doenças e pragas em diferentes espécies, os quais são utilizados nos programas de melhoramento na obtenção de novas cultivares (KLEINHANS, 2009). Estudos mostram que mais de 2.200 variedades de plantas cultivadas foram obtidas utilizando radiação, sendo que 64% destas foram induzidas por radiação gama (AHLOOWALIA et al., 2004; WU et al., 2005). Em relação ao arroz irrigado, a introdução das cultivares ClearField (CL) obtidas através de mutação induzida, tem possibilitado maiores produtividades aliadas ao melhor controle de arroz-vermelho (FAGUNDES & ANDRES, 2008).

Existem evidências de que o teor de água das sementes as tornam mais sensíveis à ação dos mutagênicos, sendo que sementes embebidas antes da irradiação são muito mais radiosensíveis que sementes secas (CRUZ, 2004; MIRANDA, 2009). Dados da literatura demonstram que radicais hidroxilas (OH^\cdot) podem ser separados das moléculas de água pela radiação ionizante, incluindo radiação X e gama e reagir com átomos de H^+ derivados das estruturas do DNA, induzindo mudanças nestas moléculas, estimulando assim aumento da taxa de mutação (HUNG & JOHNSON, 2008). No entanto, existem controvérsias, como a inconsistência dos relatos sobre os impactos do real efeito da água nas mutações por irradiação, as quais apontam para a necessidade de novas investigações.

Embora as pesquisas com irradiação visem principalmente a obtenção de mutantes, os quais poderão se transformar em novas cultivares ou servirem para retrocruzamentos em programas de melhoramento é importante determinar qual o efeito destas irradiações nos estádios iniciais do desenvolvimento das plantas. Assim, o presente trabalho teve por objetivo verificar o efeito de diferentes doses de radiação gama Co^{60} , em sementes previamente embebidas, sobre a emergência e o crescimento inicial de plântulas de duas cultivares de arroz.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos na casa de vegetação da Embrapa Clima Temperado, localizada em Pelotas/RS, na safra de 2008/2009. Sementes de arroz das cultivares BRS Querência e BRS Fronteira com 13% de umidade, foram hidratadas com água destilada até atingirem a umidade de 25%. Para determinação da umidade pretendida, utilizou-se a fórmula abaixo (CROMARTY et al., 1982) com base na variação na massa das sementes:

$$\text{Massa final} = \frac{\text{massa inicial} \times (100 - \text{umidade inicial})}{(100 - \text{umidade final})}$$

Após o processo de hidratação as sementes foram armazenadas em placas de Petri e transferidas para refrigeração a 10°C por 48h até atingirem massa constante. Depois de confirmada a umidade de 25%, as sementes foram imediatamente irradiadas nas doses de 0, 50, 100, 150 e 200 Gy. Os tratamentos com radiação gama foram realizados com fonte de Co^{60} “Eldorado 78” (Atomic Energy of Canadá Ltda.) do Centro de Oncologia do Departamento de Radiologia da Faculdade de Medicina, UFPel. As diferentes dosagens de radiação foram obtidas através da variação do tempo de exposição das sementes, com taxa de

17,35 Gy por minuto. Foram irradiados, para cada cultivar e dose, lotes de 500 sementes. Depois de irradiadas as sementes foram imediatamente semeadas em bandejas plásticas contendo solo tipo Planossolo Háplico, típico da cultura de arroz, sendo a umidade mantida através de irrigação manual.

Inicialmente foram analisadas a percentagem de emergência aos 14 dias após semeadura (DAS) e o índice de velocidade de emergência (IVE). Para a determinação do IVE, foi contada diariamente o número de plântulas emergidas até a estabilização do estande. O IVE foi determinado pela fórmula descrita por Popinigis (1977):

$$\text{IVE} = E1/N1 + E2/N2 + \dots + En/Nn$$

Sendo: IVE = índice de velocidade de emergência; E1, E2, En = número de plântulas emergidas na primeira, segunda e última contagem e N1, N2, Nn = número de dias da semeadura.

Aos 14 e 28 dias após semeadura (DAS), 60 plântulas de cada tratamento foram colhidas ao acaso e avaliadas quanto a altura da plântula (cm), número de folhas por plântula, comprimento das raízes (cm) e massa seca da parte aérea e do sistema radicular (g) após secagem em estufa a 72°C durante 72 horas. Sendo que aos 14 DAS não foram feitas as avaliações para a dose de 200 Gy em virtude do número reduzido de plântulas emergentes.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x5 (duas cultivares e cinco doses de radiação) com seis repetições e unidade experimental composta por 80 sementes para as variáveis, percentagem de emergência e índice de velocidade de emergência. As demais avaliações foram conduzidas com seis repetições, sendo a unidade experimental composta por 10 plântulas. E as duas épocas de avaliação? Tem que entrar na análise ou dizer que foram separadas as avaliações.

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância, comparados pelo teste de médias (Tukey) a 1% de probabilidade e regressão polinomial, através do Sistema de

Análise Estatística - SANEST (ZONTA & MACHADO, 1984).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em geral a cv. BRS Querência apresentou maiores valores de emergência e índice de velocidade de emergência (IVE) quando comparada a cv. BRS Fronteira. Doses superiores a 100 Gy afetaram significativamente a emergência das plântulas em ambas cultivares e o IVE para a cv. BRS Querência, já a cv. BRS Fronteira apresentou redução do IVE em todas sementes submetidas a radiação quando comparadas ao tratamento controle; sendo que a dose de 200 Gy reduziu drasticamente estas variáveis (Tabela 1). A resposta obtida nesta maior dose (200 Gy) confirma o maior efeito do agente mutagênico quando as sementes apresentam alta percentagem de hidratação, pois estudos anteriores com a mesma dose em sementes com 13% de umidade das mesmas cultivares não diferiram do tratamento controle, apresentando na dose de 200 Gy uma média de 85% de emergência e 13,2 de IVE (dados não mostrados). Resultados semelhantes foram encontrados por Miranda et al. (2009) que verificaram diferenças com as mesmas doses em sementes úmidas (envelhecidas artificialmente) e secas de arroz, mesmo utilizando doses baixas de radiação (1 e 5 Gy).

Tabela 1 - Percentagem de emergência aos 14 dias após semeadura (DAS) e índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas de duas cultivares de arroz, submetidas a diferentes doses de radiação gama Co^{60} .

DOSE (Gy)	% Emergência		IVE	
	Cultivares		Cultivares	
	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Querência	BRS Fronteira
Controle	91,0 a	80,7 a	24,7 a	23,6 a
50	86,5 ab	74,2 ab	23,7 a	20,2 b
100	83,5 b	77,0 b	22,7 a	20,1 b
150	70,2 c	72,7 b	18,4 b	19,8 b
200	33,2 d	34,7 c	6,3 c	5,3 c

*Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 1% de probabilidade de erro.

A altura das plântulas foi afetada negativamente pelo uso de radiação para a cv. BRS Querência nas duas fases analisadas, sendo esta resposta linear e decrescente, com redução de 31,4% na dose de 150 Gy aos 14 DAS (Figura 1A) e 27,5% quando utilizado 200 Gy aos 28 DAS (Figura 1B). Para a cv. BRS Fronteira, em ambas datas de avaliação, ocorreu um incremento neste caráter nas doses de 50, 100 e 150 Gy, obtendo-se melhor resposta com 50 Gy (25,6% em relação ao controle). Resultados semelhantes aos obtidos para a cv. BRS Querência foram encontrados por Rodrigues & Ando (2002) ao avaliarem a altura de plântulas de arroz de sequeiro submetidas a 120 a 360 Gy.

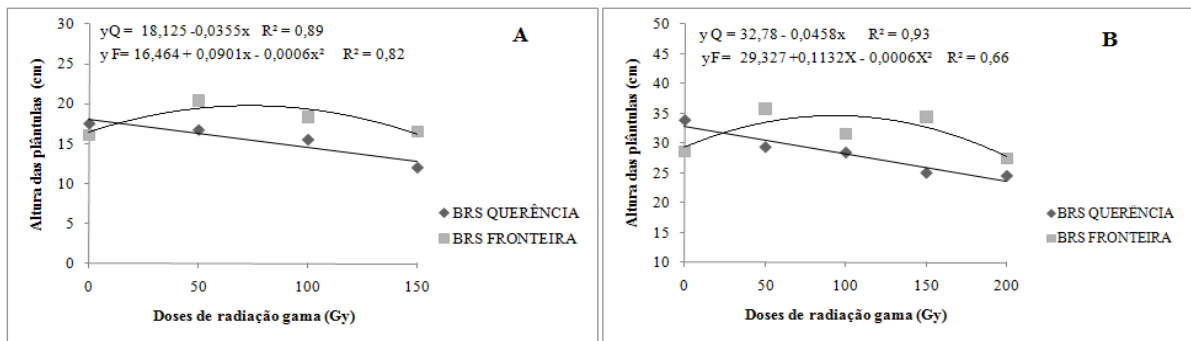


Figura 1- Altura das plântulas de duas cultivares de arroz, BRS Querência e BRS Fronteira, submetidas a diferentes doses de radiação gama, avaliada aos 14 DAS (A) e aos 28 DAS (B).

O número de folhas por plântula aos 14 DAS não foi alterado pelos tratamentos de radiação na cv. BRS Fronteira, enquanto que ocorreu leve decréscimo neste caráter na dose 50 Gy, com redução de 15,7% em relação ao controle, na cv. BRS Querência. Já aos 28 DAS as cultivares apresentaram a mesma tendência, com estímulo positivo neste parâmetro nos tratamentos de 150 e 200 Gy (Figura 2).

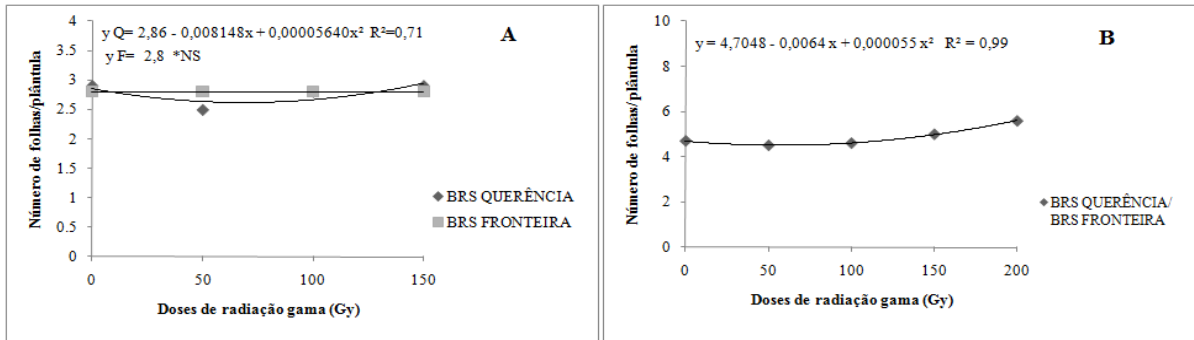


Figura 2 - Número de folhas por plântula de duas cultivares de arroz, BRS Querência e BRS Fronteira, submetidas a diferentes doses de radiação gama, avaliada aos 14 DAS (A) e aos 28 DAS (B).

Quanto ao comprimento das raízes, não foi observada diferença entre os tratamentos para a cv. BRS Fronteira aos 14 DAS, ocorrendo no entanto incremento deste parâmetro na segunda avaliação, na dose de 200 Gy, com aumento de 41% em relação ao controle (Figura 3). Em estudos anteriores com esta cultivar e sementes com 13% de umidade não foram encontradas diferenças significativas entre a dose de 200 Gy e tratamento o controle (dados não mostrados), confirmando as observações de Viccini et al.(1997), as quais relatam que a água atua como meio de difusão de mutagênicos físicos e químicos, bem como de radicais livres provenientes do processo de radiação, uma vez que elevados teores de água aumentam a atividade metabólica e, portanto, intensificam a vulnerabilidade das sementes à radiação.

Para a cv. BRS Querência observou-se diminuição no comprimento das raízes com o aumento das doses de radiação quando avaliadas aos 14 DAS, o mesmo não ocorrendo quando da segunda avaliação (Figura 3), reforçando os resultados obtidos em testes anteriores em sementes desta cultivar com teor de umidade de 13% (dados não mostrados).

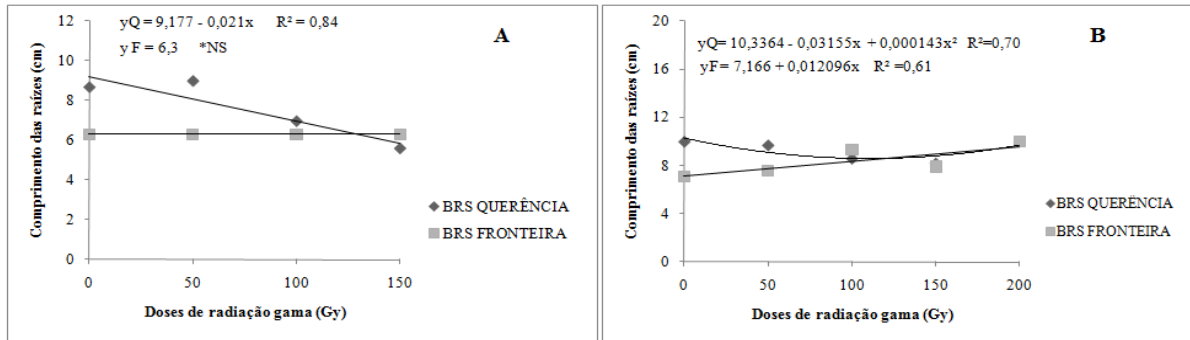


Figura 3 - Comprimento das raízes de duas cultivares de arroz, BRS Querência e BRS Fronteira, submetidas a diferentes doses de radiação gama, avaliada aos 14 DAS (A) e aos 28 DAS (B).

Para massa seca da parte aérea, na cv. BRS Querência observou-se uma resposta linear decrescente de acordo com aumento da dose aplicada nas duas datas de avaliação, com redução de 33,3% na dose de 150 Gy aos 14DAS e 44,9% quando utilizada 200 Gy aos 28 DAS. Em contrapartida, a cultivar BRS Fronteira apresentou incremento neste caráter com o uso da radiação gama em ambas as datas avaliadas, com um aumento de 93,7% aos 28 DAS com a maior dose testada (Figura 4). O fato de as cultivares estudadas responderem de formas distintas pode ser explicado pelo fato de que os efeitos da radiação gama serem influenciados por diversos fatores como o genótipo dos indivíduos (BAHL & GUPTA, 1982), a presença de algumas substâncias químicas (KUMAR, 1991), a fase do ciclo celular (GUDKOV & GRODZINSKY, 1982), o grau de ploidia dos cromossomos (BROCK, 1980), o conteúdo de DNA por genoma haplóide (PLEWA et al., 1993) e o nível de oxigênio (BUMP et al., 1982).

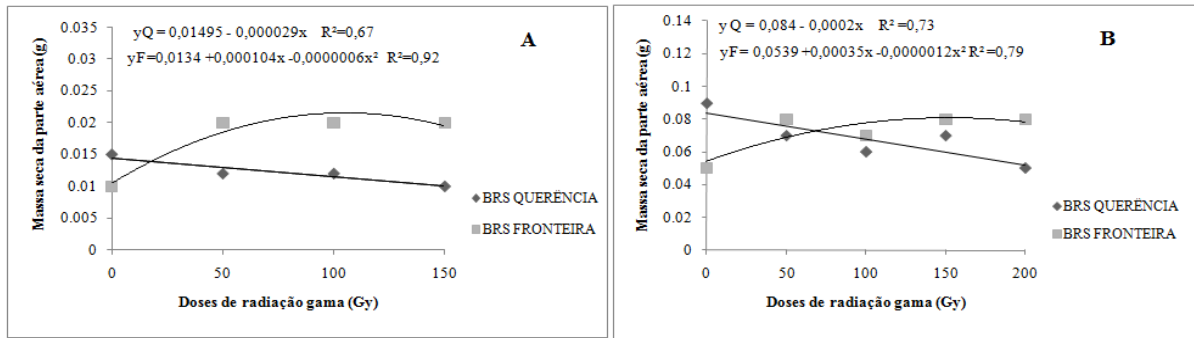


Figura 4 - Massa seca da parte aérea (g) de duas cultivares de arroz, BRS Querência e BRS Fronteira, submetidas a diferentes doses de radiação gama, avaliada aos 14 DAS (A) e aos 28 DAS (B).

Quanto a massa seca das raízes, aos 14 DAS, não foram observadas diferenças entre as cultivares e os tratamentos, com média de 0,009g/plântula. Já aos 28 DAS não houve diferença entre as cultivares em estudo, pois ambas apresentaram a mesma tendência, com incremento médio de 30% na maior dose testada (Figura 5). Aumento na matéria seca de plântulas também foi constatado por Miranda et al. (2009) em sementes de arroz úmidas e irradiadas com 5 Gy.

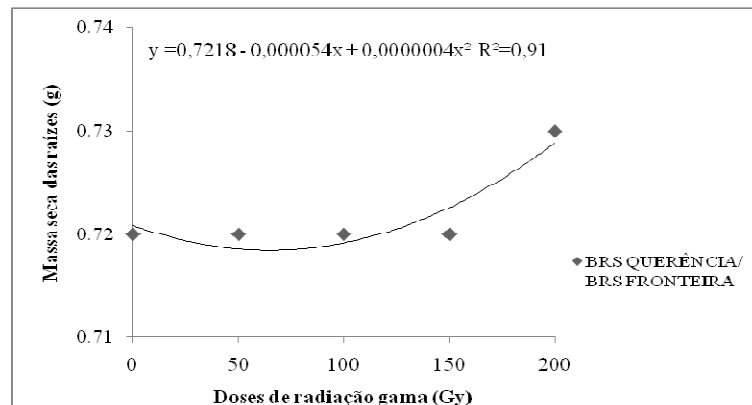


Figura 5 - Massa seca das raízes (g) de duas cultivares de arroz, BRS Querência e BRS Fronteira, submetidas a diferentes doses de radiação gama, avaliada aos 28 DAS.

Em consequência dos dados mostrados e fazendo uma relação entre a parte aérea e o sistema radicular verifica-se, para a cv. BRS Fronteira, que doses de 50 e 100 Gy afetaram mais acentuadamente o desenvolvimento do sistema radicular, em ambas as avaliações. Já para a cultivar BRS Querência, aos 14 DAS, doses de 50 e 100 Gy afetaram negativamente o

desenvolvimento da parte aérea, sendo que aos 28 DAS ocorreu o mesmo comportamento, porém, com as doses de 150 e 200 Gy (Tabela 2).

Tabela 2- Relação parte aérea e sistema radicular em duas datas de avaliação, 14 e 28 dias após semeadura (DAS) em plântulas de duas cultivares de arroz (BRS Querência e BRS Fronteira), submetidas a diferentes doses de radiação gama ^{60}Co .

Dose (Gy)	14 DAS		28 DAS	
	BRS Querência	BRS Fronteira	BRS Querência	BRS Fronteira
0	2,0	2,1	3,4	3,2
50	1,6	2,3	3,3	3,6
100	1,1	2,3	3,9	3,6
150	1,9	0,8	3,0	3,2
200	-	-	1,6	3,2

CONCLUSÕES

Por todo o exposto, conclui-se que a dose de 200 Gy reduz significativamente a emergência e o índice de velocidade de emergência de sementes pré-hidratadas em ambas cultivares. Dentre os parâmetros analisados o número de folhas por plântulas é menos influenciado pelo uso da radiação gama enquanto a massa seca da parte aérea é o mais influenciado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHLOOWALIA, B. S.; MALUSZYNSKI, M.; NICTERLEIN, K. Global impact of mutation-derived varieties, **Euphytica**, v. 135, p. 187–204, 2004.

BAHL, J. R.; GUPTA, P. K. Chlorophyll mutations in mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v.63, p.23-26, 1982.

BROCK, R. D. Mutagenesis and crop improvement. In: CARLSON, P.S. **Biology of crop productivity**. New York,: Academic, 1980. p.383-409.

BUMP, E. A. et al. Radiosensitization of hypoxic tumor cells by depletion of intracellular glutathione. **Science**, Washington. v.217, p.544-545, 1982.

CROMARTY, A. S.; ELLIS, R. H.; ROBERTS, E. H. **The design of seed storage facilities for genetic conservation**. Rome: IBPGR, 1982, 182p.

CRUZ, H. L. **Efeitos Fisiológicos da Radiação Gama em Sementes de Arroz**. Pelotas, p.72, 2004. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal), – Universidade Federal de Pelotas - UFPel, Pelotas.

FAGUNDES, P. R. R.; ANDRES, A. **Comportamento de Linhagens Clearfield da Embrapa na Região Litoral Sul do Rio Grande do Sul – Safra 2006/07**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 4p. (Comunicado Técnico, 201).

FU, H. W.; LI, Y. F; SHU, Q. Y. A revisit of mutation induction by gamma rays in rice (*Oryza sativa* L.): implications of microsatellite markers for quality control. **Moleccular Breeding**. V. 22, p.281-288, 2008.

GAUL, H. Mutagen effects observable in the first generation. In: **Manual Mutation Breeding**, IAEA. Vienna, v. 85, p. 106, 1970.

GUDKOV, I. N.; GRODZINSKY, D. M. Cell radiosensitivity variation in synchronously-dividing root meristems of *Pisum sativum* L. during the mitotic cycle. **International Journal of Radiation Biology**, Bristol, v.41, n.4, p.401-409, 1982.

HUNG, D. C.; JOHNSON, K. Effects of ionizing radiation on the growth and allyl isothiocyanate accumulation of *Wasabia japonica* in vitro and ex vitro. In *Vitro Cellular Developmental Biology.-Plant* v. 44, p.51–58, 2008.

KLEINHANS, P. S. J. **Radiação gama cobalto-60 na indução de variabilidade em mamona (*Ricinus communis* L.)** 88f. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Pelotas.

KUMAR, G. Modification of radiation induced genetic damage and impaired DNA synthesis by thiourea treatment in *Solanum incanum* L. **Cytologia**, Tokyo, v.56, p.117-123, 1991.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de; TAVARES, L. F. S.; TERRES, A. L.; FAGUNDES, P. R. R.; et al. Melhoramento genético de arroz irrigado na Embrapa Clima Temperado: 5 - Mutação induzida. In: **Anais do 1º Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**. A sustentabilidade da cadeia produtiva do arroz irrigado no terceiro milênio. Pelotas, RS, v. 1. p. 48-50, 1999.

MIRANDA, H. L. C.; BOBROWSKI, V. L.; TILLMANN, M. A. A.; et al. Qualidade fisiológica de sementes de arroz submetidas à radiação gama. *Ciência Rural*, Santa Maria. Vol.39, n.5, pp. 1320-1326, 2009.

PIMENTEL, M. C. G. **Indução de aberrações cromossômicas estruturais em milho (*Zea mays* L.) por radiação gama**. . 86f. 1990. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa.

PLEWA, M. J.; DOWD, P. A.; SCHY, W.E.; et al. Induced forward mutation at the *yg2* locus and a comparison with the ABCW relationship. **Maize Genetics cooperation Newsletter**, Columbia, v.57, p.147-149, 1993.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília : AGIPLAN, 1977. 289p.

RODRIGUES, L. R. F, ANDO, A. Caracterização e avaliação de três grupos de arroz-de-sequeiro de diferentes procedências por meio da sensibilidade à radiação gama. **Bragantia**, Campinas, v.61, n.1, p.17-23, 2002.

VICCINI, L. F. et al. Resposta de sementes de milho à radiação gama em função do teor de água. **Bragantia**, Campinas, v.56, n.1, p.1-7, 1997.

WU, J. Thermal conductivity of some oxygenated fuels and additives in the saturated liquid phase. **Journal of Chemical and Engineering Data**, v. 50, n. 1, p. 102-104, 2005.

ZONTA, E. P.; MACHADO, A. A. **SANEST – Sistema de análise estatística para microcomputadores**. Pelotas, 1984.

Artigo 3

**ATRIBUTOS MORFOFENOLÓGICOS EM ARROZ IRRIGADO, CULTIVAR BRS
QUERÊNCIA, SUBMETIDA À RADIAÇÃO GAMA**

De acordo com as normas da revista Ciência Rural, a qual será submetido

**Atributos morfofenológicos em arroz irrigado, cultivar BRS Querência, submetida à
radiação gama**

**Attributes morpho-phenological in rice, cv. BRS Querência, subjected to gamma
radiation**

Aline Scheer da Silva^I Rodrigo Danielowski^I Eugenia Jacira Bolacel Braga^I Ariano
Martins de Magalhães Jr.^{II} Jose Antonio Peters^I

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar atributos morfofenológicos de plantas de arroz desenvolvidas a partir de sementes irradiadas com raios γ (^{60}Co), visando a seleção de mutantes com características agronômicas superiores, os quais poderão ser utilizados no programa de melhoramento desta espécie. Sementes (13% de umidade) da cultivar BRS Querência foram irradiadas com doses de 0 (controle), 200, 250, 300 e 350 Gy, sendo, em seguida, semeadas em bandejas contendo solo e mantidas em casa de vegetação até a ocasião do transplante das plântulas para o campo. As plantas foram avaliadas quanto à floração, ciclo vegetativo, altura de planta, comprimento do colmo, espessura de colmo, comprimento e largura da folha bandeira, comprimento de panícula, peso de panícula, número de grãos por panícula, peso de 1000 grãos, comprimento, largura e espessura de grãos sem casca. Conforme os resultados, o aumento da dose de radiação provocou redução no tamanho das plantas, o qual foi acompanhado também por decréscimo no peso das panículas e na largura e espessura dos grãos. No entanto a floração e o ciclo da cultura não foram alterados pelo uso da radiação.

Palavras- chave: *Oryza sativa*, descritores morfológicos e mutação.

^I Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas, RS, Brasil.

^{II} Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, Brasil.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate attributes morpho-phenological of rice plants developed from seeds irradiated with γ rays (^{60}Co) in order to select mutants with superior agronomic characteristics, which can be used in the breeding program of this kind. Seeds (13% moisture) of BRS Querência were irradiated with 0 (control), 200, 250, 300 and 350 Gy, and then sown in trays containing soil and kept in a greenhouse until the time of Transplant seedlings to the field. The plants were evaluated for flowering (50%), growing season, plant height, stem length, stem thickness, length and width of the flag leaf, panicle length, panicle weight, number of grains per panicle, weight of 1000 grains, length, width and thickness of grain shelled. According to the results, the increase in radiation dose caused a reduction in plant size, which was also accompanied by a decrease in the weight of panicles and width and thickness of the grains. However, the flowering and the crop cycle were not altered by the use of radiation.

Key-words: *Oryza sativa*, morphological and mutation.

INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é cultivado e consumido em todos os continentes, destaca-se pela produção e área de cultivo, desempenhando papel estratégico tanto no aspecto econômico quanto social. Mais de um terço da população mundial depende deste cereal em sua alimentação básica e a crescente demanda por este alimento remete o melhoramento genético para o entendimento de mecanismos ligados à adaptação das plantas. Para tanto é imprescindível a presença de variabilidade genética (VIEIRA et al., 2005), porém, no arroz a estreita variabilidade para características de interesse dificulta o estabelecimento de um programa de melhoramento genético sustentável.

A pesquisa com arroz irrigado no Rio Grande do Sul tem efetiva participação da Embrapa Clima Temperado (CPACT), sendo a mesma responsável pelo lançamento de inúmeras cultivares nas últimas décadas (GOMES & MAGALHÃES Jr., 2004). Dentre as cultivares recentemente lançadas tem-se a BRS Querência; de ciclo precoce, ao redor de 110 dias, constituída por plantas do tipo “moderno-americano”, de folhas e grãos lisos e boa tolerância a doenças, alta capacidade de perfilhamento e panículas longas; apresenta elevado rendimento industrial e ótima qualidade culinária. No entanto, para esta cultivar apresentar maior produtividade existem algumas características a serem melhoradas como a maior resistência a brusone, maior perfilhamento e resistência ao frio na fase reprodutiva.

De forma alternativa, técnicas como o uso de mutagênicos têm sido utilizadas para aumentar a variabilidade de espécies cultivadas. A radiação gama é considerada um dos principais indutores de mutações e de aberrações cromossômicas estruturais (PIMENTEL, 1990), sendo seus efeitos influenciados por diversos fatores. Através do uso de radiações ionizantes foram obtidos mutantes com características de maior produtividade, precocidade, menor porte, maior resistência à doenças e pragas utilizados na obtenção de novas variedades (HAQ, 1971). Estudos sobre os efeitos das radiações ionizantes em plantas cultivadas são conduzidos mediante a irradiação de sementes, plântulas e plantas em diversos estádios de desenvolvimento (RODRIGUES & ANDO, 2003) e, germinação, emergência, sobrevivência das plântulas, desenvolvimento e produção final das plantas são critérios comumente utilizados na avaliação da radiosensibilidade (RODRIGUES & ANDO, 2003; HUNG & JOHNSON, 2008).

A chegada ao mercado brasileiro de cultivares ClearField (CL) de arroz irrigado, oriundas de uma mutação induzida na linhagem de arroz irrigado americana AS 3510, facilitou o controle químico de arroz-vermelho em áreas infestadas, apresentando excelentes resultados nas lavouras orizícolas do Rio Grande do Sul. Estima-se que a área semeada com a

cultivar registrada para o Rio Grande do Sul, IRGA 422 CL, de ciclo precoce, supere os 30% do total de aproximadamente 1,0 milhão de hectares cultivados no estado. Porém, a predominância de uma única cultivar promove certa vulnerabilidade genética para o arroz irrigado do RS e pode expor a lavoura a riscos de ordem ambientais, tanto bióticos como abióticos (FAGUNDES & ANDRES, 2008).

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar atributos morfofenológicos em plantas desenvolvidas a partir de sementes irradiadas com raios gama, visando a seleção de mutantes com características agronômicas superiores, os quais poderão ser utilizados no programa de melhoramento desta espécie.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação e no campo experimental da Embrapa Clima Temperado, localizada em Pelotas, RS, durante a safra 2008/2009. Foram utilizadas sementes da cultivar BRS Querência, cedidas pela mesma instituição de pesquisa. Os tratamentos com radiação gama foram realizados com fonte de Co^{60} “Eldorado 78” (Atomic Energy of Canadá Ltda.) do Centro de Oncologia do Departamento de Radiologia da Faculdade de Medicina, UFPel. As diferentes dosagens 0, 200, 250, 300, 350 Gy de radiação foram obtidas através da variação do tempo de exposição das sementes, em taxa de 15,24 Gy por minuto. Foram irradiados, para cada cultivar e dose, lotes de 500 sementes com 13% de umidade. Depois de irradiadas as sementes foram imediatamente semeadas em bandejas plásticas contendo solo tipo Planossolo Háplico, típico da cultura de arroz, cuja umidade foi mantida através de irrigação manual. Aos 28 dias após a semeadura (DAS), quando as plântulas estavam no estágio V4, estas foram transplantadas para o campo experimental. As práticas de adubação e manejo foram adotadas segundo as recomendações técnicas de cultivo do arroz irrigado (SOSBAI, 2007). Quando as plantas atingiram plena floração (50% das plantas em floração) foram mensurados os seguintes descritores morfológicos: altura de planta

(da superfície do solo até a ponta da panícula - cm), comprimento do colmo (da superfície do solo até a base da panícula - cm), espessura de colmo (leitura com paquímetro digital na última aurícula - mm), comprimento e largura da folha bandeira (cm).

Após a colheita foram mensurados o comprimento da panícula (cm), peso de panícula (g), número de grãos por panícula, peso de 1000 grãos (g), comprimento, largura e espessura de grãos sem casca (mm).

O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso com cinco doses de radiação e 80 repetições por dose, sendo a unidade experimental composta por uma planta para os seguintes descritores: altura de planta, comprimento e espessura de colmo, comprimento e largura da folha, comprimento e peso de panícula, número de grãos por panícula e peso de 1000 grãos. As demais avaliações (comprimento, largura e espessura de grãos sem casca) foram conduzidas com 5 repetições, sendo a unidade experimental composta por 10 grãos.

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância, comparados pelo teste de médias (Tukey) a 5% de probabilidade e análise de normalidade pelo teste Lilliefors através do programa GENES - Versão Windows, Aplicativo Computacional em Genética e Estatística (CRUZ, 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no campo podem ser observados na Tabela 1. Para o comprimento da folha bandeira verifica-se que todos os tratamentos com radiação diferiram do controle, sendo que as doses de 250 e 300 Gy causaram maior redução neste caráter; já a largura das folhas foi afetada negativamente a partir de 300 Gy. Doses superiores a 200 Gy reduziram significativamente a altura das plantas, sendo esse efeito mais pronunciado nas doses de 300 e 350 Gy que foram diferentes estatisticamente dos demais tratamentos. Para comprimento do colmo, apenas a dose de 300 Gy diferiu do tratamento controle, apresentando

redução média neste caráter de 5,3%. Para espessura de colmo observou-se um comportamento desuniforme entre os tratamentos, com redução significativa apenas na dose de 250 Gy.

Tabela 1 - Descritores morfológicos avaliados após a plena floração de plantas da cultivar BRS Querência, submetidas a diferentes doses de radiação.

Dose (Gy)	Comp. da folha (cm)	Larg. da folha (cm)	Alt. da planta (cm)	Comp. do colmo (cm)	Esp. do colmo (mm)
Controle	29,74 a	2,42 a	103,57 a	73,34 ab	4,37 ab
200 Gy	25,97 b	2,09 ab	101,51 a	74,77 a	4,46 a
250 Gy	23,06 c	2,03 ab	98,2 b	72,21 b	4,17 c
300 Gy	23,34 c	1,99 b	95,25 c	69,44 c	4,26 bc
350 Gy	26,47 b	2,02 b	94,41 c	71,69 b	4,48 a

*Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Os parâmetros avaliados após a colheita são visualizados na Tabela 2. Para o comprimento da panícula apenas a dose de 350 Gy diferiu dos demais tratamentos, apresentando um estímulo positivo de 3,7% em relação ao controle. Tanto o número de grãos por panícula quanto o peso de 1000 grãos não foram alterados significativamente pelo uso da radiação. Em contrapartida, para comprimento dos grãos apenas a dose de 200 Gy diferiu do controle, com um incremento de 3,8% nesta variável. Doses iguais ou superiores a 300 Gy causaram redução na largura dos grãos, o mesmo ocorrendo para espessura em todos os tratamentos com radiação. Estudos realizados por FU et al. (2008) não mostraram efeito significativo da radiação gama em plantas M1 de arroz para os parâmetros número de grãos por panícula, número de perfilhos produtivos por planta, além do número de dias da semeadura a emergência.

Tabela 2 - Descritores morfológicos avaliados após a colheita de plantas da cultivar BRS Querência, submetidas a diferentes doses de radiação.

Dose (Gy)	Comp. de panícula	Nº grãos/panícula	Peso 1000 grãos	Comp. de grãos	Largura de grãos	Espessura de grãos
Controle	29,02 b	228,8 a	20,7 a	7,07 b	2,03 a	1,72 a
200 Gy	28,82 b	213,6 a	21,6 a	7,34 a	2,03 a	1,69 b
250 Gy	28,74 b	201,1 a	21,6 a	7,14 b	2,03 a	1,69 b
300 Gy	28,37 b	146,4 a	21,8 a	6,97 b	1,98 b	1,70 b
350 Gy	30,09 a	171,7 a	21,5 a	7,10 b	1,96 b	1,66 c

*Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Reforçando o exposto acima, nas Figuras 1,2 e 3 pode-se observar a frequência das plantas em cada classe para as variáveis analisadas. Segundo o Teste Lilliefors utilizado, para todas variáveis, é razoável estudar os dados por meio da distribuição normal.

Foi observado (Figura 1A) o surgimento de duas novas classes (classe 1 e 2 - plantas menores que 90 cm) para altura de plantas em doses iguais ou superiores a 250 Gy, sendo a altura mínima encontrada no tratamento de 350 Gy (68cm). Nos tratamentos de 300 e 350 Gy, 90 e 95% das plantas, respectivamente, apresentam porte máximo de 100 cm. Já o tratamento controle apresentou 77,5% das plantas nas classes 5 e 6, ou seja, plantas maiores que 100 cm. A baixa estatura encontrada nas doses de 300 e 350 Gy é de interesse agrônomo, pois permite o uso de doses mais elevadas de nitrogênio, sem acamamento de plantas e aumento, conseqüentemente, de caracteres correlacionados diretamente com a produtividade (MAGALHÃES, 2007). Para o comprimento do colmo (Figura 1B) a maior frequência de plantas do tratamento controle e de 200 Gy ocorreu nas classes 3 e 4 (71 a > 75cm), diferentemente das plantas oriundas de sementes irradiadas nas demais doses, as quais apresentaram maior frequência de plantas nas classes 2 e 3 (66 a 75 cm).

Na Figura 1C e 1D pode-se observar o comportamento dos tratamentos em relação ao comprimento e largura da folha-bandeira, respectivamente. O comprimento variou de 42 cm (200 Gy) a 14 cm (300 e 350 Gy), sendo que 66,7% das plantas do tratamento controle apresentaram-se nas classes 3 e 4 (25-34cm). Por outro lado, 63,7 e 60,0% de plantas oriundas de sementes irradiadas com 250 e 300 Gy, respectivamente, estão inseridas nas classes 1 e 2 (<20-24cm). Em relação à largura de folhas, a mais estreita foi encontrada na dose de 350 Gy (1,6cm) e a mais larga em 200 Gy (2,15cm). Neste caráter ocorreu o aparecimento de uma nova classe (< 2,0 cm) pelo uso da radiação, indicando que o aumento da dose induz a diminuição da largura da folha-bandeira em algumas plantas. Porém, a maioria das plantas, de todos os tratamentos, apresentava folha-bandeira com 2,0 a 2,3 cm de largura.

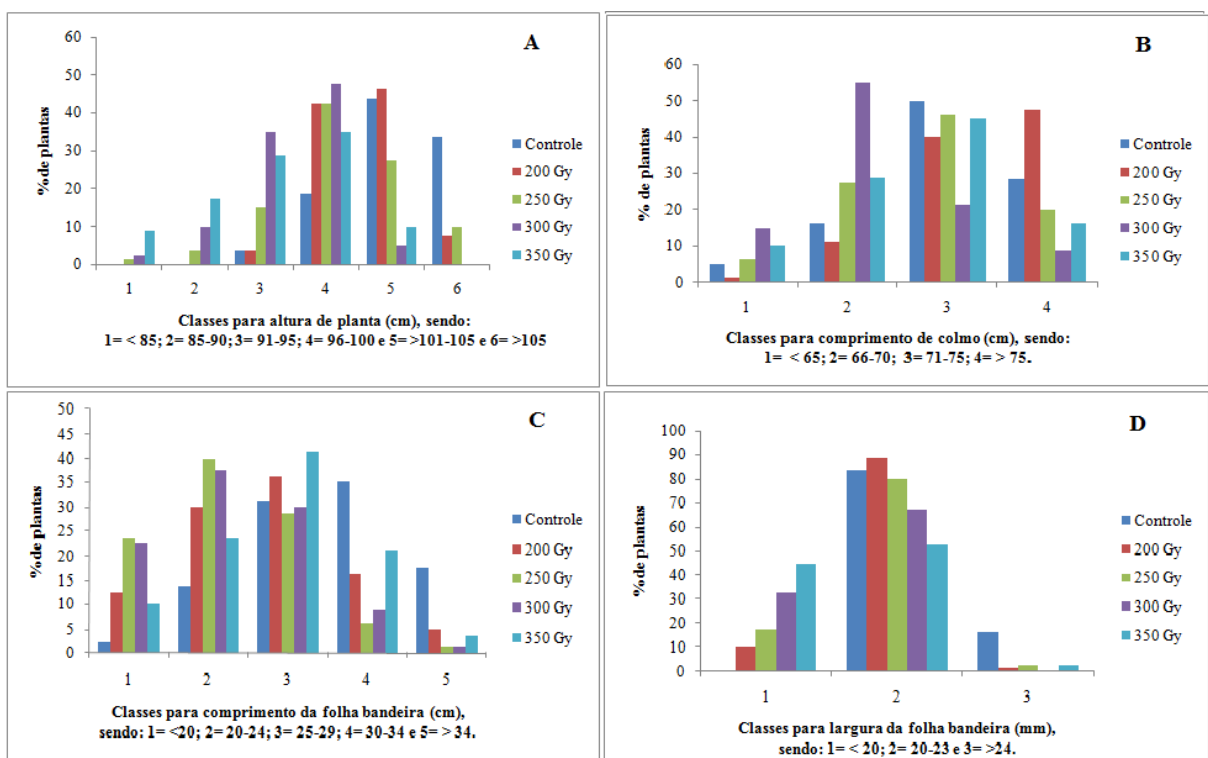


Figura 1 - Distribuição de frequência de plantas da cv. BRS Querência, submetidas a diferentes doses de radiação para os caracteres altura de plantas (A), comprimento do colmo (B), comprimento (C) e largura (D) da folha-bandeira. Pelotas/RS, UFPel -2009.

A distribuição de frequência dos tratamentos quanto à espessura do colmo, comprimento de panícula, peso de panícula e número de grãos por panícula pode ser observado na Figura 2. A menor espessura de colmo, encontrada na classe 1, foi observada no tratamento de 250 Gy (3,09mm) e a maior, encontrada na classe 5, ocorreu na dose de 200 Gy (5,46 mm). A espessura está diretamente correlacionada com o acamamento de plantas, principalmente naqueles genótipos de porte tradicional (altos), os quais tem ganhado importância mesmo com variedades de porte moderno cultivadas em sistema de cultivo pré-germinado (PETRINI & FRANCO, 2006).

Para o comprimento da panícula o menor valor, encontrado na classe 1, foi na dose de 250 Gy (24,4cm) e o maior em 300 Gy (34cm), observado na classe 4; no entanto, os menores números de grãos por panícula também foram encontrados nestes tratamentos, sendo o maior valor para este caráter encontrado no tratamento controle (classe 6). Mais de 50% das plantas analisadas possuíram panículas com comprimento entre 28 a 30 cm (classe 3), sendo que 78,75% do tratamento controle pertenceram a esta classe. Para peso de panícula até a dose de 250 Gy as plantas foram mais frequentes nas classes 4 e 5 (4,5 a > 5,4g), em contrapartida, 58,5 e 72,5% das plantas irradiadas com 300 e 350 Gy, respectivamente, apresentaram-se entre as classes 1 e 3 (<2,5 a 4,4g). Neste caráter, também foi observado o surgimento de uma nova classe (< 2,5g) nos tratamentos de 250, 300 e 350 Gy, tendo a maior dose 37,5% das plantas nesta classe. Na distribuição da frequência para o caráter número de grãos por panícula doses iguais ou superiores a 250 Gy determinaram aparecimento de classes com menos de 100 grãos por panícula (1 e 2). No entanto, a maior frequência de plantas irradiadas estão inseridas nas classes 4 e 5 (150 a 250 g), diferentemente do tratamento controle que apresentou 70% das plantas com mais de 200 grãos por panícula (classes 5 e 6).

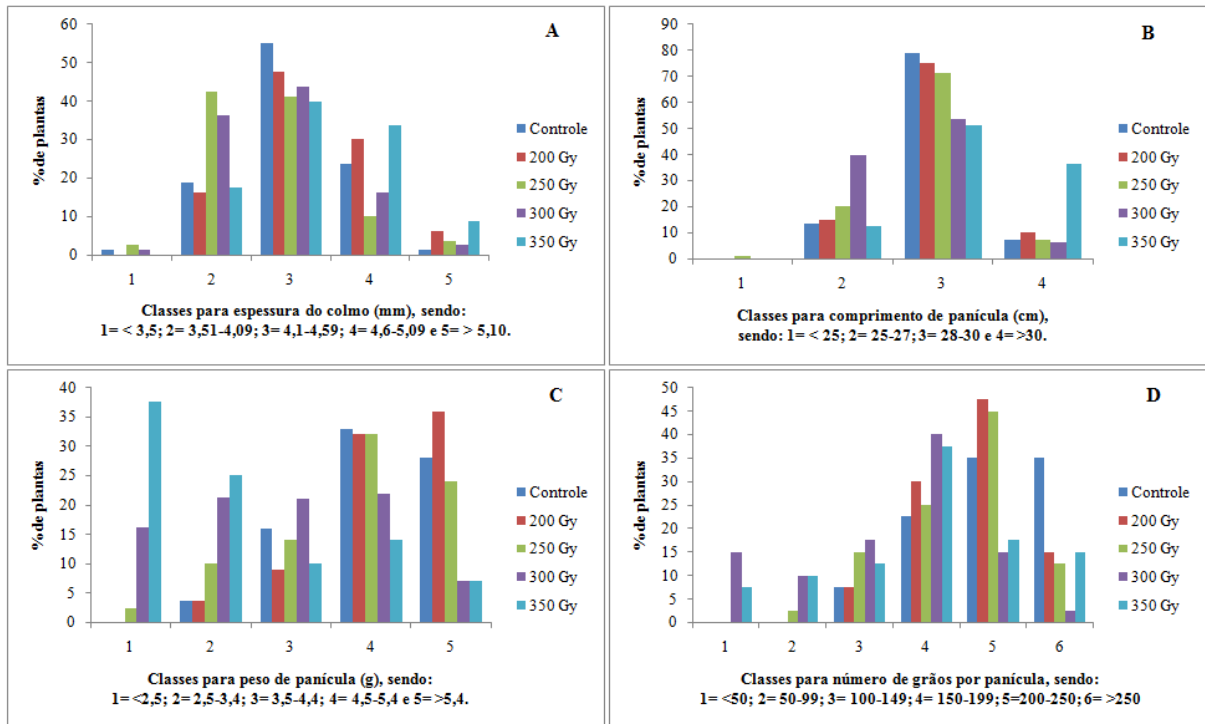


Figura 2 - Distribuição de frequência de plantas da cv. BRS Querência, submetidas a diferentes doses de radiação para os caracteres espessura do colmo (A), comprimento da panícula (B), peso da panícula (C) e número de grãos por panícula (D). Pelotas/RS, UFPel -2009.

Na Figura 3 pode-se observar a distribuição da frequência dos tratamentos quanto ao comprimento, largura, espessura de grãos e peso de 1000 grãos. Em relação ao comprimento o tratamento controle e a dose de 300 Gy apresentaram a mesma resposta, com maior frequência de plantas na classe 2. No entanto, plantas oriundas de sementes irradiadas com 200, 250 e 350 Gy apresentaram maior percentagem de grãos mais longos (82, 66 e 48%, respectivamente – classe 2). Para largura pelo menos 80% das plantas de todos os tratamentos estão distribuídas na classe 2 (1,9-2,0mm), enquanto que para a espessura 75,00% das plantas do tratamento controle apresentaram mais de 1,6mm (classe 3), diferentemente da maior dose que tinham apenas 40,00% das plantas nesta mesma classe. Para peso de 1000 grãos mais de 62% das plantas de todos os tratamentos apresentaram valores entre 20 e 22g (classe 2).

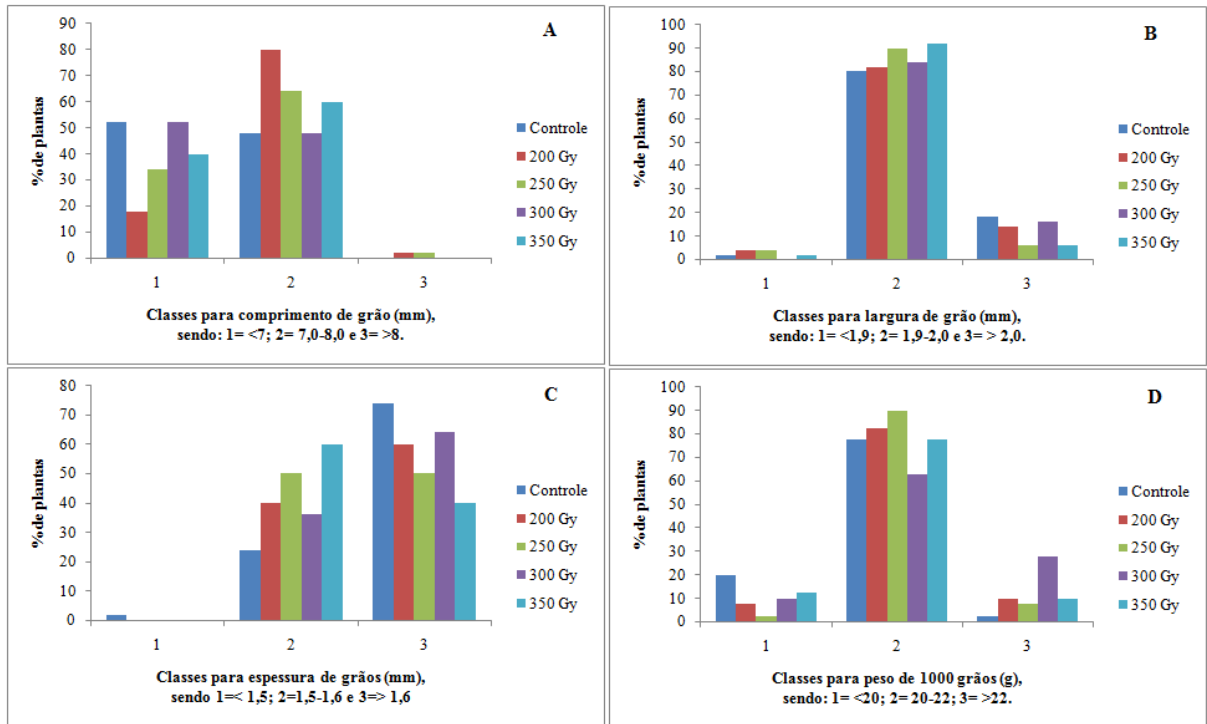


Figura 3 - Distribuição de frequência de plantas da cv. BRS Querência, submetidas a diferentes doses de radiação para os caracteres comprimento (A), largura (B), espessura de grãos (C) e peso de 1000 grãos (D). Pelotas/RS, UFPel -2009.

Quanto à floração e ciclo da cultura (Figura 4) foi observado que mais de 90% das plantas de todos os tratamentos apresentaram-se entre as classes 2 e 3.

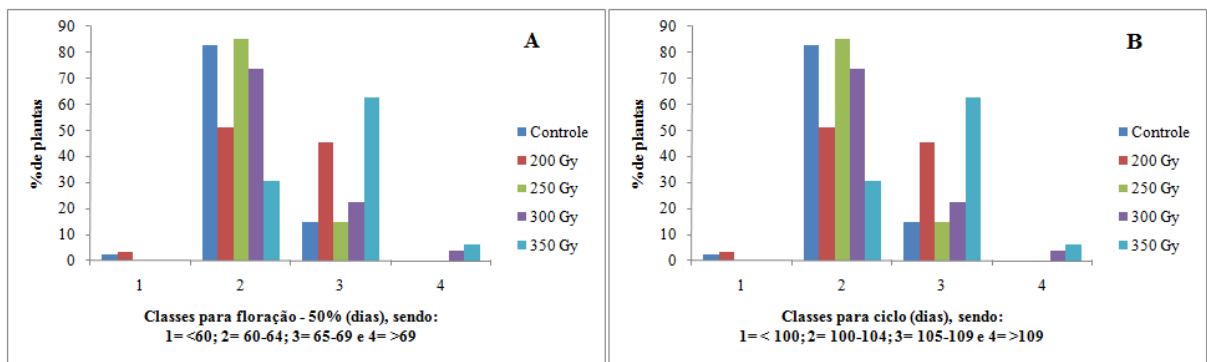


Figura 4 - Distribuição de frequência de plantas da cv. BRS Querência, submetidas a diferentes doses de radiação para os caracteres floração-50% (A) e ciclo (B). Pelotas/RS, UFPel -2009.

CONCLUSÕES

Nas condições em que foi desenvolvido este trabalho pode-se concluir que a irradiação nas sementes afeta vários parâmetros morfológicos nas plantas, sendo que o aumento da dose de radiação diminui o comprimento e a largura das folhas, a estatura das plantas e a largura e espessura dos grãos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CRUZ, C. D. **Programa Genes: Aplicativo computacional em genética e estatística**. Versão Windows – 2007, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- FAGUNDES, P. R. R.; ANDRES, A. **Comportamento de Linhagens Clearfield da Embrapa na Região Litoral Sul do Rio Grande do Sul – Safra 2006/07**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 4p. (Comunicado Técnico, 201).
- FU, H. W.; LI, Y. F; SHU, Q. Y. A revisit of mutation induction by gamma rays in rice (*Oryza sativa* L.): implications of microsatellite markers for quality control. **Molecular Breeding**. v. 22, p.281-288, 2008.
- GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JR., A. M. de. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, 899p.
- HAQ, M. S. Breeding for early, high-yielding and disease-resistant rice varieties through induced mutations. **Rice Breeding with Induced Mutations III**, IAEA, Vienna, p. 35-46, 1971.
- HUNG, D. C. e JOHNSON, K. Effects of ionizing radiation on the growth and allyl isothiocyanate accumulation of *Wasabia japonica* in vitro and ex vitro. **In Vitro Cellular Developmental Biology**.-Plant v. 44, p.51–58, 2008.

MAGALHÃES JR. de, A. M. **Recursos genéticos de arroz (*Oryza sativa* L.) no Sul do Brasil.** 2007. 160p. Tese (Doutorado em Agronomia/ Fitomelhoramento) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2007.

PETRINI, J. A.; FRANCO, D. F. Sistemas de cultivo: pré-germinado, transplante de mudas e mix. In: MAGALHÃES JR. de, A. M.; GOMES, A. da S.; SANTOS, A. B. (eds). **Sistema de Cultivo de Arroz Irrigado no Brasil.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006, p.139-155. (Embrapa Clima Temperado: Sistema de Produção, 3).

PIMENTEL, M. C. G. **Indução de aberrações cromossômicas estruturais em milho (*Zea mays* L.) por radiação gama.** Viçosa, 1990. 86p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa.

RODRIGUES, L. R. F, ANDO, A. Melhoramento genético vegetal uso da sensibilidade à radiação gama na discriminação de variedades de arroz-de-sequeiro dos grupos índica e japônica. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.2, p.179-188, 2003.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil.** Santa Maria, RS: SOSBAI, 2005.159p.

VIEIRA, J.; ISHIY, T.; SCHIOCCHET, M.; MARSCHALEK, R. **Avaliação de genótipos de arroz (*Oryza sativa* L.) quanto à resistência à brusone.** In: Anais Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, IV, 2005, Santa Maria, v. 1, p. 89-92.

Artigo 4

**ATRIBUTOS MORFOFENOLÓGICOS EM ARROZ IRRIGADO, CULTIVAR BRS
FRONTEIRA, SUBMETIDA À RADIAÇÃO GAMA**

De acordo com as normas da revista Ciência e Agrotecnologia, a qual será
submetido

Atributos morfofenológicos em arroz irrigado, cultivar BRS Fronteira, submetidas à radiação gama

Attributes morpho-phenological in rice, cv. BRS Fronteira, subjected to gamma radiation

Aline Scheer da Silva^I, Rodrigo Danielowski^I, Eugenia Jacira Bolacel Braga^I, Ariano Martins de Magalhães Jr.^{II} e José Antonio Peters^I

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar atributos morfofenológicos de plantas de arroz desenvolvidas a partir de sementes irradiadas com raios γ (^{60}Co), visando a seleção de mutantes com características agronômicas superiores, os quais poderão ser utilizados no programa de melhoramento desta espécie. Sementes (13% de umidade) da cultivar BRS Fronteira foram irradiadas com doses de 0 (controle), 200, 250, 300 e 350 Gy, sendo, em seguida, semeadas em bandejas contendo solo e mantidas em casa de vegetação até a ocasião do transplante das plântulas para o campo. As plantas foram avaliadas quanto à floração, ciclo, altura de planta, comprimento do colmo, espessura de colmo, comprimento e largura da folha bandeira, comprimento de panícula, peso de panícula, número de grãos por panícula, peso de 1000 grãos, comprimento, largura e espessura de grãos sem casca. Quanto à floração e ciclo da cultura, a maioria das plantas não foram alteradas pelos tratamentos com radiação. Por outro lado, a dose de 350 Gy causou redução na maioria dos caracteres analisados.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., radiação ionizante, descritores morfológicos.

^I Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas, RS, Brasil.

^{II} Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, Brasil.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate attributes morpho-phenological of rice plants developed from seeds irradiated with γ rays (^{60}Co) in order to select mutants with superior agronomic characteristics, which can be used in the breeding program of this kind. Seeds (13% moisture) of BRS Fronteira were irradiated with 0 (control), 200, 250, 300 and 350 Gy, and then sown in trays containing soil and kept in a greenhouse until the time of Transplant seedlings to the field. The plants were evaluated for flowering (50%), season, plant height, stem length, stem thickness, length and width of the flag leaf, panicle length, panicle weight, number of grains per panicle, weight of 1000 grains, length, width and thickness of grain shelled. The flowering and crop cycle, most plants were not affected by radiation treatments. Moreover, the dose of 350 Gy caused a reduction in most of the characters analyzed.

Key-words: *Oryza sativa* L., ionizing radiation, morphological.

INTRODUÇÃO

Cultivado em 150 milhões de hectares, com uma produção de 600 milhões de toneladas base casca, o arroz é um dos cereais mais produzidos e consumidos em todo o mundo. O Brasil é o nono produtor mundial, sendo a produção oriunda de dois sistemas de cultivo: de várzea (irrigado) e de terras altas (sequeiro) (GOMES & MAGALHÃES Jr., 2004). Maior produtor nacional, o Rio Grande do Sul contribui com mais de 60% do total de arroz produzido no Brasil, apresentando na safra de 2008/2009 uma produção de 8,047 milhões de toneladas (IRGA 2009). Em razão da interferência de fatores bióticos e/ou abióticos, o desenvolvimento de novas cultivares é um processo contínuo dentro das instituições de pesquisa agrícola e a busca por características agrônômicas superiores é uma constante entre os melhoristas de arroz. No Rio Grande do Sul a pesquisa com arroz irrigado

tem efetiva participação da Embrapa Clima Temperado (CPACT), sendo a mesma responsável pelo lançamento de inúmeras cultivares nas últimas décadas (GOMES & MAGALHÃES Jr., 2004). Dentre as cultivares recentemente lançadas tem-se a BRS Fronteira (ciclo médio, em torno de 135 dias, constituída de plantas do tipo “moderno” de folhas lisas, com boa tolerância ao acamamento e às doenças e apresentando grãos com textura solta e macia após cocção). Pequenas alterações genéticas nesta cultivar, como por exemplo a redução do ciclo, poderão contribuir para expansão do seu cultivo em áreas mais ao sul do estado do RS diminuindo os riscos de baixas temperaturas e, conseqüentemente de redução na produtividade pela esterilidade de espiguetas. O uso de técnicas biotecnológicas, como a mutação induzida por raios gama, constitui uma ferramenta alternativa para o aumento de variabilidade genética das espécies, uma vez que sua utilização nos diferentes tecidos vegetais tem como alvo principal as modificações das moléculas de DNA, sendo que a energia transferida pelas radiações resulta em ionização no interior da célula, acentuando as chances de encontrar mutações de interesse. Dentre as vantagens dos mutantes produzidos para os programas de melhoramento podemos destacar as mudanças morfofisiológicas que beneficiam a espécie, sendo que com o uso desta técnica foram obtidas em diversas espécies novas cultivares com características de maior produtividade, precocidade, menor porte, maior resistência a doenças, pragas e acamamento (GUIMARÃES & ANDO, 1980; MIKAELSEN, 1971).

Neste sentido, este trabalho objetivou avaliar atributos morfofenológicos em plantas desenvolvidas a partir de sementes irradiadas com raios gama, visando a seleção de mutantes com características agronômicas superiores, os quais poderão ser utilizados no programa de melhoramento desta espécie.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas sementes da cultivar BRS Fronteira, sendo os experimentos conduzidos em casa de vegetação e no campo experimental da Embrapa Clima Temperado, localizada em Pelotas, RS. Os tratamentos com radiação gama foram realizados com fonte de Co^{60} “Eldorado 78” (Atomic Energy of Canadá Ltda.) do Centro de Oncologia do Departamento de Radiologia da Faculdade de Medicina, UFPel. As diferentes dosagens 0, 200, 250, 300, 350 Gy de radiação foram obtidas através da variação do tempo de exposição das sementes, em taxa de 15,24 Gy por minuto. Foram irradiados, para cada dose, lotes de 500 sementes com 13% de umidade. Depois de irradiadas as sementes foram imediatamente semeadas em bandejas plásticas contendo solo tipo Planossolo Háplico, típico da cultura de arroz, cuja umidade foi mantida através de irrigação manual. Aos 28 dias após a semeadura (DAS), quando as plântulas estavam no estágio V4, estas foram transplantadas para o campo. As práticas de adubação e manejo foram adotadas segundo as recomendações técnicas de cultivo do arroz irrigado (SOSBAI, 2007). Quando as plantas atingiram plena floração foram mensurados os seguintes descritores morfológicos: altura de planta (da superfície do solo até a ponta da panícula), comprimento do colmo (da superfície do solo até a base da panícula), espessura de colmo (leitura com paquímetro digital na última aurícula), comprimento da folha (folha bandeira), largura da folha (folha bandeira).

Após a colheita foram mensurados o comprimento da panícula (cm), peso de panícula (g), número de grãos por panícula, peso de 1000 grãos (g), comprimento de grão sem casca (mm), largura de grão sem casca (mm) e espessura de grão sem casca (mm).

O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso em cinco doses de radiação com 80 repetições e unidade experimental composta por uma planta, para os seguintes descritores: altura de planta, comprimento do colmo, espessura de colmo, comprimento e largura da folha, comprimento da panícula, peso de panícula, número de grãos por panícula e

peso de 1000 grãos. As demais avaliações (comprimento de grão sem casca, largura de grão sem casca e espessura de grão sem casca) foram conduzidas com 5 repetições, sendo a unidade experimental composta por 10 grãos.

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância e comparados pelo teste de médias (Tukey) a 5% de probabilidade, através programa GENES - Versão Windows, Aplicativo Computacional em Genética e Estatística (CRUZ, 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 podem ser observados os dados obtidos no campo, avaliados após a floração. Para comprimento de folha não foi observada diferença dos tratamentos em relação ao controle, já para largura de folha apenas a dose de 200 Gy diferiu do controle, apresentando incremento de 11,95% neste caráter. A altura das plantas só foi afetada a partir de doses superiores a 250 Gy, ocorrendo redução significativa de 3,75 e 9,65% nas doses de 300 e 350 Gy, respectivamente. Já para o comprimento do colmo apenas na maior dose testada (350 Gy) foi observada diferença em relação ao controle (redução de 6,64%). Para espessura, diferiram do controle a dose de 200 e 350 Gy, com incremento de 5% na menor dose e redução de 5,5% na dose de 350 Gy.

Tabela 1 - Descritores morfológicos avaliados após a floração de plantas da cultivar BRS Fronteira, submetidas a diferentes doses de radiação.

Dose (Gy)	Comp. da folha (cm)	Larg. da folha (cm)	Altura da planta (cm)	Comp. do colmo (cm)	Espes. do colmo (mm)
Controle	23,41 ab	1,59 b	91,76 a	69,59 ab	4,21 b
200 Gy	24,48 a	1,78 a	92,17 a	70,60 a	4,42 a
250 Gy	24,67 a	1,62 b	90,99 a	69,69 ab	4,22 b
300 Gy	23,47 ab	1,63 b	88,32 b	68,00 b	4,19 b
350 Gy	22,74 b	1,58 b	82,90 c	64,97 c	3,98 c

*Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Na Tabela 2 podem ser visualizados os parâmetros analisados após a colheita. Para comprimento de panícula, doses superiores a 200 Gy causaram redução, sendo o número de grãos por panícula afetado negativamente pelo uso da radiação, com resposta decrescente conforme o aumento da dose de radiação. O peso de 1000 grãos mostrou-se diferente na maior dose testada, com redução de 29,8%. Em relação ao comprimento, largura e espessura de grãos o tratamento de 250 Gy diferiu do controle, apresentando incremento nestas variáveis de 6,1; 3,8 e 3,4%, respectivamente.

Tabela 2 - Descritores morfológicos avaliados após a colheita de plantas da cultivar BRS Fronteira, submetidas a diferentes doses de radiação.

Dose (Gy)	Comp. de panícula	Nº grãos/panícula	Peso 1000 grãos	Comp. de grãos	Largura de grãos	Espessura de grãos
Controle	26,24 a	125,35 a	25,29 a	6,70 b	2,10 b	1,76 b
200 Gy	26,14 a	109,15 ab	25,13 a	6,80 b	2,11 b	1,71 c
250 Gy	25,99 ab	101,37 b	24,85 a	7,11 a	2,18 a	1,82 a
300 Gy	25,52 bc	79,52 c	23,61 a	6,81 b	2,12 ab	1,74 bc
350 Gy	25,18 c	11,8 d	17,75 b	6,87 b	2,10 b	1,74 bc

*Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Reforçando o exposto acima, nas Figuras 1, 2 e 3 pode-se observar a frequência das plantas em classes para cada variável analisada. Onde segundo o Teste Lilliefors, para todas variáveis, é razoável estudar os dados por meio da distribuição normal.

Na Figura 1 ilustra-se a distribuição de frequência dos tratamentos quanto ao comprimento e largura da folha bandeira, altura da planta e comprimento do colmo. Foi observado (Figura 1A) que pelo menos 85% das plantas de todos os tratamentos apresentam-se entre a classe 1 e 3, ou seja, com comprimento de folha variando entre menos de 20 a 29mm, sendo que o maior comprimento foi observado na dose de 200 Gy (36cm) e o menor (15,5cm) encontrado em todas plantas avaliadas exceto na dose de 250 Gy (onde 16,5 foi o menor valor). Para largura da folha (Figura 1B) a doses de 250 Gy apresentou 73,75% das plantas com largura da folha superior a 20mm, nos demais tratamentos a maior frequência de plantas ocorreu na classe 2 (16-20mm). A menor estatura de plantas (Figura 1C) ocorreu nas doses de 250 e 350 Gy (67cm) e a maior nos tratamentos controle, 200 e 250 Gy (100cm). Neste caráter observou-se a criação de duas novas classes (plantas menores que 76cm e de 76 a 80cm) nas plantas irradiadas, sendo que 63,75% das plantas irradiadas com 350 Gy

apresentaram estatura menor que 85cm. No tratamento controle 83,75% das plantas apresentaram estatura variando entre 86 – 95cm. No que se refere ao comprimento do colmo (Figura 1D) 76,25% das plantas das doses de 300 e 350 Gy pertenceram as classes 2 e 3 (60-70cm), já os demais tratamentos apresentaram pelo menos 77,5% das plantas nas classes 3 e 4 (66-75cm). Neste caráter o maior comprimento foi 80cm (200 Gy) e o menor 53cm (350 Gy). A altura da planta, que é avaliada pela distância do nível do solo até a extremidade da panícula, também é influenciada por altas dosagens de nitrogênio, acarretando prejuízos pelo acamamento. Em geral, plantas altas são mais propensas ao acamamento, que também depende do diâmetro e resistência do colmo, intensidade dos ventos e disponibilidade de água (FONSECA et al. 2002), sendo assim a baixa estatura das plantas encontrada principalmente na dose de 350 Gy representam uma característica interessante agronomicamente. O aumento da produtividade pode ser conseguido com a redução na altura de planta, o que implica em seleção indireta para menor produção de matéria seca na parte aérea e, conseqüentemente, maior produção de grãos (KHUSH, 1995). Estudos realizados por Fu et al. (2008) observaram que doses iguais ou superiores a 200 Gy causam redução significativa na altura das plantas M1 de arroz irrigado, resposta semelhante também foi observada por Rodrigues & Ando (2002) ao avaliarem grupos de arroz de sequeiro.

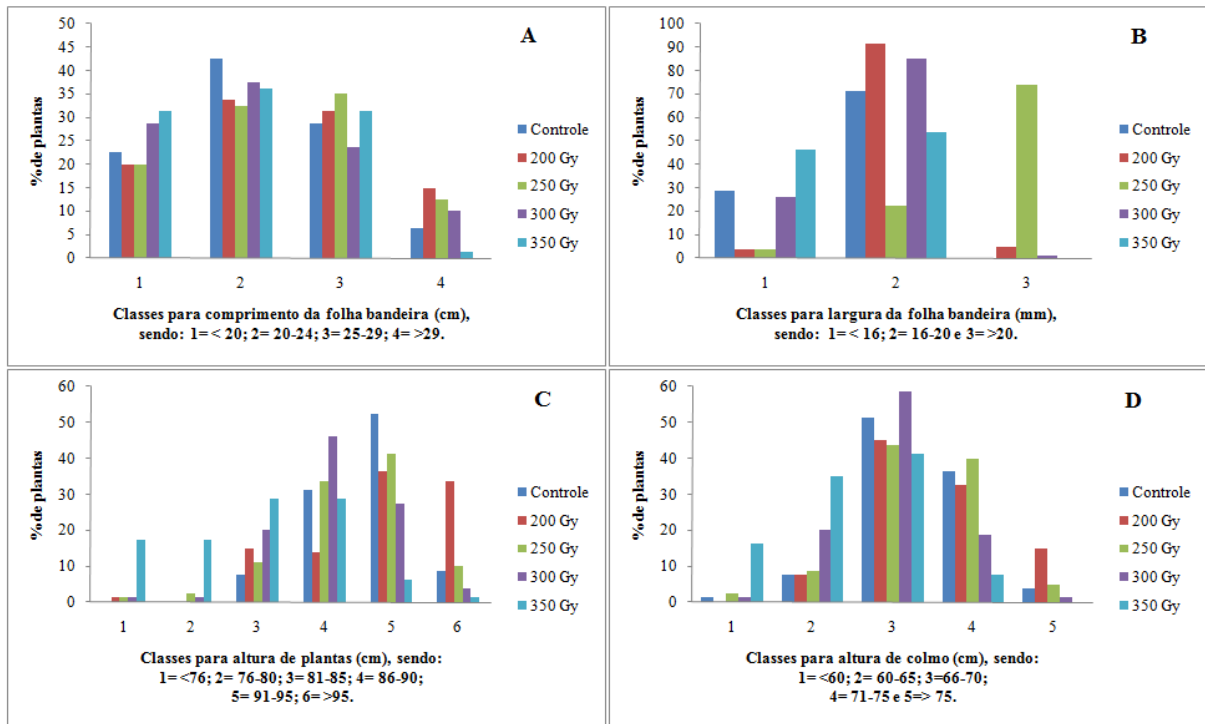


Figura 1 - Distribuição de frequência de plantas da cv. BRS Fronteira, submetidas a diferentes doses de radiação para os caracteres comprimento (A) e largura (B) da folha-bandeira, altura de plantas (C) e do colmo (D). Pelotas/RS, UFPel -2009.

Na Figura 2 pode ser observada a distribuição de frequência dos tratamentos quanto à espessura do colmo, comprimento de panícula, peso de panícula e número de grãos por panícula. Para espessura de colmo (Figura 2A) ocorreu a criação de duas novas classes, sendo estas extremas; ou seja; plantas com espessura menor que 3,5mm (nas doses de 250,300 e 350 Gy) e maiores que 5,10mm (na dose de 250 Gy). Pelo menos 66,25% de todas as plantas analisadas possuíram colmo com espessura entre 3,51 a 4,59mm (classes 3 e 4), sendo que 93,7% do controle apresentaram-se nestas classes. Os menores valores deste caráter ocorreram em doses igual ou superiores a 250 Gy. No entanto, a espessura do colmo, assim como seu comprimento podem ser influenciados pela fertilidade do solo e densidade de plantio utilizada (FONSECA et al. 2002). Na Figura 2B podemos observar que até a dose de 250 Gy mais de 80% das plantas analisadas apresentam panículas com comprimento variando entre 25 e 27cm (classe2), já as doses de 300 e 350 Gy apresentaram nesta classe 72 e 60% das plantas, já que nestas doses um maior número de plantas apresentaram panículas com

comprimento inferior à 25cm (25 e 38%, respectivamente). Para peso de panícula (Figura 2C) conforme aumentou a doses de radiação, maior foi a frequência de plantas com menor peso de panícula, sendo que 77,5% das plantas da maior dose testada apresentaram peso inferior a 2,4g, em contrapartida; 80,25% das plantas do controle obtiveram peso superior a 2,5g. Para este caráter o maior valor foi encontrado na doses de 250 Gy (5,587g) e o menor na dose de 350 Gy (0,17g). Em relação ao número de grãos por panícula ocorreu o surgimento de uma nova classe de panículas com menos de 50 grãos, onde se encontra plantas a partir do tratamento de 200 Gy, sendo que 82,5% das plantas irradiadas com 350 Gy apresentaram-se nesta classe. O maior número de grãos por panícula (Figura 2D) foi encontrado no tratamento controle (170), onde mais de 80 % das plantas apresentaram mais de 149 grãos por panícula e o menores valores foram observados nas doses de 300 e 350 Gy (6 e zero).

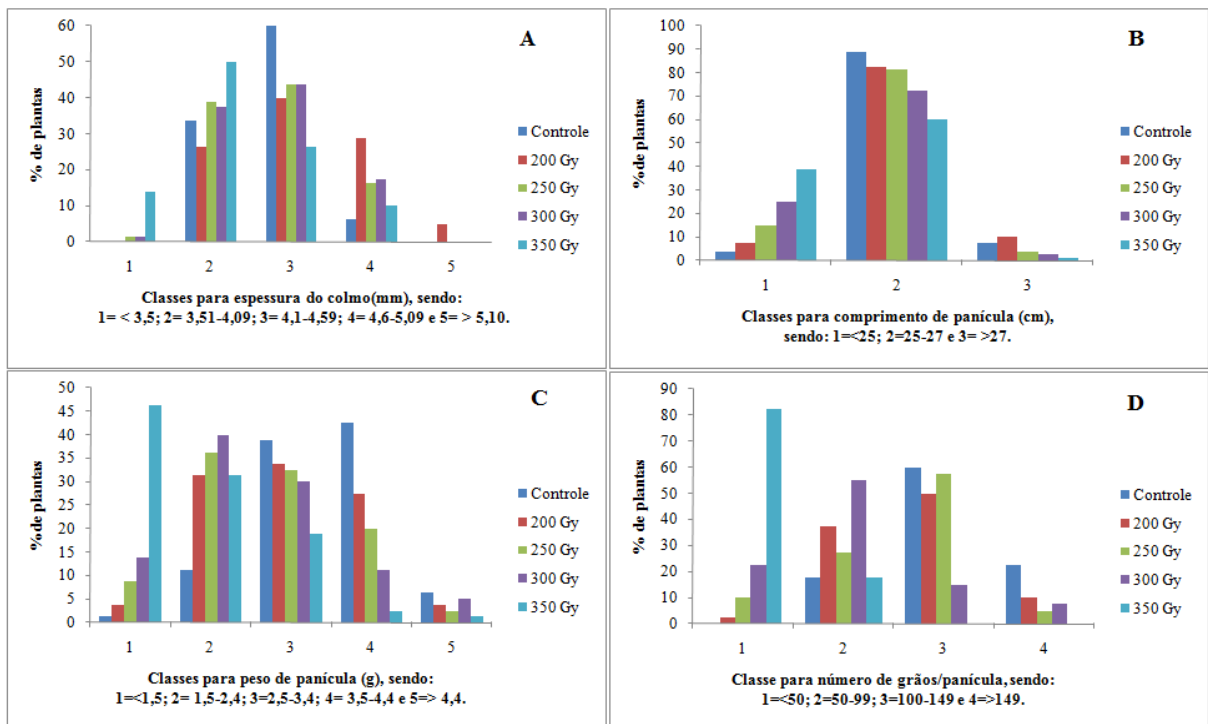


Figura 2 - Distribuição de frequência de plantas da cv. BRS Fronteira, submetidas a diferentes doses de radiação para os caracteres espessura do colmo (A), comprimento da panícula (B), peso da panícula (C) e número de grãos por panícula (D). Pelotas/RS, UFPEL -2009.

A distribuição da frequência dos tratamentos quanto ao comprimento, largura, espessura de grãos e peso de 1000 grãos podem ser visualizados na Figura 3. A dose de 250 Gy apresentou o maior comprimento de grão (8,1mm) e a maior percentagem de plantas com grãos mais compridos, ou seja, 60 % das plantas na classe 3 (7,0 a 7,9 mm). Nos demais tratamentos a maioria das plantas possuíram grãos com comprimento variando entre 6,0 e 6,9mm (Figura 3A). Para comprimento de grão (Figura 3B) também foi a dose de 250 Gy que apresentou maior frequência de plantas com grãos mais largos (80% na classe 3), no entanto, os demais tratamentos com radiação apresentaram a maioria das plantas nesta classe (2,1 a 2,2mm) o que não ocorreu com o tratamento controle, o qual apresentou 60% das plantas na classe 2 (1,9 a 2,0mm). Na Figura 3C pode-se visualizar que para espessura de grãos todos os tratamentos apresentaram maior frequência na classe 3 (1,7 a 1,8mm). Porém, nos tratamentos com radiação houve o surgimento de duas novas classes com valores extremos, espessura menor que 1,5mm (em 200, 300 e 350 Gy) e maior que 1,8mm (em 250, 300 e 350 Gy). Já no peso de 1000 grãos (Figura 3D) até a dose de 250 Gy mais 75% das plantas possuíram peso entre 23 e 25g, em contrapartida, nas doses de 300 e 350 Gy foi observado maior frequência nas classes 1 e 2 (menor que 22g).

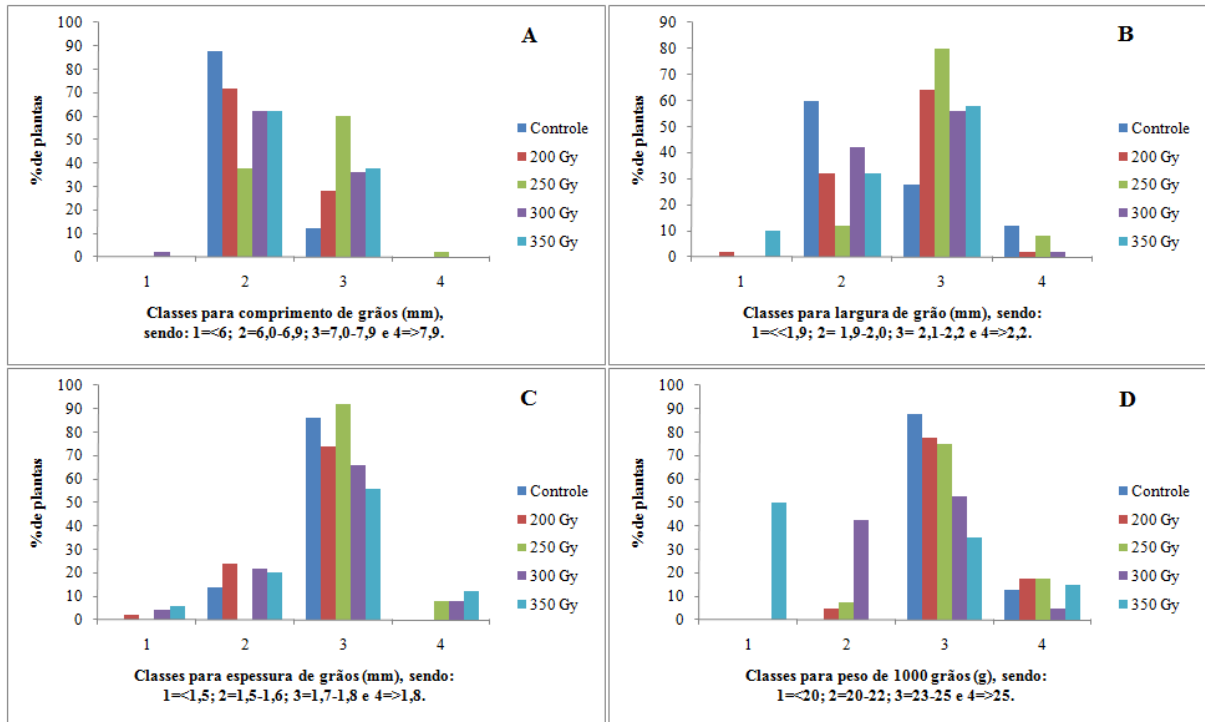


Figura 3- Distribuição de frequência de plantas da cv. BRS Fronteira, submetidas a diferentes doses de radiação para os caracteres comprimento (A), largura (B), espessura de grãos (C) e peso de 1000 de grãos (D). Pelotas/RS, UFPel -2009.

Quanto à floração e ciclo da cultura (emergência à maturação) pode-se observar o surgimento de uma nova classe (classe 4) no tratamento de 350 Gy, onde 14,2% das plantas necessitaram de mais dias para atingir à floração (50%) e completar o ciclo (Figura 4). O ciclo da planta de arroz pode ser dividido em três fases distintas: fase vegetativa, fase reprodutiva e fase de maturação. A fase vegetativa corresponde o período compreendido entre a germinação da semente e a iniciação da panícula, sendo modificada pela temperatura e pelo fotoperíodo. Diferenças varietais na duração do crescimento devem-se basicamente a diferenças na fase vegetativa. A fase reprodutiva, que vai da iniciação da panícula ao florescimento, tem duração relativamente constante de cultivar para cultivar e a fase de maturação, etapa final do ciclo de vida da planta, vai do florescimento à maturação dos grãos; tendo uma duração de 30 a 35 dias (PINHEIRO, 2006).

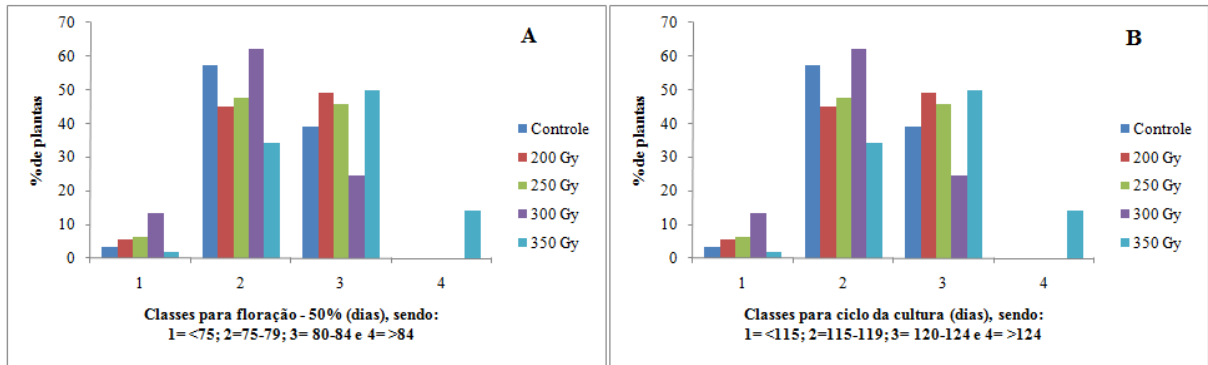


Figura 4- Distribuição de frequência de plantas da cv. BRS Fronteira, submetidas a diferentes doses de radiação para os caracteres floração (A) e ciclo da cultura (B). Pelotas/RS, UFPel - 2009.

CONCLUSÕES

Em consequência do exposto, pode-se concluir que a irradiação nas sementes afetou vários parâmetros morfofenológicos nas plantas, sendo que a dose de 350 Gy reduziu a altura das plantas e a espessura do colmo, o comprimento das panículas, o número de grãos por panícula e o peso de 1000 grãos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRUZ, C.D. **Programa Genes: Aplicativo computacional em genética e estatística**. Versão Windows – 2007, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FONSECA, J. R.; CUTRIM, V. A; RANGEL, P. H. N. **Descritores Morfo Agronômicos e Fenológicos de Cultivares Comerciais de Arroz de Várzeas**. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 25p. (Documentos, 141).

FU, H. W.; LI, Y. F; SHU, Q. Y. A revisit of mutation induction by gamma rays in rice (*Oryza sativa* L.): implications of microsatellite markers for quality control. **Molecular Breeding**. v. 22, p.281-288, 2008.

GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JR. de, A. M. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, 899p.

GUIMARÃES, E. D.; ANDO, A. Efeitos da aplicação dos mutagênicos azida sódica e radiações gama em sementes de arroz. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.5, p.619-622, 1980.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ (IRGA). Resultados da Safra de Arroz Apontam Produção Crescente no RS. **Lavoura Arrozeira** (Porto Alegre, RS), v. 57, n.450, p.7-8, set. 2009.

KHUSH, G. S. Aumento do potencial genético de rendimento do arroz: perspectivas e métodos. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ARROZ PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE, 1994, Goiânia. Arroz na América Latina: perspectivas para o incremento da produção e do potencial produtivo. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1995. p.13-29.

MIKAELSEN, K. Mutagenic effectiveness and efficiency of gamma rays, fast neutrons and ethyl methane sulphonate in rice. In: RICE BREEDING WITH INDUCED MUTATIONS III, IAEA, 1969, New Delhi **Proceedings...** Vienna: FAO/IAEA Division 1970, p. 91-96.

RODRIGUES, L. R. F.; ANDO, A. Caracterização e avaliação de três grupos de arroz-de-sequeiro de diferentes procedências por meio da sensibilidade à radiação gama. **Bragantia**, Campinas, v.61, n.1, p.17-23, 2002.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas, RS: SOSBAI, 2007.161p.

PINHEIRO, B. da S. Características morfológicas da planta relacionada à produtividade. In: SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. de A. A Cultura do Arroz no Brasil. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2006. v.2, p. 209-256.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O melhoramento genético vegetal é a arte e a ciência da troca dos fatores hereditários das plantas. Ele foi praticado pela primeira vez quando o homem aprendeu a introduzir e/ou escolher as melhores plantas, assim estes foram os primeiros métodos de melhoramento genético. Os resultados dos melhoristas na seleção de plantas, sem dúvida contribuem significativamente para o desenvolvimento de muitas espécies cultivadas. As variações herdáveis em plantas originam-se de recombinações gênicas após a hibridação, mutações e variações de ploidia. Por estes métodos, as espécies vegetais têm alcançado os seus estágios de desenvolvimento. A evolução dos métodos de melhoramento, aliada à implementação de práticas agrícolas eficientes, permitiu que a produção mundial de arroz (*Oryza sativa*) triplicasse nas três últimas décadas.

Em virtude do arroz ser uma gramínea anual de ciclo curto, muitas gerações são necessárias para o estudo e o lançamento de novas cultivares. Como visto neste trabalho, a irradiação afeta vários parâmetros morfofenológicos das plantas, porém para determinar se estas alterações são positivas ou negativas e se ocorrerá transmissão para progênie, será necessária a continuidade do trabalho com as sementes obtidas de cada planta M_1 .

Assim sendo, a biotecnologia é uma aliada dos programas de melhoramento clássico, capaz de introduzir novas características às plantas selecionadas e aceitas comercialmente, de uma maneira rápida e precisa. Além disso, o recente avanço no seqüenciamento do genoma do arroz ampliou as possibilidades do desenvolvimento de novas estratégias de manipulação genética em cereais em geral.

REFERÊNCIAS

- AHLOOWALIA, B. S.; MALUSZYNSKI, M. Induced mutations – A new paradigm in plant breeding. **Euphytica**. v.118, p.167-173, 2001.
- BAHL, J. R.; GUPTA, P. K. Chlorophyll mutations in mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v.63, p.23-26, 1982.
- BERTAN, I. Distância genética como critério para escolha de genitores em programas de melhoramento de trigo (*Triticum aestivum* L.). Pelotas, 2005. 93p. **Dissertação** (Mestrado). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel/Universidade Federal de Pelotas.
- BROCK, R. D. The role of induced mutations in plant improvement. **Radiation Botany**, v.11, p.181-196, 1971.
- BROCK, R. D. Mutagenesis and crop improvement. In: CARLSON, P.S. **Biology of crop productivity**. New York,: Academic, 1980. p.383-409.
- BUMP, E. A.; YU, N. Y.; BROWN, J. M. Radiosensitization of hypoxic tumor cells by depletion of intracellular glutathione. **Science**, Washington. v.217, p.544-545, 1982.
- CONGER, B.V.; CARABIA, J.V. Modification of the effectiveness of fission neutrons versus ⁶⁰Co gamma radiation in barley seeds by oxygen and seed water content. **Radiation Botany**, Great Britain, v.12, p.411-420, 1972.
- CUTRIM, V. dos A.; MOURA NETO, F. P.; RANGEL, P. H.; FAGUNDES, P. R. R.; MAGALHÃES JR, A. M. de; CAMPOS, G. W. de; NEVES, P. de C. F.; FONSECA, J. R.; MORAIS, O. P. de; BASSINELLO, P. Z. **BRS Fronteira: cultivar de arroz irrigado para os Estados do Rio Grande do Sul e São Paulo**. Santo Antônio de Goiás, GO: EMBRAPA-CNPAP, 2006. 4p. (EMBRAPA- CNPAP: Comunicado Técnico, 124).
- FAGUNDES, P. R. R.; MAGALHÃES JR, A. M. de; FRANCO, D. F.; RANGEL, P. H.; CUTRIM, V. dos A.; NEVES, P. de C. F.; MOURA NETO, F. P.; SOARES, R. C. **BRS Querência: precocidade, produtividade e qualidade para a orizicultura gaúcha**. Pelotas, RS: EMBRAPA-CPACT, 2005. 6p. (EMBRAPA- CPACT: Circular Técnica, 47).

GAZZANEO, L. R. S.; COLAÇO, W.; KIDO, E. A.; ISEPPON, A. M. B.; KIDO, L. M. H. Efeito da Radiação Gama Sobre o Desenvolvimento *in vitro* de *Vigna unguiculata*. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, n.2, p.27-29, 2007.

GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JR. de, A. M. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, 899p.

GUDKOV, I. N.; GRODZINSKI, D. M. Cell radiosensitivity variation in synchronously-dividing root meristems of *Pisum sativum* L. and *Zea mays* L. during the mitotic cycle. **International Journal of Radiation Biology**, v.41, n.4, p.401-409, 1982.

IQBAL, J.; ZAHUR, M.S. Effects of acute gamma irradiation and developmental stages on growth and yield of rice plants. **Radiation Botany**, Great Britain, v.15, p.231-240, 1975.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ (IRGA). Resultados da Safra de Arroz Apontam Produção Crescente no RS. **Lavoura Arrozeira** (Porto Alegre, RS), v. 57, n.450, p.7-8, set. 2009.

KENNED, G.; BURLINGAME, B. Analysis of food composition data on Rice from a plant genetic resources perspective. **Food Chemistry**, Barking, v.80, n.4, p. 589-596, Apr.2003.

KUMAR, G. Modification of radiation induced genetic damage and impaired DNA synthesis by thiourea treatment in *Solanum incanum* L. **Cytologia**, Tokyo, v.56, p.117-123, 1991.

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

MARTINS, A. F.; ZIMMER, P. D.; OLIVEIRA, A. da C.; CARVALHO, F. I. F. de; VIEIRA, E. A.; CARVALHO, M. F. de; MARTINS, L. F.; Fonseca, F. S. da Variabilidade para caracteres morfológicos em mutantes de arroz. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, p. 1215-1223, 2005.

MATSUDA, F.; MIYAZAWA, H.; WAKASA, K. Quantification of indole-3-acetic acid and amino acid conjugates in rice by liquid chromatography-electrospray ionization-tandem mass spectrometry. **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**. v.69, p.778-783, 2005.

PALOMBI, M. A.; LOMBARDO, B.; CABONI, E. *In vitro* regeneration of wild pear (*Pyrus pyraeaster* Burgsd) clones tolerant to Fe-chlorosis and somaclonal variation analysis by RAPD markers. **Plant Cell Reports**, v.26, p.489-496, 2007.

PATADE, V. Y.; SUPRASANNA, P. Radiation induced *in vitro* mutagenesis for sugarcane improvement. **Sugar Technology**, v.10, p.14-19, 2008.

PIMENTEL, M. C. G. **Indução de aberrações cromossômicas estruturais em milho (*Zea mays* L.) por radiação gama.** Viçosa, 1990. 86p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa.

PLEWA, M. J.; DOWD, P. A.; SCHY, W.E.; WAGNER, E. D. Induced forward mutation at the *yg2* locus and a comparison with the ABCW relationship. **Maize Genetics cooperation Newsletter**, Columbia, v.57, p.147-149, 1993.

QUECINI, V.; BERENSCHOT, A. S.; ZUCCHI, M. I.; TULMANN-NETO, A. Mutagenesis in *Petunia x hybrida* Vilm. and isolation of a novel morphological mutant. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.20, p.95-103, 2008.

SANTOS, M.V.F.D.L. **Resposta à radiação gama em sementes de milho (*Zea mays* L.) sob a influência de agentes físicos e químicos.** 1993. 131f. Dissertação (Mestrado Genética e Melhoramento) Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

VAN HARTEN, A. M. *Mutation Breeding: Theory and Practical Applications.* Cambridge Univ. Press, Cambridge. 1998.

VIEIRA, G. S.; GOULART, L. R.; VIGLIONI, P. J. C. et al. Modification of morphofolical traits of common beans through gamma-ray irradiation: Analysis of three consecutive generations. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.18, p.599-604, 1995.