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

Dissertação

ALTERAÇÕES MORFOFISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS EM SEMENTES DE MAMONA (*Ricinus communis* L.) SUBMETIDAS À RADIAÇÃO GAMA COBALTO^{60}.

Amanda Moreira Lopes

Pelotas, 2012.

AMANDA MOREIRA LOPES

ALTERAÇÕES MORFOFISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS EM SEMENTES DE MAMONA (*Ricinus communis* L.) SUBMETIDAS À RADIAÇÃO GAMA COBALTO^{60}.

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pelotas, sob orientação da Prof^{a}. Dr^{a}. Vera Lucia Bobrowski, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, para a obtenção do título de Mestre em Ciências (M.S.).

Orientador: Profa. Dr^{a}. Vera Lucia Bobrowski

Co-orientadores: Dr. Sérgio Delmar dos Anjos e Silva
Dr. Sidnei Deuner

Pelotas, 2012.

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

L864a Lopes, Amanda Moreira

Alterações morfofisiológicas e bioquímicas em sementes de mamona (*Ricinus communis* L.) submetidas à radiação gama cobalto^{60} / Amanda Moreira Lopes; orientador Vera Lucia Bobrowski ; co-orientadores Sérgio Delmar dos Anjos e Silva , Sidnei Deuner. Pelotas, 2012.57f. : il..- Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal. Instituto de Biologia Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2012.

1.Enzimas antioxidantes 2.IAC80 3.Radiossensibilidade I.Bobrowski, Vera Lucia(orientador) II. Título.

CDD 633.85

AMANDA MOREIRA LOPES

Banca examinadora:

Profª Drª Vera Lucia Bobrowski.....

Prof. Dr. Dario Munt de Moraes.....

Dr. Eberson Diedrich Eicholz.....

Dedico este trabalho aos meus pais
e a minha irmã presentes em todos os momentos

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por iluminar sempre meu caminho, pela minha família e vida.
Aos meus pais, Antonio e Silvia, responsáveis por quem eu sou e que nunca mediram esforços para tornar possível e realidade os meus sonhos, mas principalmente pela amizade e confiança em mim depositadas.
A minha irmã Fernanda, pela paciência, pelo carinho, amizade, dedicação e ajuda nas estatísticas e revisões.
À orientadora e amiga Vera Lucia Bobrowski, pela a orientação na construção desta dissertação, pelo apoio em todos os momentos de dúvidas, pela confiança no meu trabalho.
À professora Luciana Bicca Dode, pelo apoio, amizade e conselhos desde o tempo da graduação.
Ao pesquisador, Sérgio Delmar dos Anjos e Silva pela ajuda na obtenção da matéria-prima, pelas conversas e conselhos.
Ao professor Sidnei Deuner, pela ajuda nas análises enzimáticas, conselhos, amizade, enfim por tudo.
Ao professor Altair do Centro de Oncologia da Faculdade de Medicina, pela disponibilidade do aparelho para irradiarmos o meterial e pelo ensinamentos.
À Marilia Mercia e Isabel Borba, pelas diversas vezes que me ajudaram nas análises.
À Vivian e à Gabi, estagiárias do Laboratório de Genética, pela ajuda, pelos momentos divertidos nos congressos.
Aos 10 mais, pelos conhecimentos compartilhados, pelas risadas, pelo apoio e conversas.
Ao Álvaro laboratorista do Departamento de Zoologia e Genética por toda a ajuda e momentos de descontração.
À Cristina Cuchiara e a Clarissa Borges que me ajudaram quando comecei a fazer estágio no LabGen, e pelas dicas dadas sobre o processo seletivo do mestrado e nas disciplinas.
Aos meus amigos, que de uma forma ou de outra sempre estiveram presentes, muito obrigada por me mostrar que as amizades, mesmo não estando em todos os momentos disponíveis, são muito importantes em nossas vidas.
À UFPel, pela oportunidade do conhecimento.
Ao Departamento de Zoologia e Genética, especialmente ao Laboratório de Genética, por me receber e ter possibilitado a realização deste trabalho.
Ao Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, pelos ensinamentos científicos, confiança e seriedade. Aos professores e profissinais sempre disponíveis a nos ensinar e ajudar quando necessário.
À CAPES, pela oportunidade e concessão da bolsa de estudo.
Enfim, a todos os que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito OBRIGADA!!

“Não ser ninguém exceto você mesmo, num mundo que se esforça dia e noite para torná-lo igual a todo mundo é lutar a pior das batalhas que todo ser humano pode enfrentar e nunca deixa de lutar.”

E.E. Cummings

RESUMO

LOPES, Amanda Moreira. **Alterações morfofisiológicas e bioquímicas em sementes de mamona (*Ricinus communis* L.) submetidas à Radiação gama Cobalto^{60}.** 2012. 56f. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

O presente estudo teve por objetivo avaliar a radiossensibilidade de sementes de mamona cultivar IAC80 submetida a diferentes doses de radiação gama cobalto^{60}. Primeiramente foi feita a remoção mecânica da carúncula das sementes, foram pré-embebidas por 24h em água destilada e irradiadas com radiação gama cobalto^{60} (0, 50, 100, 150 e 200 Gy) e posteriormente semeadas em bandejas de isopor contendo solo. Foram feitos testes de condutividade elétrica, emergência e índice de velocidade de emergência, análises de crescimento e análise das enzimas antioxidantes (SOD, CAT e APX) avaliadas nas folhas e nas raízes de plântulas de mamona. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey (5%). A condutividade elétrica não foi afetada pelas doses de radiação utilizadas. Os resultados mostraram que a radiação gama afetou negativamente o desenvolvimento das plântulas, sendo que a dose de 200Gy reduziu significativamente a emergência e o índice de velocidade de emergência. As características morfofsiológicas apresentaram redução do tamanho das plântulas conforme o aumento das doses de radiação. Na atividade das enzimas antioxidantes, a superóxido dismutase apresentou diferença significativa apenas na dose de 200Gy, para as folhas, não sendo significativa nas raízes. A atividade da enzima ascorbato peroxidase mostrou aumento da atividade nas folhas conforme o aumento da dose de radiação. Já a atividade da catalase não mostrou diferença significativa quando exposta a diferentes doses de radiação gama tanto em folhas quanto em raízes. A partir do exposto pode-se concluir que as doses de radiação gama Co^{60} utilizadas neste estudo mostraram ter um efeito negativo sobre as características morfofisiológicas avaliadas neste trabalho. Quanto à atividade das enzimas antioxidantes (SOD e APX), a parte aérea das plântulas de mamona se mostrou mais sensível às doses de radiação gama Co^{60} utilizadas.

Palavras-chave: enzimas antioxidantes, IAC 80, radiossensibilidade, mamoneira.

ABSTRACT

LOPES, Amanda Moreira. **Morphophysiological and biochemical changes in castor bean seeds (*Ricinus communis L.)* subjected to gamma Radiation Cobalt-60.** 2012. 56f. Dissertation (Master Degree) – Paper (Master of Science) Post Graduation Program in Plant Physiology of Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

This study aimed to evaluate the radiosensitivity of castor bean seeds cultivar IAC80 subjected to different doses of cobalt^{60} gamma radiation. Firstly, the mechanical removal of the caruncle seeds was performed, after being pre-soaked for 24 hours and irradiated with cobalt^{60} gamma radiation (0, 50, 100, 150 and 200Gy) and, then, sown in polystyrene trays containing soil. Parameters such as electrical conductivity, emergence index and emergence rate, growth parameters and analysis of antioxidant enzymes (SOD, CAT and APX) measured/assessed in leaves and roots of castor bean plantlets /seedlings were evaluated. The results were submitted to ANOVA and the averages compared through Turkey test (5%). The electrical conductivity was not affected by the radiation doses used. The results showed that gamma radiation negatively affected plantlets/seedlings development, given that the dose of 200Gy significantly reduced emergence and speed of emergence index. The growth parameters showed a reduction in the plantlets size with the increase of radiation doses. The activities of antioxidant enzymes, superoxide dismutase showed a significant difference only at a dose of 200Gy to the leaves, not being significant to the roots. The activity of the enzyme ascorbate peroxidase showed increased activity in the leaves as the radiation doses were also increased. The activity of catalase showed no significant difference when exposed to different doses of gamma radiation in both leaves and roots. From the foregoing it can be concluded that the doses of Co60 gamma radiation used in this study were shown to have a negative effect on the morphological and physiological characteristics evaluated in this work. Regarding the activity of antioxidant enzymes (SOD and APX), the shoots of seedlings of castor bean was more sensitive to gamma radiation Co60 used.

Key-words: antioxidant enzymes, IAC 80, radiosensitivity.

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

APX = ascorbato peroxidase

CAT = catalase

CE = condutividade elétrica

CV = cultivar

DAS = dias após a semeadura

E% = porcentagem de emergência

EDTA = ácido etilenodiamino tetra-acético

EROs = espécies reativas de oxigênio

Gy = grays

H_2O_2 = peróxido de hidrogênio

H_2O = água

IVE = índice de velocidade de emergência

O_2 = oxigênio molecular

$O_2^{\bullet-}$ = radical superóxido

$^1O_2$ = oxigênio singlet

$OH^{\bullet}$ = radical hidroxila

PA = parte aérea

PVPP = polivinilpolipirrolidona

SOD = superóxido dismutase

TBA = ácido tiobarbitúrico

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Semente de mamona. Pelotas/RS. UFPel, 2012.....**6**

Figura 2 - Planta de mamona. Pelotas/RS. UFPel, 2012.....**6**

Figura 3 - Fonte de Colbalto^{60} "Eldorado 78", comandos do equipamento (A), equipamento (B), local onde a fonte fica exposta (C). Pelotas/RS, UFPel, 2012.....**19**

Figura 4 - Disposição das bandejas na casa de vegetação na Embrapa CPACT. Pelotas/RS. Embrapa, 2012.....**20**

Figura 5 - Medição das plântulas. Pelotas/RS. UFPel, 2012.....**21**

Figura 6 - Condutividade elétrica ($\mu Scm^{-1}\ g^{-1}$) em sementes de mamona, cv IAC 80, submetidas a diferentes doses de radiação gama Co^{60}, nos períodos de 3h, 6h e 24h de incubação. Médias seguidas pela mesma letra comparando as doses de radiação em cada período não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. Pelotas/RS. UFPel, 2012.....**25**

Figura 7 - Porcentagem de emergência (A) e índice de velocidade de emergência (B) de plântulas de mamona, submetidas a diferentes doses de radiação gama Co^{60}. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). Barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. Pelotas/RS. UFPel, 2012.....**26**

Figura 8 - Comprimento da parte aérea (A) e das raízes (B) de plântulas de mamona, submetidas a diferentes doses de radiação gama Co^{60}. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). Barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. Pelotas/RS. UFPel, 2012.....**28**

Figura 9 – Comprimento total das plântulas de mamona 21 dias após a semeadura DAS. Pelotas/RS. UFPel, 2012.....**29**

Figura 10 - Massa fresca da parte aérea (A) e da raiz (B), de plântulas de mamona submetidas a diferentes doses de radiação gama Co^{60}, avaliadas aos 21 DAS. Médias seguidas por letra distinta diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). Barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. Pelotas/RS. UFPel, 2012.....**30**

Figura 11 - Massa seca da parte aérea (A) e massa seca da raiz (B) de plântulas de mamona, submetidas a diferentes doses de radiação gama Co^{60}, avaliadas aos 21 DAS. Médias seguidas por letra distinta diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). Barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. Pelotas/RS. UFPel, 2012. .....**31**

Figura 12- Atividade específica da enzima SOD, em folha (A) e em raízes (B) de plântulas de mamona submetidas a diferentes doses de radiação gama Co^{60}. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Barras

representam o erro padrão da média de quatro repetições. Pelotas/RS. UFPel, 2012.....**33**

Figura 13 - Atividade específica da enzima APX, em folha (A) e em raízes (B) de plântulas de mamona submetidas a diferentes doses de radiação gama Co^{60}. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. Pelotas/RS. UFPel, 2012.....**34**

Figura 14 - Atividade específica da enzima CAT, em folha (A) e em raízes (B) de plântulas de mamona submetidas a diferentes doses de radiação gama Co^{60}. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. Pelotas/RS. UFPel, 2012.....**35**

SUMÁRIO

RESUMO ..... **VII**

ABSTRACT ..... **VIII**

1. INTRODUÇÃO GERAL **143**

2.OBJETIVOS **16**

2.1 OBJETIVO GERAL 16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 16

3. REFERENCIAL TEÓRICO **17**
3.1 ASPECTOS BOTÂNICOS E FISIOLÓGICOS: ESPÉCIE *Ricinus communis* L. 17
3.2 PRODUTOS OBTIDOS DA MAMONA 19
3.2.1 ÓLEO DE MAMONA 19
3.2.2 TORTA DE MAMONA 20
3.2.3 POLÍMERO 20
3.2.4 GLICERINA 20
3.2.5 RESTOS VEGETAIS 21
3.2.6 RICINA 21
3.3 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA MAMONA 21
3.3.1PANORAMA MUNDIAL 22
3.3.2 SITUAÇÃO BRASILEIRA 23
3.3.3 PRODUÇÃO DE MAMONA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL 24
3.4 PROGRAMAS DE MELHORAMENTO GENÉTICO DA MAMONA 24
3.5 USO DE MUTAGÊNICOS NO MELHORAMENTO VEGETAL 27

4. MATERIAL E MÉTODOS **30**
4.1 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA 31
4.2 EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS EM CASA DE VEGETAÇÃO 31
4.3 ÍNDICE DE VELOCIDADE DE EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS EM CASA DE VEGETAÇÃO 32
4.4 COMPRIMENTO DE PARTE AÉREA E RAÍZES DE PLÂNTULAS 32
4.5 MASSA FRESCA DAS PLÂNTULAS 33
4.6 MASSA SECA DAS PLÂNTULAS 33
4.7 ATIVIDADE DE ENZIMAS ANTIOXIDANTES 33
4.7.1 ENZIMA SUPEROXIDO DISMUTASE 34
4.7.2 ENZIMA ASCORBATO PEROXIDASE 34
4.7.3 ENZIMA CATALASE 34
4.8 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL 35

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO **36**
5.1 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA 36
5.2 EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS EM CASA DE VEGETAÇÃO 37
5.3 ÍNDICE DE VELOCIDADE DE EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS EM CASA DE VEGETAÇÃO 37
5.4 COMPRIMENTO DE PARTE AÉREA E RAÍZES DE PLÂNTULAS 39
5.5 MASSA FRESCA E SECA DAS PLÂNTULAS 41
5.6 ATIVIDADE DE ENZIMAS ANTIOXIDANTES 44
5.6.1 ENZIMA SUPEROXIDO DISMUTASE 44
5.6.2 ENZIMA ASCORBATO PEROXIDASE 45
5.6.3 ENZIMA CATALASE 46

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS **49**

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **50**

1. INTRODUÇÃO

A mamoneira é uma oleaginosa pertencente à família Euphorbiaceae, gênero *Ricinus* e espécie *Ricinus communis* L. (WEISS, 1983). De origem tropical, a planta é proveniente da região Leste da África, provavelmente da Etiópia, tendo ocorrência natural desde a latitude 40º Norte até 40º Sul, sendo cultivada comercialmente em mais de 15 países.

No Brasil, foi introduzida pelos portugueses com finalidade de utilizar o óleo para iluminação e lubrificação dos eixos das carroças. Segundo Savy Filho (2005) a mamona é uma planta de utilização exclusivamente industrial, cujo principal produto, o óleo de mamona, abre um leque de possibilidades para a obtenção de diferentes derivados. A torta de mamona ou o farelo, obtidos durante o processamento industrial para obtenção do óleo é outro produto valioso para a aplicação direta na agricultura como adubo orgânico.

A preferência pelo clima tropical facilitou o seu alastramento, sendo atualmente encontrada em quase toda a extensão territorial, como se fosse uma planta nativa (SANTOS et al., 2007).

A produção de mamona pode ser realizada em quase todo o País, sendo que no semi-árido e na Região Nordeste seu custo de produção é baixo, pois apresenta tolerância à seca e facilidade de manejo, e por isso sua produção constitui uma das poucas opções agrícolas para a geração de renda no âmbito de agricultura familiar. Em outras regiões do País, o cultivo de mamona também é viável podendo-se obter altas produtividades devido à maior disponibilidade de água e solos férteis, complementados com o uso de boas tecnologias de cultivo. Nessas regiões a oleaginosa enfrenta competição com outras culturas que possuem maior rentabilidade econômica, embora seja uma alternativa para o sistema de rotação de

culturas que visam à sustentabilidade econômica e ambiental dos biomas (SANTOS et al., 2007).

No Estado do Rio Grande do Sul a mamona tem boa adaptação às condições edafoclimáticas, onde o cultivo deve ser feito em períodos livres de geadas, com temperatura superior a 10°C e menor que 40°C (WREGE et al., 2007). Levando em conta seus índices de desenvolvimento e produtividade em cultivos no Estado, essa cultura constitui uma alternativa promissora para o desenvolvimento econômico e social na Região Sul (SILVA, et al., 2009).

Porém, até agora, não existem cultivares de mamona desenvolvidas por um programa específico para o Rio Grande do Sul. As cultivares que estão sendo utilizadas por agricultores e órgãos de pesquisa, como a IAC 80, são introduzidas nos programas de melhoramento da CATI/SP, IAC/SP e Sementes Armani S/A (SILVA et al., 2007).

Por isso a importância da busca por características agronomicamente interessantes com potencial genético e produtivo a partir das cultivares existentes adequadas às condições do Estado. Nesse contexto, a indução de mutação tornou-se uma ferramenta muito interessante que pode auxiliar aos programas de melhoramento com a intenção de gerar maior variabilidade genética, a qual é prerrogativa inicial para o melhoramento genético de qualquer espécie (GAUL, 1961).

Dentre as fontes de indução de mutação, a radiação gama é considerada como uma das principais (PIMENTEL, 1990). De acordo com a literatura cerca de 2.200 variedades de plantas cultivadas foram obtidas utilizando irradiação sendo que 64% destas foram induzidas por radiação gama (AHLOOWALIA et al., 2004; WU et al., 2005).

As radiações ionizantes podem causar alterações por efeito direto ou indireto (BAYO, 2001). No mecanismo direto a radiação age diretamente sobre a molécula de DNA, enquanto no mecanismo indireto age sobre as moléculas de água presentes na célula, quebrando-as e gerando espécies reativas oxigênio (EROs), as quais por sua vez poderão atingir o DNA (OKUNO, 1988).

Entretanto a resposta do material biológico submetido à radiação (radiosensibilidade) depende de uma variedade de interações entre o mutagênico e o material biológico, além de outros fatores, dentre os quais estão: condições de armazenamento, como temperatura e período após a irradiação (HEASLIP, 1959);

genótipo dos indivíduos (KILLION e CONSTANTIN, 1972; BAHL e GUPTA, 1982); e dosagem da radiação (SANTOS, 1993), além da ação dos mecanismos de reparo de dano como as enzimas Superóxido Dismutase (SOD), Catalase (CAT) e Ascorbato Peroxidase (APX).

A pesquisa com a cultura de mamona ainda é incipiente, bem como o uso de mutações induzidas nessa cultura. Assim, todo o trabalho realizado no sentido do entendimento da radiossensibilidade, das respostas fisiológicas e enzimáticas da planta de mamona em relação à radiação gama Co^{60}, contribuirá para os programas de melhoramento genético, para o desenvolvimento e aproveitamento do grande potencial que a cultura oferece.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a radiossensibilidade de sementes de mamona cv IAC80 a diferentes doses de radiação gama cobalto^{60}.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar as respostas morfofisiológicas de sementes irradiadas com diferentes doses de radiação gama Co^{60}.

Analisar a atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) em plântulas oriundas de sementes de mamona submetidas a diferentes doses radiação gama Co^{60}.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Aspectos Botânicos e Fisiológicos: espécie *Ricinus communis* L.

A mamona pertence à classe Dicotiledoneae, subclasse Archichamydae, ordem Geraniales, família Euphorbiaceae, gênero *Ricinus* e espécie *Ricinus communis* L. (WEISS, 1983), sendo uma das mais de 7000 espécies da família Euphorbiaceae. É possivelmente originária da antiga Abissínia atual Etiópia, no continente africano, sendo cultivada desde as primeiras civilizações e é hoje, disseminada por quase todo o mundo. A expansão do cultivo ocorreu, principalmente devido a sua capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais e à importância do óleo extraído de suas sementes (KRUG e MENDES, 1942; BELTRÃO et al., 2007).

Também conhecida popularmente por carrapateira, ricinio, palma christi, *castor bean*, baforeira e baga; é uma espécie perene que pode viver mais de 12 anos e atingir até 10 metros. A mamoneira é uma planta com elevada complexidade morfofisiológica, apresentando crescimento dicotômico, do tipo indeterminado, além de alométrico e heregônio, com grandes variações no porte, no ciclo, na sexualidade e em outros aspectos, nas seis subespécies existentes, nos 25 tipos botânicos, com mais de três mil cultivares identificadas pelo mundo (STREET e OPIK, 1974; WEISS, 1983; BELTRÃO, et al. 2007).

Conforme descrito por Lorenzi e Matos (2002) a mamoneira se apresenta como arbusto de folhas grandes, classificadas como palmatilobadas. Os frutos são cápsulas, ou baga, do tipo tricoca de deiscência explosiva, muito variáveis em relação a tamanho, coloração e presença ou não de espinhos, com três lojas cada uma com uma com um óvulo, que quando fecundado produz uma semente, podendo originar até três sementes por fruto. As sementes são constituídas de tegumento, rafe, micrópila, carúncula, endosperma, cotilédones e eixo embrionário (Figura 1)

(MAZZANI, 1983). Essa espécie apresenta uma raiz axial e raízes secundárias que podem chegar até 2,0 m de profundidade, seu caule é arredondado, liso, esverdeado e recoberto com cera, folhas grandes de coloração verde-escuro, com 5-11 lóbulos, flores agrupadas na panícula terminal (cacho), com flores masculinas (na região basal da inflorescência), femininas (região apical) e hermafroditas (Figura 2) (SAVY FILHO, 1999, 2005; AZEVEDO e LIMA, 2001, 2007; BELTRÃO et al. 2001).

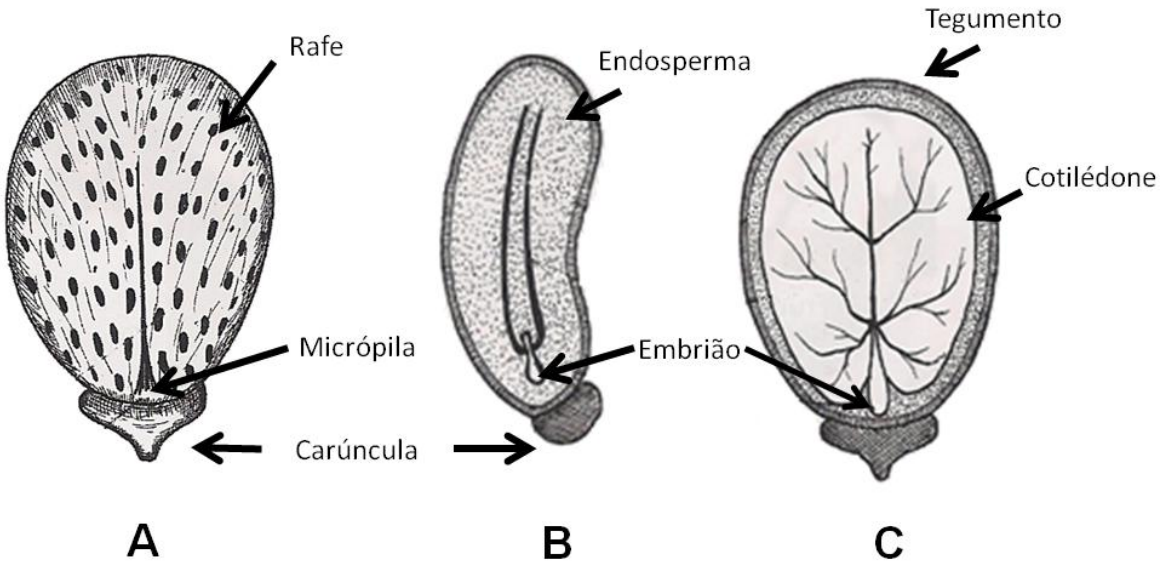

Figura 1 - Semente de mamona. Pelotas/RS. UFPel, 2012. FONTE: Beltrão e Azevedo (2007), modificado.

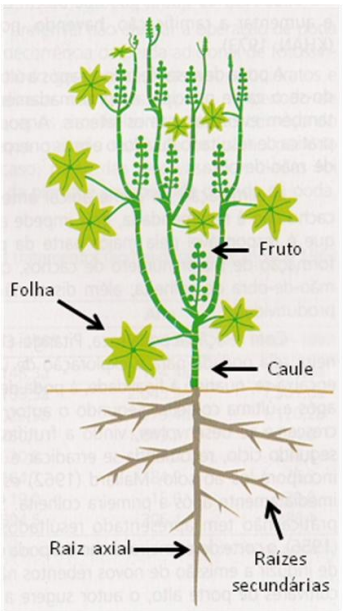

Figura 2 – Planta de mamona. Pelotas/RS. UFPel, 2012. FONTE: Beltrão et al. (2007), modificado.

Ela apresenta metabolismo fotossintético do tipo C3, ineficiente, com elevada taxa de fotorespiração, reação fotoperiódica a dias longos, ampla plasticidade fenotípica e adaptação a diferentes ambientes (WEISS, 2000; BELTRÃO e AZEVEDO, 2007; AIRES et al, 2011).

É uma planta de metabolismo especial, produzindo diversas substâncias de natureza protéica, como a ricina, que existe somente no endosperma das sementes, o complexo CB-1 A, alergênico, e o alcalóide ricinina, presente em todas as partes da planta (FREIRE, 2001).

3.2 Produtos obtidos da mamona

Segundo Anthonisen (2007) para o produtor o mais interessante é agregar valor à produção de mamona, portanto é fundamental o aprimoramento da produção agrícola; podendo assim explorar a potencialidade de derivados do óleo e de co-produtos da cadeia produtiva da mamona. Dentre os produtos obtidos pode-se citar: o óleo, a torta de mamona, polímero, glicerina, restos vegetais e ricina.

3.2.1 Óleo de mamona

O óleo de mamona é obtido da semente da planta *Ricinus communis* L. e possui características químicas atípicas quando comparadas à maioria dos óleos vegetais (CANGEMI, 2010).

O conteúdo de óleo da mamona em suas sementes varia conforme as cultivares, de 40% a 60%, com relação ao peso seco das sementes (WEISS, 1983; VIEIRA, 1997).

A aplicação do óleo de mamona estende-se a diversos setores da indústria química, farmacêutica, têxtil, de celulose e papel.

Devido as suas propriedades físico-químicas (grupamentos hidroxila, inerte à borracha, metais ou plásticos, baixo ponto de solidificação, resistência ao escoamento e viscosidade elevada), o óleo vem sendo utilizado como lubrificante para motores de alta rotação, carburante de motores a diesel e como fluido hidráulico em aeronaves (ABOISSA, 2005). Tais características permitem produzir substâncias químicas de vasta aplicação nos mais diversos setores industriais. O ácido undecilênico, obtido no craqueamento térmico do ácido ricinoléico, serve de matéria-prima para a produção de rilsan, o qual é utilizado para a produção do nylon

11. Nesse processo térmico também é gerado heptaldeído, cujo emprego é comum nas indústrias de cosméticos e alimentos (ANTHONISEN, 2007).

3.2.2 Torta de mamona

A torta de mamona, produzida durante a extração do óleo, é um importante subproduto da cadeia produtiva da mamona. Seu uso predominante é como adubo orgânico, já que se trata de uma rica fonte de nitrogênio (GOMES, 2007). Apesar de apresentar um alto teor de proteínas, não se recomenda sua utilização para ração animal, uma vez que apresenta três fatores antinutricionais, uma proteína tóxica denominada ricina, um conjunto de proteínas alergênicas conhecidas por CB-1A e um alcalóide de baixa toxidez chamado ricinina (SEVERINO, 2005).

3.2.3 Polímero

Derivado do óleo de mamona temos outro subproduto de grande importância o polímero, que se tem mostrado compatível com os tecidos vivos, apresentando aspectos favoráveis de processabilidade e flexibilidade de formulação, além de excelentes propriedades estruturais. Esse material não libera vapores e radicais tóxicos quando implantado e apresenta baixo custo. Existem registros de implantação do polímero de mamona em defeitos ósseos, com resultados clínico e biológico satisfatórios (ANTHONISEN, 2007).

3.2.4 Glicerina

A glicerina é basicamente absorvida pelo mercado nacional, na fabricação de cosméticos e farmacêuticos. A produção de aditivos oxigenados para combustíveis, em especial à gasolina, em substituição ao MTBE (metil-t-butil-éter), pode resolver o problema da proibição desse produto nos Estados Unidos da América. Outra aplicação é na área petroquímica como insumo na produção de acrilatos e outros derivados, gerando propeno, produto de demanda crescente no mercado brasileiro de plásticos. Além disso, a produção de intermediários para plásticos, como o propanodiol, podem ser gerados a partir do beneficiamento da glicerina (NAE, 2004).

Na área médica, o uso dos implantes ósseos vem se expandindo e um novo método de conservação de fragmentos ósseos utiliza a glicerina pura. O produto mostra-se eficaz na preservação de funções ósseas e demonstra poder de redução

da antigenicidade, baixo custo, preparo simples e facilidade de estocagem e utilização (ANTHONISEN, 2007).

3.2.5 Restos vegetais

As folhas de mamona servem como ativadores da secreção lática quando incorporadas à ração do gado leiteiro e, também, como alimento do bicho da seda. O caule e as folhas se prestam ao uso como matéria-prima para a obtenção de celulose e a fabricação de papel, bem como de inseticidas naturais, evitando a proliferação de insetos do solo, e as flores, que atraem as abelhas, são úteis como melíferas (BANCO DE DESENVOLVIMENTO DE MINAS GERAIS, 2000).

3.2.6 Ricina

A ricina é uma glicoproteína encontrada em sementes da mamona (*Ricinus communis* L.), classificada como uma filotoxina, e uma das substâncias protéicas mais tóxicas conhecidas, como as do tétano, botulismo e difteria. Está concentrada no endosperma das sementes e totalmente ausente nas outras partes da planta bem como do óleo extraído do grão (ANTHONISEN, 2007).

3.3 Importância Econômica da Mamona

Atualmente o mundo tem dado maior enfoque a fontes de energia limpa. Com isso a bioenergia vem sendo amplamente estudada, como um modelo conveniente a bioeconomia favorecendo a produção ambiental sustentável (SANTOS, 2010).

Com o aumento na demanda por combustíveis renováveis, é necessário um aumento na produção de espécies que forneçam matéria-prima em quantidade e qualidade suficiente para suprir o mercado. Dentre as espécies vegetais que apresentam grande potencial como fonte para produção de biodiesel, a mamona tem recebido grande destaque, por apresentar altos teores de óleo em seus grãos, por ser uma espécie resistente à seca, por ser adaptada a diferentes regiões, além de ser uma cultura que pode ser promovida no sistema de produção de agricultura familiar, ideal para regiões que estejam à margem do processo de desenvolvimento econômico (FANAN et al., 2009). Partindo–se desse viés social para a escolha da mamona, atualmente sabe-se, através de diferentes estudos, que ela pode ser plantada em várias regiões do País, desde o Sul até o Norte, desde que se obedeçam as suas exigências climáticas e que receba manejo adequado.

Outro fator que deve ter destaque é o fato da mamona não ser destinada à alimentação humana, sendo exclusivamente de uso industrial, diferentemente de outras espécies oleaginosas que apresentam elevados teores de óleo a exemplo da soja, girassol e amendoim, não havendo concorrência com tal mercado (PIRES, et al., 2004).

Da industrialização da mamona obtém-se como produto principal o óleo e, como subproduto a torta de mamona, onde de cada 100 kg de mamona em baga, obtêm-se, em geral, 45 kg de óleo e 50 kg de farelo e torta (COELHO, 1979).

O óleo de mamona é também utilizado em outros processos industriais: na fabricação de corantes, anilinas, desinfetantes, germicidas, óleos lubrificantes de baixa temperatura, colas e aderentes; serve de base para fungicidas, inseticidas, tintas de impressão, vernizes, nylon e matéria plástica (SANTOS et al., 2001).

3.3.1 Panorama Mundial

No mercado internacional a comercialização da mamona pode ser feita tanto na forma bruta e de pouco valor agregado (mamona em baga), quanto em formas intermediárias (óleo bruto ou refinado), ou ainda através da exploração de seus derivados de alto valor agregado (ácido graxo destilado de óleo de mamona desidratado, óleo de mamona hidrogenado, óleo de mamona sulfuricinado, ácido 12-hidróxido esteárico e outros, com usos diferenciados como poliuretanos, resinas plásticas, etc). No mercado internacional, o óleo é o principal produto comercializado, constituindo-se em matéria-prima industrial utilizada para obtenção de inúmeros produtos. O panorama atual demonstra que a demanda por óleo não é muito grande, pois o principal consumidor tem sido a indústria química fina (ricinoquímica) (KOURI et al., 2006).

Entre 1978 e 2004, a Índia, a China e o Brasil se mantiveram como os principais produtores mundiais de mamona em baga, tanto em termos de área colhida quanto em quantidade produzida. A participação desses países na área total mundial no período 1978 – 1982 foi em média de 74%, mantendo-se em crescimento até 1998 – 2002, quando essa participação foi da ordem de 90%, declinando ligeiramente para 89%, em 2004. Em termos de produção, a participação desses países no total mundial variou de 65%, na média de 1978 – 1982, para 93%, em 2004 (SANTOS e KOURI, 2006).

Em 2011, de acordo com estimativas da Conab (2011) e dados divulgados pela FAO (Food and Agriculture Organization), a Safra 2011 poderá ser de 1,6 milhões de toneladas que se comparada à safra de 2010 representa acréscimo de 1,0%. A Índia teve crescimento de 2,5% fato que assegura sua posição de líder mundial, a China em segundo lugar, com produção de 171,7 mil toneladas e o Brasil na terceira colocação, devendo produzir 132,7 mil toneladas.

O mercado mundial de mamona em baga sempre se mostrou muito reduzido, estando restrito a poucos países. Em 2004 o volume de transações realizadas no mercado internacional (exportações) movimentou apenas 24.225 toneladas de mamona em baga, algo que correspondeu a aproximadamente 2% da produção mundial (SANTOS et al., 2007).

Dados da safra de 2011 demonstram que a Índia é o principal produtor de mamona em baga (69,8%) seguindo da China e Brasil com respectivamente 10,4 e 8,3% da produção mundial (CONAB, 2011; FAO, 2006).

Diferentemente do mercado mundial de mamona em baga, o mercado de óleo de mamona atinge cifras significantes. De forma geral, o óleo é consumido em todos os países, sendo o consumo concentrado nos países mais industrializados. Em 2003, o volume das importações atingiu 48% do total da produção mundial de óleo, sendo os principais compradores a França, a Alemanha, Estados Unidos da América, Japão e China, responsáveis por 61% das importações mundiais. Em 2004, esses países mantiveram a posição de maiores compradores de óleo (63% das importações mundiais). Nesse mesmo ano, houve um aumento de, aproximadamente, 31% nas importações mundiais de óleo (FREIRE et al., 2007).

3.3.2 Situação Brasileira

A cultura de mamona sofreu grandes oscilações de área cultivada e quantidade produzida no período de 1978-2005, com tendências de declínio. O Brasil, que era em média, a segunda maior área colhida de mamona no mundo, nos períodos de 1978-1982 e 1983-1987, reduziu sua participação mundial de 28% (1978-1982) para 13% em 2004, ainda assim mantendo a terceira posição em área colhida. Em termos de produção, o Brasil já ocupou a primeira posição mundial no período de 1978-1982, quando contribuía com 32% do montante produzido (SANTOS et al., 2007).

A produção brasileira de mamona experimentou um período de declínio na década de 1990. A produção máxima de mamona em baga, atingida nessa década, foi em 1990, com a safra de 147.971 toneladas. A safra de 2005, da ordem de 161.468 toneladas, representa uma extraordinária recuperação da produção nacional em relação à safra de 1990.

Essa recuperação da produção pode ser uma resposta ao lançamento do Programa Nacional de Uso e Produção do Biodiesel, principal força propulsora ao aumento da área de plantio de mamona (KOURI et al., 2006). Porém, o boletim de outubro da Conab (2011) indicava uma redução na área plantada para safra 2011/12 em relação à safra 2010/2011, com uma redução de produção de 141,3 mil t para 135mil t em 2012 (CONAB, 2011).

No Brasil, o principal Estado produtor é a Bahia, com 140,3 mil hectares colhidos (safra 2010/2011) e uma produção de 99 mil toneladas, seguido pelos estados do Ceará e Minas Gerais (CONAB, 2011).

3.3.3 Produção de mamona no Estado do Rio Grande do Sul

A mamona é uma espécie com potencialidade para se desenvolver no Rio Grande do Sul, com apelo ambiental, econômico e social. Embora a área plantada ainda seja incipiente, poderá haver grande expansão nos próximos anos (WREGE, 2007).

A produtividade média observada tanto no sistema familiar quanto empresarial de produção gira em torno de 2.100 kg/ha, bem acima das demais regiões produtoras (MADAIL et al, 2007). Porém, visando atender a demanda de recomendações de cultivares de mamona adaptadas para a Região Sul do Brasil, a Embrapa Clima Temperado iniciou, em 2003, um trabalho que objetiva avaliar o desempenho agronômico de cultivares introduzidas (SILVA et al., 2007; ZUCHI et al. 2010).

3.4 Programas de melhoramento genético da mamona

Embora o cultivo de mamona seja de grande importância econômica para o País, é feito, em grande parte, utilizando sementes dos produtores, o que propicia alto grau de heterogeneidade e grande diversidade de tipos locais. A utilização de sementes não selecionadas previamente ocorre na maioria das grandes regiões produtoras de mamona, o que pode levar a uma baixa produtividade, alto nível de

suscetibilidade às principais doenças e pragas e ao aparecimento de várias características agronomicamente indesejáveis (FREIRE et al., 2007).

Por meio do melhoramento genético é possível a obtenção de genótipos de mamoneira mais produtivos, de porte médio ou baixo, com sementes com alto teor de óleo, elevada tolerância às principais doenças e pragas que ocorrem.

É importante salientar que o programa de melhoramento da mamona tem como pressuposto fundamental o atendimento das demandas nacionais e regional e o fortalecimento das ações de pesquisa em nível local, bem como a consolidação de grupos de pesquisa que atuam no atendimento das demandas regionais, a fim de que os resultados obtidos possam ser passados para os produtores e resultem em elevada adaptação da cultura (MILANI, 2009).

Atualmente o interesse pela cultura da mamona aumentou, graças ao lançamento do Plano Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNDB), anunciado em 2004, que a elegeu como principal oleaginosa do programa, assim surgindo a demanda por cultivares com melhor adaptabilidade a diversas regiões do País (MILANI, 2009).

No entanto, os estudos relacionados ao melhoramento dessa cultura tiveram início na década de 1930. O Programa de Melhoramento Genético da mamona teve início em 1936, em São Paulo, no Instituto Agronômico de Campinas (IAC) (SAVY FILHO, 2005). Nos anos seguintes ao início dos estudos, o IAC desenvolveu pesquisas que desenvolveram várias cultivares, algumas das quais se destacaram quanto ao seu desempenho agronômico, como a IAC 80, IAC 226 e IAC 38. (FREIRE et al., 2007).

Na Bahia, o programa de melhoramento da mamona teve início na década de 1960, pelo Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária do Leste (Ipeal). Em 1974, passou a ser conduzido pela Empresa de Pesquisa Agropecuária da Bahia (Epaba), que desenvolveu e distribuiu várias cultivares (CRISÓSTOMO e SAMPAIO, 1975), entre as quais se destacam SIPAL1, SIPAL 2, SIPAL 3 e SIPAL 4.

A Embrapa Algodão passou a pesquisar a cultura da mamoneira, a partir de 1987, tendo como principal objetivo desenvolver cultivares adaptadas à Região Semiárida do Nordeste. Desenvolveu várias linhagens que foram lançadas, como as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Nordestina (FREIRE et al., 2007).

A Embrapa Clima Temperado (CPACT) começou a realizar ensaios em 2003 com a cultura da mamona no Rio Grande do Sul, obtendo resultados promissores. A

continuidade dos trabalhos comprovou que a espécie é viável e apresenta alta produtividade na região (KLEINHANS, 2009).

O Programa de Melhoramento da Embrapa CPACT é recente, não tendo ainda uma cultivar desenvolvida pelo mesmo. As cultivares que estão sendo utilizadas por agricultores e órgãos de pesquisa são oriundas dos programas de melhoramento da CATI/SP, Embrapa Algodão, IAC/SP e Sementes Armani S/A (SILVA et al., 2007).

O programa de melhoramento da mamona tem como pressuposto fundamental o atendimento das demandas nacionais e regional e o fortalecimento das ações de pesquisa em nível local, bem como a consolidação de grupos de pesquisa que atuam no atendimento das demandas regionais, a fim de que os resultados obtidos possam ser passados para os produtores e resultem em elevada adaptação da cultura (MILANI, 2009).

É importante salientar que há uma grande carência de materiais genéticos altamente produtivos, e as cultivares disponíveis não foram amplamente testadas no território nacional (ZUCCHI et al, 2010).

Dentre as cultivares utilizadas pela Embrapa Clima Temperado podemos citar a cultivar AL Guarany 2002, IAC Guarani, IAC 80, IAC 226, Vinema T1, BRS 149 Nordestina, BRS 188 Paraguaçu, BRS Energia, Mirante 10 e híbridos (SILVA et al., 2007).

A cultivar IAC 80 foi desenvolvida pelo Instituto Agronômico de Campinas, em 1976, obtida por meio de seleção massal e polinização controlada, em população oriunda de sementes coletadas em Pirapozinho, SP. O desenvolvimento dessa cultivar tinha por objetivo recomendá-la a pequenas propriedades familiares e diversificadas, que disponham de mão de obra para realizar a colheita em várias etapas (IAC, 2012).

As características agronômicas da cv IAC 80 são: porte alto, altura de 2,5 a 3,0 m, ciclo vegetativo de 240 dias, haste verde sem cera, folhas espalmadas e bastante desenvolvidas, frutos com espinhos, sementes rajada ferrugínea (SAVY FILHO, 2005; FREIRE et al., 2007).

3.5 Uso de mutagênicos no melhoramento vegetal

A variabilidade genética é essencial para qualquer programa de melhoramento que tenha por objetivo selecionar características desejáveis das plantas cultivadas (KUMAR, 1994), no caso da mamona cultivares com maior produtividade de sementes, precocidade, maior teor de óleo, resistência a pragas e doenças entre outros. Portanto, empregar técnicas alternativas como o uso de mutagênicos para aumentar a variabilidade de variedades cultivadas é de grande importância.

De acordo com FUTUYMA (2006), a mutação, o único fator evolutivo que cria variabilidade genética, é definida como qualquer alteração na sequência de nucleotídeos (mutação gênica), bem como na estrutura e número de cromossomos (mutação cromossômica), alterações essas que podem ocorrer espontaneamente na célula ou pela ação de substâncias mutagênicas (VEASEY et al., 2011).

A indução de mutações através de agentes físicos ou químicos é um dos meios pelo qual se pode promover e aumentar a variabilidade genética. Os resultados obtidos indicam que os mutagênicos têm se mostrado efetivos na obtenção de mutantes, onde conforme literatura, com o uso de radiação mais de 2.000 variedades de plantas cultivadas foram obtidas (VIEIRA, 1984; AHLOOWALIA et al., 2004; WU et al., 2005).

Os mutagênicos físicos são basicamente os raios ultravioletas e radiações ionizantes (raios X, raios gama, partículas alfa e beta, prótons e nêutrons e lasers que tem sido utilizado recentemente) cada um desses mutagênicos tem características próprias que devem ser consideradas quando utilizadas (TOMLEKOVA, 2010).

As radiações ionizantes surgiram como um método alternativo de se aumentar a produção de culturas de importância econômica. Dependendo da dose de radiação ionizante ao qual o organismo é exposto, pode apresentar modificações aparentes, tais como morte, inibição ou estimulação. Em vegetais, altas doses de radiação inibem a germinação de sementes, o brotamento de tubérculos e induzem mutações (BOVI, 2000).

Segundo Pimentel (1990), a radiação gama é considerada um dos principais indutores de mutações, sendo seus efeitos influenciados por diversos fatores. Como é um tipo de radiação ionizante, a radiação gama transmite elevada energia e, por interação com a matéria viva, provoca desordem celular e molecular (COELHO,

1997). No entanto, os efeitos das radiações no DNA dependem de fatores variados, como a radiação utilizada, a dose de radiação (COELHO, 1997; SANTOS, 1993), a fase do ciclo celular (GUDKOV e GRODZINSKY, 1982), a presença de algumas substâncias químicas (KUMAR, 1991), pH do meio, temperatura, teor de oxigênio (BUMP et al., 1982), presença de aceptores de radicais livres, características do próprio DNA e até a possibilidade de reparação dos produtos induzidos pela radiação (SCHABERLE; SILVA, 2004).

Processos fisiológicos e bioquímicos são significativamente afetados pelo estresse gerado pela radiação gama. Alterações morfológicas, estruturais e funcionais dependem da dose e da duração do estresse à radiação gama. No caso de estresse moderado, a capacidade de adaptação das plantas é preservada e as mudanças são reversíveis (HAMMED et al., 2008), diminuindo assim a chance de se obter mutações. De acordo com Patade e Suprasanna (2008) a dose de radiação ideal para induzir mutações sem a perda no rendimento do organismo irradiado é tecido específica. Portanto, diferentes tecidos respondem de forma própria, sendo necessária a realização de testes de radiossensibilidade para determinar a dose ideal (GAZZANEO et al., 2007).

A radiação gama em nível celular pode agir de forma direta e indireta. A ação direta funciona através da transferência de energia para uma macromolécula biológica, tal como DNA, RNA, proteínas e etc., resultando em alterações das moléculas a partir de ligações quebradas. Como agente indireto a radiação gama envolve a absorção de energia pela molécula de água, causando a sua dissociação (radiólise) e resultando na liberação de íons H^+ e radicais livres H* e OH* com alta reatividade química, que tendem a se recombinar para formar H_2O_2, H_2O E H_2 (BAYO, 2001).

Os radicais livres podem reagir com outras moléculas e causar ferimentos em áreas distantes da interação primária, porque agem sobre as moléculas-chave, tais como carboidratos, lipídios e proteínas, podendo produzir efeitos que são transitórios e ressintetizados imediatamente (BAYO, 2001).

Como as espécies reativas de oxigênio (EROS) também são produzidas sob condições naturais do metabolismo e também podem atuar como moléculas sinalizadoras regulando respostas normais de desenvolvimento, crescimento e estresse, as plantas possuem um sistema de defesa antioxidante compreendendo enzimas, por exemplo, superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT); e metabólitos,

por exemplo, acido ascórbico e glutationa; para regular a quantidade de EROS em células (MITTLER et al., 2004).

Diferentes tecidos respondem de forma própria à radiação, tornando necessária a realização de testes de radiossensibilidade para determinar a dose ideal (GAZZANEO et al., 2007). Portanto, estudos sobre os efeitos da radiação gama em plantas cultivadas são conduzidos mediante irradiação de sementes, plântulas e plantas em diversos estádios de desenvolvimento (RODRIGUES e ANDO, 2003); diferentes parâmetros radiobiológicos são comumente utilizados na avaliação da radiossensibilidade, dentre eles estão os testes de germinação, emergência, sobrevivência das plântulas, desenvolvimento e produção final e sobrevivência de mudas (RODRIGUES e ANDO, 2003; HAMMED, 2008; HUNG e JOHNSON, 2008).

4. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Genética, Departamento de Zoologia e Genética da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) e em casa de vegetação pertencente a Embrapa Clima Temperado – CPACT, localizada no município de Pelotas/RS, na latitude 31°41'S e longitude 52° 21'W e de altitude 60m.

Foram utilizadas sementes cedidas pela Embrapa Clima Temperado – CPACT da cultivar IAC 80, foram utilizadas para todos os testes. As sementes foram submetidas à remoção mecânica da carúncula das sementes e posteriormente pré-embebidas por 24h em água destilada até obtenção da saturação máxima. Após o período de embebição as sementes foram irradiadas com raios gama utilizando fonte de Cobalto^{60} "Eldorado 78" (Atomic Energy of Canadá, Ltda.) do Centro de Oncologia, Departamento de Radiologia, Faculdade de Medicina, UFPel (Figura 3). As diferentes doses de 0; 50; 100; 150 e 200 Gy de radiação foram obtidas por meio da variação do tempo de exposição das sementes e avaliadas, quanto a radiosensibilidade, através dos seguintes testes:

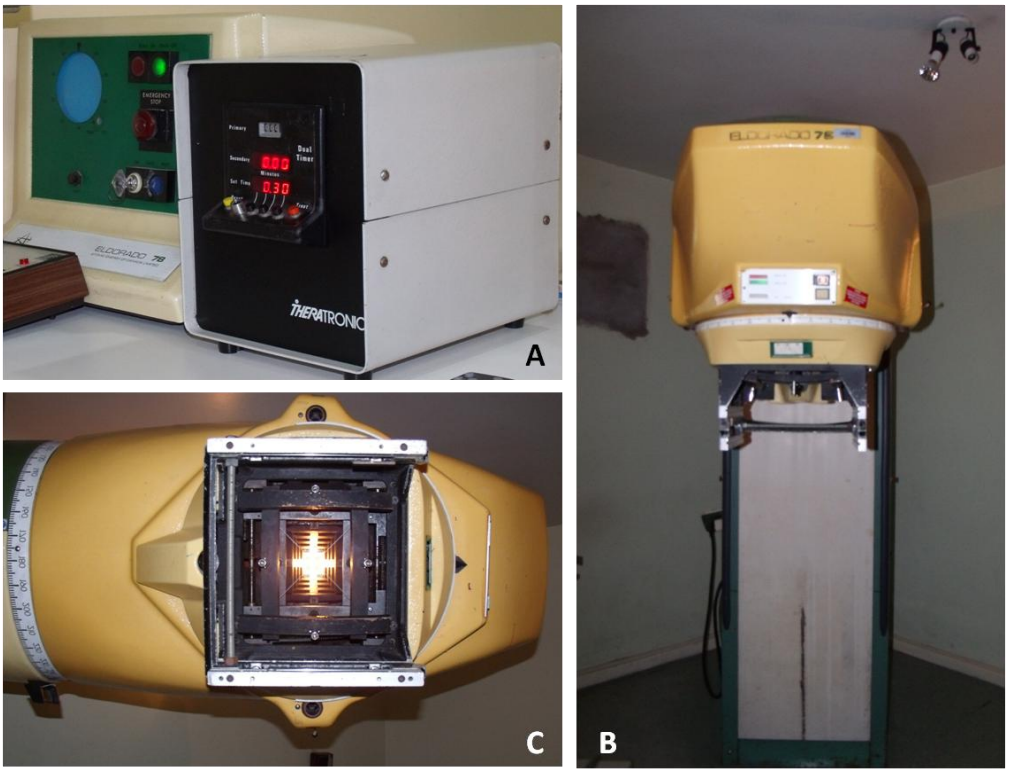

Figura 3 – Fonte de Colbalto^{60} “Eldorado 78”, comandos do equipamento (A), equipamento (B), local onde a fonte fica exposta (C). Pelotas/RS, UFPel, 2012.

4.1 Condutividade elétrica

O teste de condutividade elétrica foi conduzido no Laboratório de Sementes do Departamento de Botânica da Universidade Federal de Pelotas. A condutividade elétrica foi determinada nos tempos três, seis e 24 horas. Sendo utilizadas quatro subamostras de 25 sementes, as quais foram colocadas em Bequer com 80mL de água deionizada e mantidas em germinador com temperatura constante de 20 ±1°C. A leitura da condutividade elétrica foi realizada em condutivímetro de bancada Digimed CD-21 e os resultados expressos em µS cm^{-1} g^{-1} de semente em função do peso inicial das sementes utilizadas (AOSA, 1983).

4.2 Emergência de plântulas em casa de vegetação

Para o percentual de emergência das plântulas (E%) foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes semeadas em linha, dentro de bandejas multicelulares de poliestireno expandido (Figura 4), contendo solo, por um período de 21 dias. O substrato foi irrigado com água destilada sempre que necessário. Ao final dos 21

dias após a semeadura, foi efetuada a contagem final do número de plantas normais e emersas e o resultados expresso em porcentagem (POPINIGIS, 1985).

Figura 4 – Disposição das bandejas na casa de vegetação na Embrapa CPACT. Pelotas/RS. Embrapa, 2012.

4.3 Índice de velocidade de emergência em casa de vegetação

O índice de velocidade de emergência (IVE) foi estabelecido em conjunto com o teste de emergência, sendo efetuada a contagem do número de plântulas emersas diariamente, até a estabilização do estande. O IVE foi calculado segundo a fórmula proposta por Maguire (1962), a seguinte fórmula: IVE = E1/N1 + E2/N2 +...+ En/Nn, onde: E1, E2, En = número de sementes emergidas, computadas na primeira contagem, na segunda e última contagem. N1, N2, Nn = número de dias de semeadura a primeira, segunda e última contagem. Computando-se o número de plântulas emergidas ao dia.

4.4 Comprimento de parte aérea e raízes das plântulas

O comprimento da parte aérea (PA) e da raiz principal das plântulas foi determinado a partir de 10 plântulas avaliadas ao acaso para cada um dos tratamentos com auxílio de uma régua milimetrada e os resultados expressos em mm plântula^{-1} (Figura 5).

Figura 5 – Medição das plântulas. Pelotas/RS. UFPel, 2012.

4.5 Massa fresca das plântulas

Para avaliação dessa variável foram utilizadas as mesmas plântulas da avaliação morfométricas, tiveram a parte aérea e raiz separadas e estas foram pesadas separadamente para determinação da matéria fresca e os resultados expressos em mg plântula $^{-1}$.

4.6 Massa seca das plântulas

A determinação da matéria seca das plântulas foi realizada a partir das plântulas utilizadas nos dois testes anteriores. Para a avaliação das características de crescimento tiveram suas partes separadas, acondicionadas em envelope de papel pardo e transferidas para estufa a 70 ± 1 °C, até obtenção de massa constante para determinação da massa seca total de raízes e de partes aéreas com os resultados expressos em mg plântula^{-1}.

4.7 Atividade de enzimas antioxidantes

No 21° dia após a semeadura foram coletadas as primeiras folhas, completamente expandidas, e as raízes, após serem separadas da parte aérea e lavadas, foram acondicionadas em envelopes de papel alumínio e armazenadas em ultra-freezer a -80°C para análises posteriores.

As análises enzimáticas foram conduzidas no Laboratório de Metabolismo Vegetal, Departamento de Botânica, IB/UFPel em Pelotas/RS; para a determinação

da atividade das enzimas antioxidantes, aproximadamente 200 mg de tecido foliar e radicular foram utilizados separadamente. O material foi macerado em N_2 líquido acrescido de 20% de PVPP (Polivinilpolipirolidona) insolúvel, para que não houvesse oxidação e, homogeneizados em 1,8 mL do tampão de extração (Fosfato de potássio 100 mM (pH 7,0), EDTA 0,1 mM e ácido ascórbico 10 mM). O homogeneizado foi centrifugado a 13.000 g por 15 minutos a 4°C e o sobrenadante coletado para a quantificação das proteínas pelo método de Bradford (1976), sendo as leituras realizadas a 595 nm, e as análises das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX).

4.7.1 Enzima superóxido dismutase

A atividade da SOD foi estimada pela capacidade da enzima em inibir a fotorredução do azul de nitrotetrazólio (NBT) (GIANNOPOLITIS e REIS, 1977). O meio de reação foi composto por fosfato de potássio 100 mM (pH 7,8), metionina 14 mM, EDTA 0,1 µM, NBT 75 µM e riboflavina 2 µM. Os tubos que continham o meio de reação mais a amostra, e o controle, que continha apenas o meio de reação, foram iluminados por 7 minutos, com uma lâmpada fluorescente de 20 w. O branco permaneceu no escuro. As leituras foram realizadas a 560 nm e o cálculo da enzima feito pela equação:

% DE INIBIÇÂO = (A560 amostra com extrato enzimático – A560 controle sem enzima) / (A560 controle sem enzima)

Uma unidade da SOD corresponde à quantidade de enzima capaz de inibir em 50% a fotorredução do NBT nas condições de ensaio.

4.7.2 Enzima ascorbato peroxidase

A atividade da APX foi determinada segundo Nakano e Asada (1981), através do monitoramento da taxa de oxidação do ascorbato a 290 nm. O meio de reação foi composto de tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,0), ácido ascórbico 0,5 mM, H_2O_2 0,1 mM e o extrato incubado a 28°C. O decréscimo na absorbância foi monitorado por um período de dois minutos ao iniciar a reação.

4.7.3 Enzima catalase

A atividade da CAT foi determinada conforme descrito por Azevedo et al. (1998), com pequenas modificações. Sua atividade foi monitorada pelo decréscimo

na absorbância a 240 nm durante dois minutos em um meio de reação incubado a 28°C contendo tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,0), H_2O_2 12,5 mM e o extrato enzimático.

4.8 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e quatro repetições. Os dados relativos às variáveis mensuradas foram submetidos à análise de variância (ANOVA - oneway) e a comparação das médias pelo teste post-hoc Tuckey com significância de 5%. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa STATISTICA 7.0 ®.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Condutividade elétrica

Os valores obtidos no teste de condutividade elétrica para as sementes de mamona, cv IAC80, submetidas a diferentes doses radiação gama Co^{60}, após três, seis e 24 horas de incubação, se mantiveram praticamente inalterados (Figura 6), demonstrando que as diferentes doses de radiação gama Co^{60} não interferem na velocidade de reorganização do sistema de membranas celulares e, portanto, não havendo maior perda de solutos para o meio de incubação, indicando que as doses de radiação utilizadas não danificam o sistema de membranas.

Esses dados diferem daqueles apresentados por Amjad e Anjum (2003) para sementes de cebola irradiadas onde nas doses utilizadas os autores verificaram um aumento da condutividade em relação às sementes não irradiadas. O mesmo autor relata que o teste de condutividade é comum para análise de perda de qualidade das sementes, porém não há quase relatos na literatura para avaliar danos causados por radiação.

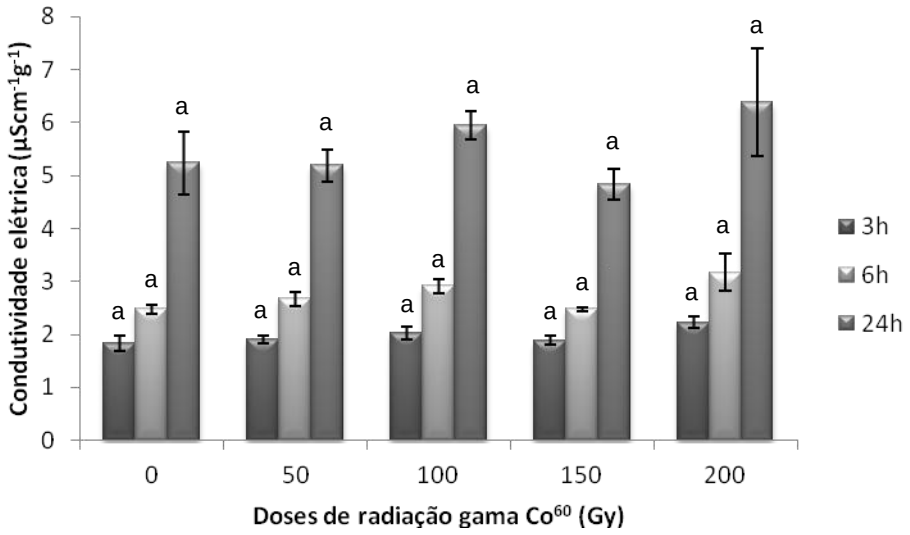

Figura 6 - Condutividade elétrica (µScm^{-1} g^{-1}) em sementes de mamona, cv IAC 80, submetidas a diferentes doses de radiação gama Co^{60} (Gy), nos períodos de 3h (■), 6h (■) e 24h (■) de incubação. Médias seguidas pela mesma letra comparando as doses de radiação em cada período não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. Pelotas/RS. UFPel, 2012.

5.2 Emergência de plântulas em casa de vegetação

O percentual de emergência das plântulas em casa de vegetação (E%) apresentou diferença significativa entre o tratamento controle (0 Gy) e 200Gy (maior dose utilizada) sendo que as doses intermediárias (50, 100 e 150Gy) induziram um pequeno decréscimo conforme o aumento da dose de radiação usada (Figura 7A). Essa influência negativa, gerada pelo aumento da dose de radiação, também foi observada por Kleinhans (2009), em estudos com mamona, e por Marcos Filho et al. (1972) em estudos com milho, onde observaram melhor germinação na dose de 0Gy e uma redução da emergência conforme o aumento da dose de radiação gama Co^{60}.

5.3 Índice de velocidade de emergência de plântulas em casa de vegetação

O índice de velocidade de emergência (IVE) foi influenciado pelas diferentes de doses de radiação, sendo a dose de 200Gy diferente estatisticamente de 0, 50 e 100Gy, apresentando o mesmo padrão da emergência (E%) conforme o aumento da dose de radiação utilizada houve uma diminuição do índice de velocidade de emergência (Figura 7B). Resultados semelhantes foram observados por Santos et al

(2010) em amendoim, onde os autores relacionam a perda da germinação e vigor à radiossensibilidade do eixo embrionário.

Os resultados indicam não apenas uma redução no percentual de emergência, mas também um aumento no tempo de emergência dessas sementes, conforme aumento da dose de radiação, resultados similares aos observados por Hameed et al (2008).

Da mesma forma, corroboram com a afirmação de Grosh e Hopwood (1979) de que a inibição do crescimento segue um padrão em relação à dose utilizada, quanto maior a dosagem maior o dano que pode inibir a proliferação meristemática; porém esse efeito é mais pronunciado em doses mais altas de radiação.

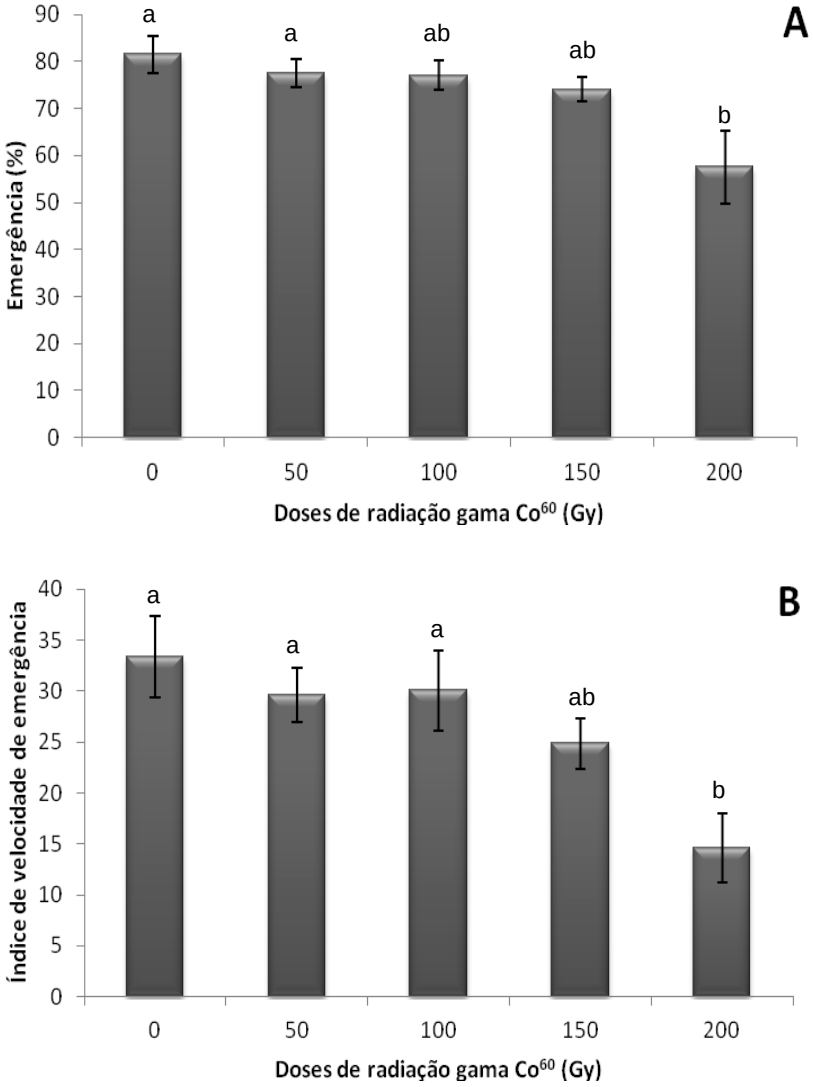

Figura 7 - Porcentagem de emergência (A) e índice de velocidade de emergência (B) de plântulas de mamona, submetidas a diferentes doses de radiação gama Co^{60}. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$). Barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. Pelotas/RS. UFPel, 2012.

5.4 Comprimento de parte aérea e raízes das plântulas

Quanto ao comprimento da parte aérea, como podemos observar na Figura 8A, houve diferença significativa entre a dose de 50Gy e as doses de radiação superiores a esta, porém esta não diferindo significativamente do tratamento de 0Gy (controle). Com relação ao comprimento das raízes de plântulas de mamona, cv IAC80, o tratamento controle diferiu significativamente dos tratamentos de 150 e 200Gy, e estes diferiram entre si (Figura 8B).

Em estudos com soja irradiada foi observada uma redução drástica de acordo com o aumento da dose de radiação em relação ao comprimento total da plântula (BARROS e ARTHUR, 2005), resultados semelhantes podemos observar na Figura 9.

Essa diminuição de parte aérea e sistema radicular também foi relatada para um número de espécies cultivadas como rúcula (THIMMAIAH et al., 1998), grão-de-bico (MUHAMMAD e AFSARI, 2001; TOKEN et al., 2005), milho (AL-SALHI et al., 2004), feijão chicote (KON et al., 2007) entre outras.

Tal redução no crescimento pode ser atribuída à redução da atividade mitótica em tecidos meristemáticos e redução da umidade nas sementes (KHALIL et al.,1986; EL SHERIF et al., 2011).

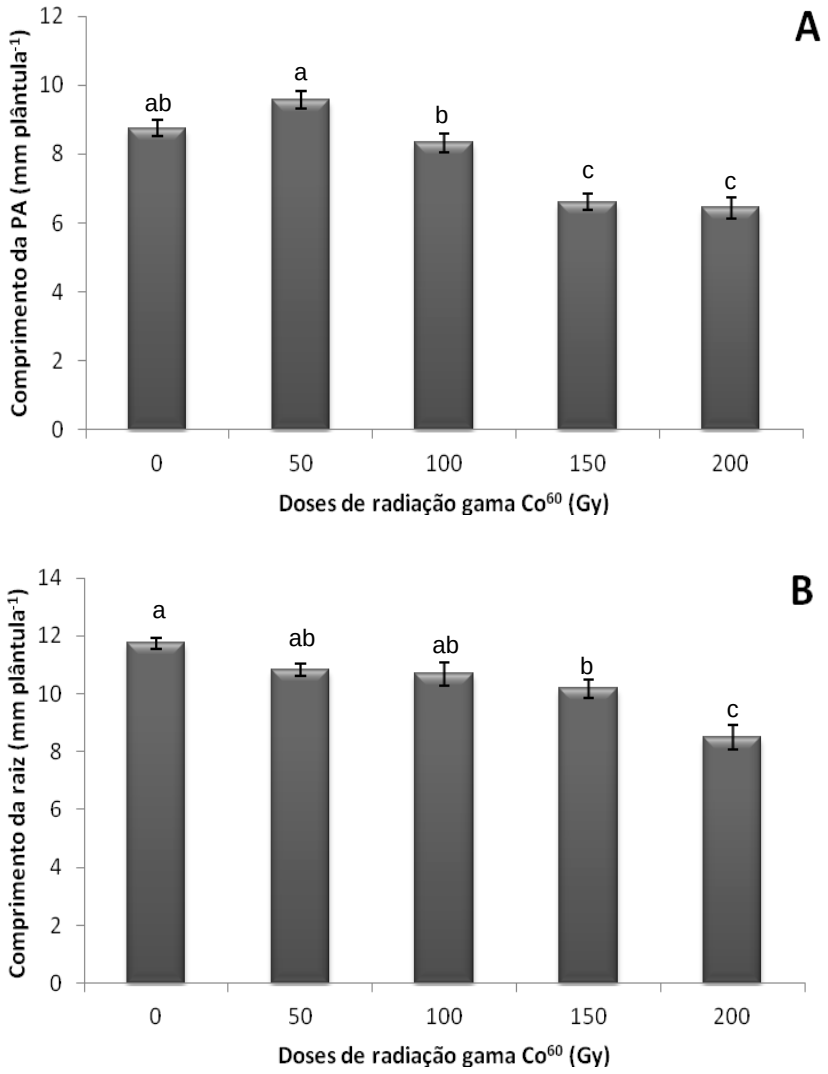

Figura 8 - Comprimento da parte aérea (A) e das raízes (B) de plântulas de mamona, submetidas a diferentes doses de radiação gama Co^{60}. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$). Barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. Pelotas/RS. UFPel, 2012.

Os resultados são parcialmente concordantes com o princípio de ALARA da proteção radiológica (International Commission on Radiological Protection/ICRP, 1990) que afirma ser prejudicial qualquer dose de radiação aos organismos. Em contrapartida a teoria de Hormese descrita por Luckey (1980), diz que baixas doses de radiação possuem capacidade de estimular os organismos, invertendo o efeito com o aumento da dose de radiação, o que corrobora com os nossos dados para o comprimento da parte aérea das plântulas de mamona (Figura 8A e 9).

Figura 9 – Comprimento total das plântulas de mamona 21DAS. Pelotas/RS. UFPel, 2012.

5.5 Massa fresca e seca das plântulas

Em relação à massa fresca da PA de plântulas de mamona, cv IAC80, submetidas a diferentes doses de radiação gama Co^{60}, podemos observar um leve aumento da massa fresca na dose de 50Gy porém não diferindo do controle (0Gy) e da dose de 100Gy (Figura 10A). Quanto à massa fresca das raízes, pode-se observar que conforme o aumento da dose de radiação houve um decréscimo dessa variável, todavia apresentando diferença significativa apenas na dose de 200Gy em relação ao 0Gy (Figura 10B).

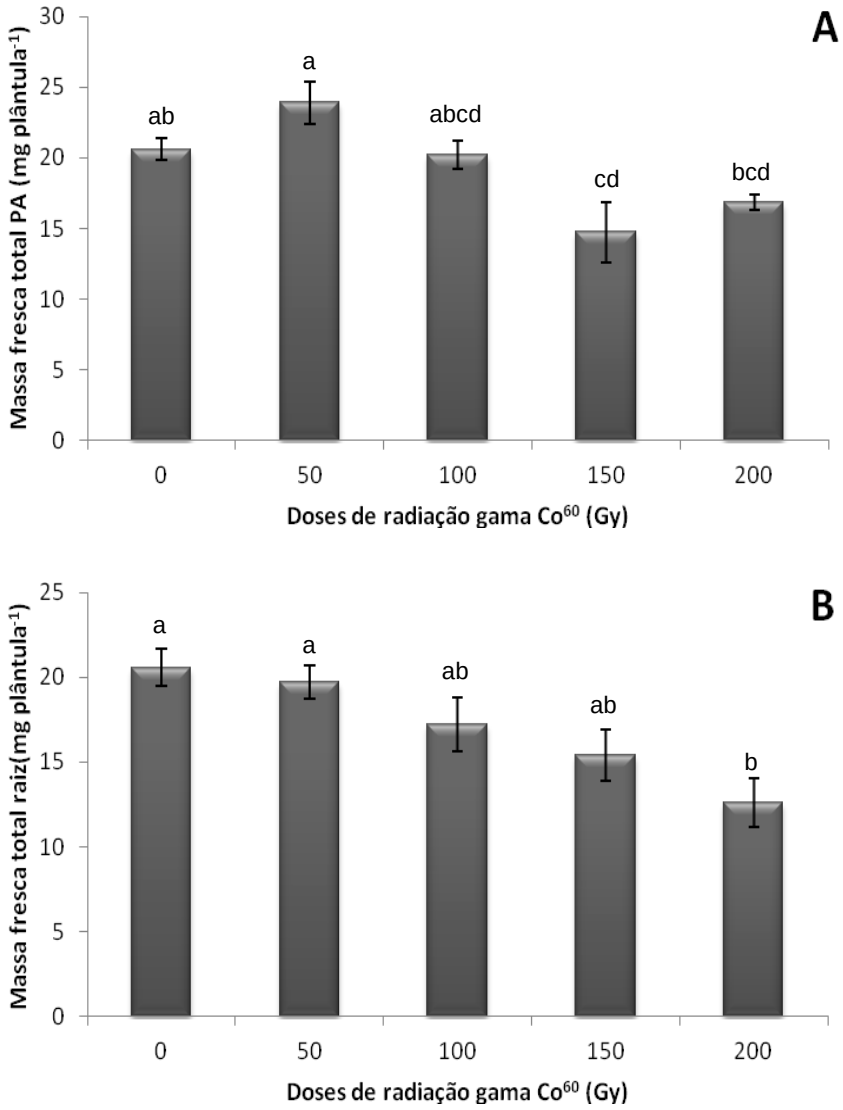

Figura 10 - Massa fresca da parte aérea (A) e da raiz (B), de plântulas de mamona submetidas a diferentes doses de radiação gama Co^{60}, avaliadas aos 21 DAS. Médias seguidas por letra distinta diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$). Barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. Pelotas/RS. UFPel, 2012.

Quanto à massa seca da PA apenas nas doses de 150 e 200Gy diferiram significativamente do tratamento controle (0Gy) (Figura 11A) e para massa seca das raízes apenas a dose de 200Gy diferiu significativamente do tratamento controle – 0Gy (Figura 11B).

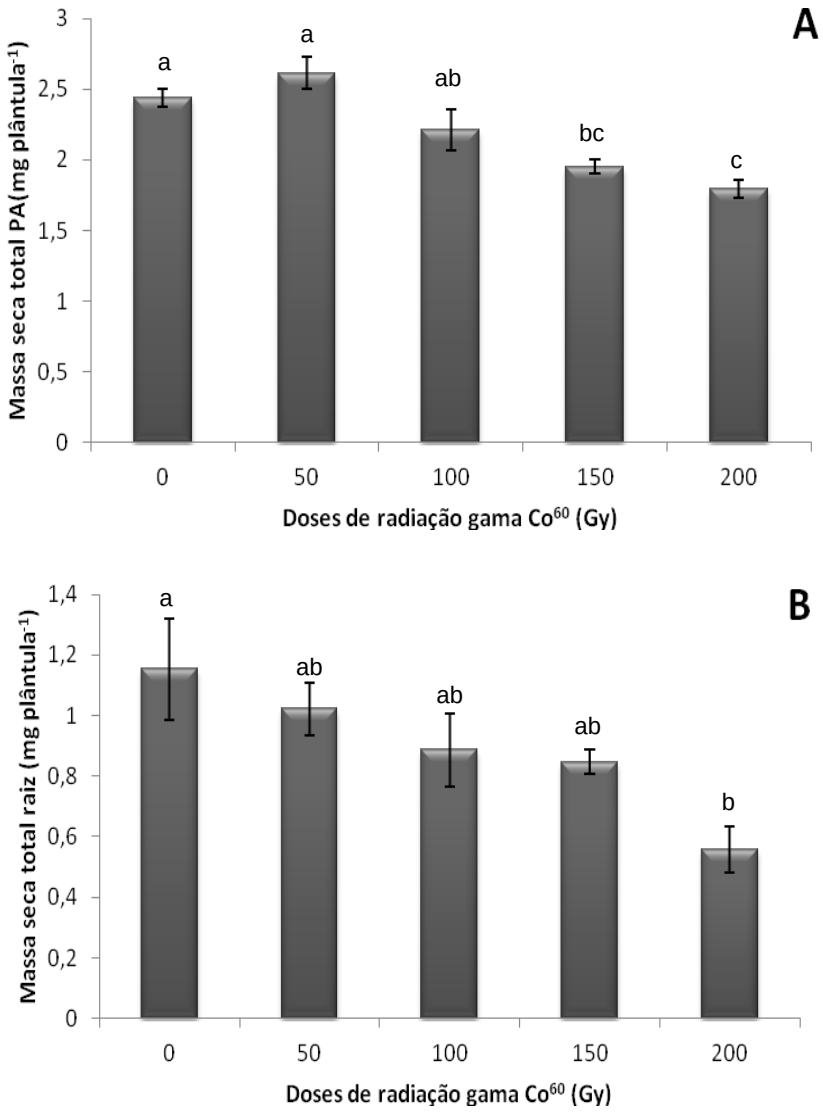

Figura 11 - Massa seca da parte aérea (A) e massa seca da raiz (B) de plântulas de mamona, submetidas a diferentes doses de radiação gama Co^{60}, avaliadas aos 21 DAS. Médias seguidas por letra distinta diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$). Barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. Pelotas/RS. UFPel, 2012.

Resultados similares são relatados por Majeed et al (2009) em *Lepidium sativum* onde o peso fresco e seco da parte aérea aumentou na dose mais baixa e diminuiu conforme aumento da dose de radiação. De forma similar Kon et al., (2007) também relatam uma tendência de diminuição do peso seco da parte aérea em *Vigna unguiculata* quando expostas a doses maiores de radiação gama.

Segundo El Sherif et al (2009) e Majeed et al. (2010), a redução do peso seco e fresco da planta pode ser devido à redução da estatura ou à redução do

conteúdo de água consequente do estresse da radiação, redução de estatura que também foi observada neste trabalho conforme mostrado na Figura 9.

5.6 Atividade de enzimas antioxidantes

5.6.1 Enzima superóxido dismutase

Quando analisamos a atividade da superóxido dismutase (SOD) nas folhas de plântulas de mamona observamos um incremento na atividade destas conforme aumento da dose de radiação, havendo diferença significativa apenas entre as doses de 0Gy (controle) e 200Gy (Figura 12A). Nas raízes, a SOD teve comportamento semelhante ao da parte aérea, porém não havendo diferença significativa entre as doses de exposição (Figura 12B). Isso pode indicar que as folhas são mais sensíveis à radiação e que em doses acima de 200Gy essas plântulas podem estar num estado de estresse oxidativo devido aos radicais livres formados pela radiação.

Segundo Al-Rumaih e Al-Rumaih (2008), em estudo com diferentes espécies de Trigonella, a enzima SOD apresentou também um aumento significativo quando exposta a doses de radiação superiores a 40Krad. Silva et al. (2011) também observaram um aumento da atividade da enzima SOD em mudas de arroz, cv BRS Querência, quando expostas a doses de radiação Co^{60} superiores à 100Gy. Em nosso estudo com plântulas observamos somente um aumento da atividade da enzima SOD em folhas, quando expostas à dose de 200Gy, não havendo alteração significativa na atividade dessa enzima na raiz.

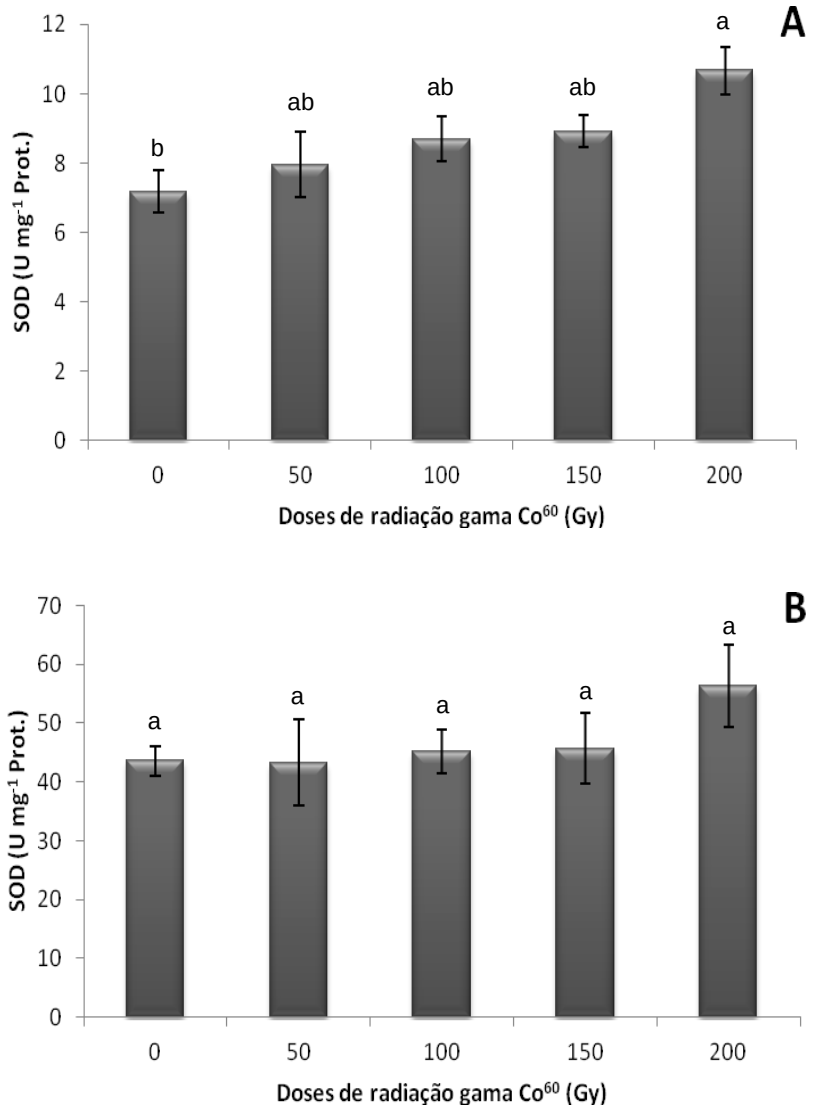

Figura 12 - Atividade específica da enzima SOD, em folha (A) e em raízes (B) de plântulas de mamona submetidas a diferentes doses de radiação gama Co^{60}. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$). Barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. Pelotas/RS. UFPel, 2012.

5.6.2 Enzima ascorbato peroxidase

A análise da atividade da ascorbato peroxidase (APX) nas folhas de plântulas de mamona, como podemos observar na Figura 13A teve um comportamento crescente conforme o aumento da dose de radiação, onde o tratamento controle (0Gy) e 50Gy diferiram significativamente dos tratamentos de 150 e 200Gy. Para a análise da APX nas raízes podemos observar na Figura 13B que não houve diferença significativa entre as doses de radiação gama Co^{60}.

Chaomei e Yanlin (1993) relataram um aumento na atividade da APX em plantas de *Triticum aestivum* em doses mais elevadas de radiação (20, 40, 60, 80 Krad) semelhantes aos resultados obtidos neste trabalho.

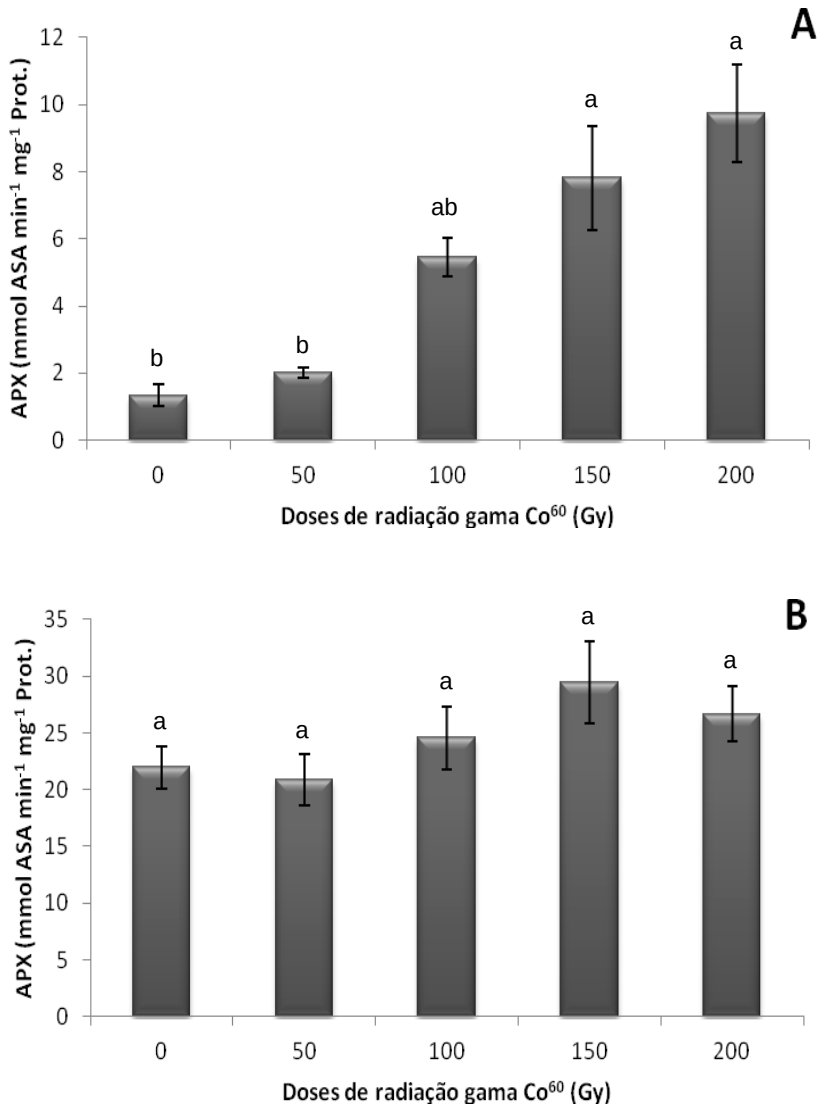

Figura 13 - Atividade específica da enzima APX, em folha (A) e em raízes (B) de plântulas de mamona submetidas a diferentes doses de radiação gama Co^{60}. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. Pelotas/RS. UFPel, 2012.

5.6.3 Enzima catalase

A atividade da enzima catalase (CAT) teve um aumento não significativo tanto nas folhas quanto nas raízes de plântulas de mamona, mesmo não havendo diferença significativa quanto às doses de radiação gama Co^{60} utilizadas (Figura 14A e 14B). Em estudos com *Arabidopsis thaliana* não foi observada alteração na atividade da enzima CAT quando esta foi submetida a doses radiação gama ^{137}Cs

(VANHOUDT, 2010). O mesmo também foi observado em estudos com arroz submetidos a doses de radiação gama Co^{60} (SILVA et al., 2011). Tais estudos corroboram com os resultados obtidos na avaliação da atividade da enzima CAT, a qual se manteve inalterada tanto em folhas como em raízes de plântulas de mamona cv IAC 80 submetidas a diferentes doses de radiação gama Co^{60}.

A inalteração da atividade enzima CAT pode ser explicada pelo fato desta só estar ativa em altas concentrações de H_2O_2 (GECHEV, 2006) diferentemente da APX que atua em níveis baixos de H_2O_2.

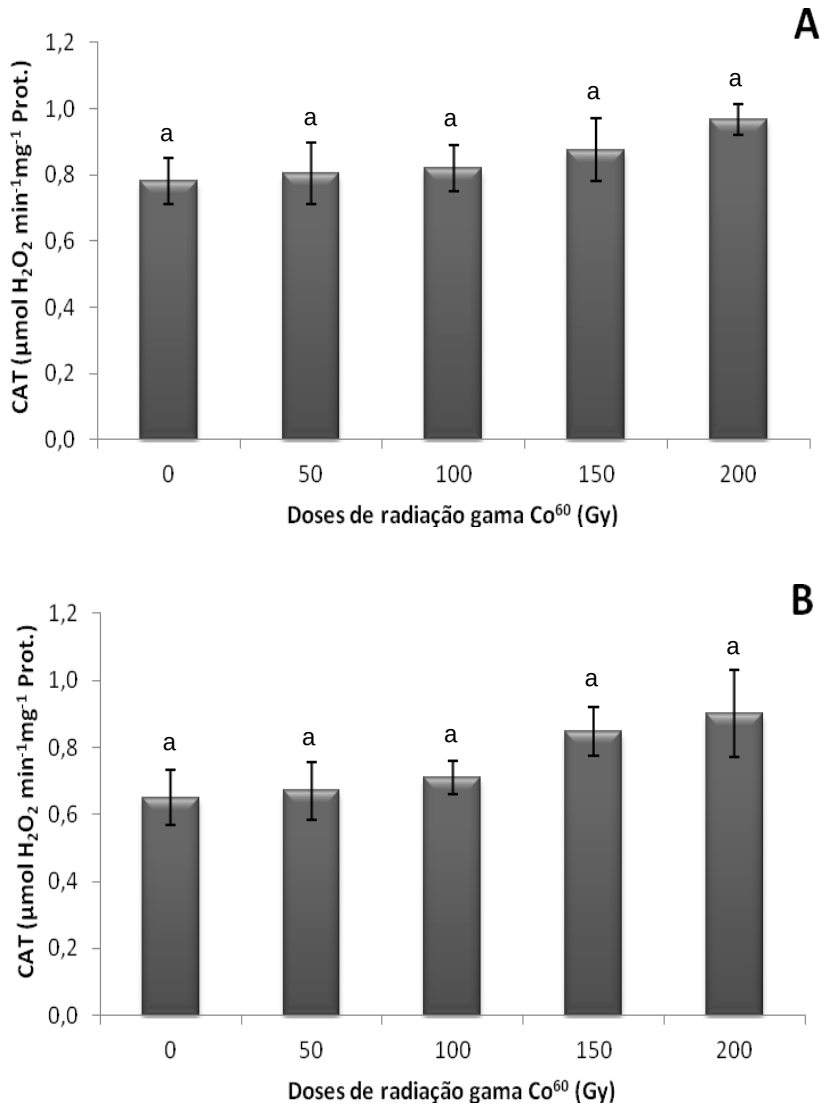

Figura 14 - Atividade específica da enzima CAT, em folha (A) e em raízes (B) de plântulas de mamona submetidas a diferentes doses de radiação gama Co^{60}. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$). Barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. Pelotas/RS. UFPel, 2012.

As moléculas de água presentes no organismo absorvem energia liberada pela radiação gama, a qual causa a dissociação da molécula de água resultando na liberação de íons H^+ e radicais livres H* e OH* com alta reatividade química que tendem a se recombinar e formar espécies reativas de oxigênio (EROS) (BAYO, 2001).

As EROS são normalmente encontradas em níveis basais nas células, entretanto os níveis tendem a aumentar quando sob condições diferentes de estresse. Os vegetais, por sua vez, evoluíram e possuem sistemas antioxidantes enzimáticos e não-enzimáticos que regulam e ajustam os níveis de EROS de acordo com as necessidades celulares. Atuando como reguladores dos níveis de EROS temos as enzimas anteriormente citadas que convertem essas EROS em moléculas de H_2O e oxigênio molecular. A enzima SOD transforma moléculas de superóxido (O_2^-) em peróxido de hidrogênio (H_2O_2), que por sua vez pode ser degradado pelas enzimas APX e CAT. No entanto, essas são concentrações específicas, a APX atua somente em níveis baixos de H_2O_2 e a CAT em altos níveis (GECHEV, 2006) que convertem EROS em H_2O e oxigênio molecular.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do exposto pode-se concluir que as doses de radiação gama Co^{60} utilizadas neste estudo mostraram ter um efeito negativo sobre as características morfofisiológicas avaliadas neste trabalho.

Quanto à atividade das enzimas antioxidantes (SOD e APX), a parte aérea das plântulas de mamona se mostrou mais sensível às doses de radiação gama Co^{60} utilizadas.

Em doses até 200Gy, observa-se um aumento de atividade da SOD e da APX, enquanto a catalase mantém níveis similares aos de plântulas não irradiadas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOISSA (2005). Disponível em http://www.aboissa.com.br/mamona/index.htm. Acesso em dezembro de 2011.

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

AIRES, R.F.; SILVA, S.D.A; EICHOLZ, E.D. Análise de crescimento de mamona semeada em diferentes épocas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41. n. 8, p.1347-1353, 2011.

AL-RUMAIH, M.M.; AL-RUMAIH, M.M. Influenze of ionizing radiation on antioxidant enzymes in three species of Trigonella. **American Journal of Environmental Sciences**, v.4 n.2, p.151-156, 2008.

AL-SALHI, M.; GHANNAM, M.M.; AL-AYED, M.S.; EL-KAMEESY, S.U.; ROSHDY, S. Effect of gamma irradiation on the biophysical and morphological properties of corn. **Nahrung**, v.48, p.95-98, 2004.

AMJAD, M.; ANJUM, M.A. Effect of post-irradiation storage on the radiation-induced damage in onion seeds. **Asian Journal of Plant Sciences**, v.2 n.9, p. 702-7007, 2003.

ANTHONISEN, D. Co-produtos da mamona - Sistema de produção da mamona. Embrapa Clima Temperado. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/SistemaProducaoMamona/co_produtos.htm. Acesso em novembro de 2011.

ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. Seed vigour testing handbook. AOSA, 1983. 88p. (**Handbook on seed testing**. Contribution, 32).

AZEVEDO, R. A.; ALAS, R.M.; SMITH, R. J.; LEA, P.J. Response from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation in leaves and roots of wild type anda a catalase-deficient mutant of barley. **Physiologia Plantarum**, v.104, p. 280-292, 1998.

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.

BANCO DE DESENVOLVIMENTO DE MINAS GERAIS. Programa operacional de incentivo à cultura da mamona na área mineira da SUDENE. Belo Horizonte, p.11, 2000.

BARROS, A.C. de; ARTHUR, V. Determinação experimental da dose de redução do crescimento (GR50) e da dose letal de soja irradiada por raios gama. **Arq. Inst. Biol.**, São Paulo, v.72, n.2, p.249-253, 2005.

BAYO, N.A. Reacción celular ante la radioación. **Revista Radiobiología** – revista eletrônica. http://www-rayos.medicina.uma.es/rmf/radiobiologia/revista/radiobiologia.htm. 2001.

BELTRÃO, N.E. de M.; AZEVEDO, D.M.P.; LIMA, R. de L.S.; QUEIROZ, W.N.; QUEIROZ, W.C. Ecofisiologia. In: **O agronegócio da mamona no Brasil.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. P. 43-72.

BELTRÃO, N.E. de M.; AZEVEDO, D.M.P. de. Fitologia In: **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 117 – 137.

BOVI, J.E. Emprego da radiação gama Cobalto60 em sementes de beterraba (Beta vulgaris L.), cenoura (Daucus carota L.) e rabanete (Raphanus sativus L.) para estimular o aumento da produção. 2000. 79p. **Tese** (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v.72, p.48-254, 1976.

BUMP, E.A.; YU, N.Y. & BROWN, J.M. Radiosensitization of hypoxic tumor cells by depletion of intracellular glutathione. **Science**, Washington, 217:544-545, 1982.

CANGEMI, J.M.; SANTOS, A.M.; NETO, S.C. A revolução verde da mamona. Química Nova Escola, v.32 n.1, 2010.

CHAOMEI, Z.; YANLIN, M. Radiation induced changes in enzymes of wheat during seed germination and seedling growth. **Acta Agriculturae Nucleatae Sinica**, v.7 n2, p. 93-97, 1993.

COELHO, I. Avaliação das exportações tradicionais baianas: caso de sisal e mamona. 1979. 174p. **Dissertação** (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador.

CONAB - Conselho Nacional de Abastecimento. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_08_11_09_23_41_mamona agosto2011..pdf Acesso em Janeiro de 2012.

CONAB – Conselho Nacional de Abastecimento. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_10_31_12_03_59_mamonaoturbro2011.pdf Acesso em Janeiro de 2012.

CRISÓSTOMO, J.R. e SAMPAIO, H.S. de V. Mamona: aspectos importantes para a produção de sementes selecionadas no Estado da Bahia. Salvador: EMBRAPA - Representação no Estado da Bahia, p.10, 1975. (EMBRAPA - Representação do Estado da Bahia, **Comunicado Técnico, 13**)

EL-SHERIF, F.; KHATTAB, S.; GHONAME, N.; RADWAN,K. Effect of Gamma Irradiation on Enhancement of Some Economic Traits and Molecular Changes in Hibiscus Sabdariffa L.. **Life Science Journal**, v.8 n.3, p. 220-229, 2011.

FANAM, S.; MEDINA, P.F.; CAMARGO, M.B.P.; GALBIERI, R. Descrições de características agronômicas e avaliação de épocas de colheita na produtividade da mamoneira cultivar IAC 2028. **Bragantia**, Campinas, v. 68 n.2, p.415-422, 2009.

FAO. (Roma). Disponível em: http://www.fao.org/. Acesso Novembro 2011.

FREIRE, E.C.; LIMA, E.F.; ANDRADE, F.P.; MILANI, M.; NÓBREGA, M.B. de M. Melhoramento Genético. In: **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 169 – 194.

FREIRE, R.M.M. Características do óleo – Cultivo da mamona. Embrapa Algodão. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/CultivodaMamona_2ed/oleo.html Acesso em Dezembro 2011.

FUTUYMA, D.J. Evolutionary biology. **Sunderland:** Sinauer Associates, 2006. 763p.

GAUL, H. Use of induced mutants in seed-propagated species. **Mutation and Plant Breeding**, Washington, NAS-NRC, 1961. p. 206-251.

GAZZANEO, L. R. S.; COLAÇO, W.; ALVES, G. D.; KIDO, E. A.; BENKO-ISEPPON, A. M.; HOULLOU-KIDO, L. M. Efeito da Radiação Gama Sobre o Desenvolvimento in vivo de Vigna unguiculata (L.) Walp. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 81-83, jul. 2007.

GECHEV, T.S.; BREUSEGEM,F.V.; STONE, J.M.; DENEV, I.; LALOI, C. Reactive oxygen species as signals that modulate plant stress responses and programmed cell death. **BioEssays**, v.28 n.11, p.1091-1101, 2006.

GIANNOPOLITIS, C.N.; REIS, S.K. Superoxide dismutases. I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v.59, p.309-314, 1997.

GOMES, C.B. Torta de mamona – Sistema de produção da mamona. Embrapa Clima Temperado. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/SistemaProducaoMamona/torta.htm Acesso em novembro de 2011.

GROSH, D.S.; HOPWOOD,L.E. Biological effects of radiation. **Academic Press**, New York, 2nd edn., p.221-224, 1979.

GUDKOV, I.N.; GRODZINSKY, D.M. Cell radiosensitivity variation in synchronously dividing root meristems of Pisum sativum L. and Zea mays L. during the mitotic cycle. **Internacional Journal of Radiation Biology**, Bristol, v. 414, p. 401-409, 1982.

HAMEED, A.; SHAH, T.M.; ATTA, B.M.; HAQ, M.A.; SAYED, H. Gamma irradiation effects on seeds germination and growth, protein content, peroxidase and protease activity, lipid preroxidation in Desi and kabuli Chickpea. **Pakistan Journal of Botany**, v.40 n.3, p.1033-1041, 2008.

HEASLIP, M.B. Effects of seed irradiation on germination and seedling growth of certain deciduous trees. **Ecology**, Durham, v.40, n.3, p.383-8, 1959.

HUNG, C.D.; JOHNSON, K. Effects of ionizing radiation on the growth and allyl isothiocyanate accumulation of Wasabia japonica in vitro and ex vitro. **In Vitro Celular & Developmental Biology** – Plant, v.44 n.1, p. 51-58, 2008.

IAC – Instituto Agronômico Campinas. Cultivares de mamona. Disponível em: http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/graos/mamona.php Acesso em dezembro de 2011.

ICRP – International Commission on Radiological Protection. **Princípio da otimização**. Oxford: Pergamon Press, 1990. 201p.

KHALILI, S. J.; REHMAN, S.; AFRIDI, K.; JAN, M.T. Damage induced by gamma irradiation in morphological and chemical characteristics of barley. **Sarhad Journal of Agriculture** 2: p. 45-54, 1986.

KILLION, D.D.; CONSTANTIN, M.J. Gamma irradiation of corn plants: effects of exposure, exposure rate, and developmental stage on survival, height, and grain yield of two cultivars. **Radiation Botany**, Great Britain, v.12, p. 159-164, 1972.

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.

KON, E.; AHMED, O.H.; SAAMIN, S.; MAJID, N.M. Gamma radiosensitivity study on long bean (Vigna sesquipedalis). **American Journal Applied Science**. v.4 n.12, p.1090-1093, 2007.

KOURI, J.; SANTOS, R.F.; BARROS, M.A.L. Importância Econômica – Cultivo da mamona. Embrapa Algodão. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/CultivodaMamona_2ed/importancia.html Acesso em Novembro de 2011.

KRUG, C.A.; MENDES, T. Melhoramento da mamoneira (Ricinus communis L.). II. Observações gerais sobre a variabilidade do gênero Ricinus. **Bragantia**, v.2, p.155-157, 1942.

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

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, 1994.

LORENZI, H. E.; MATOS, F. J. DE A. Plantas medicinais no Brasil / Nativas e exóticas. **Nova Odessa**: Instituto Plantarum, 2002. 512p.

LUCKEY, T.D. **Hormesis with ionizing radiation.** Boca Raton, CRC Press, 1980.

MADAIL, J.C.M.; BELARMINO, L.C.; NEUTZLING, D.M. Aspectos econômicos da mamona – Sistema de produção da mamona. Embrapa Clima Temperado. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/SistemaProducaoMamona/aspectos.htm Acesso em Janeiro de 2012.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination and in selection and evaluation for seedlings emergence and vigor. **Crop Science, Madison**, v.2, n.2, p.176-177, 1962.

MAJEED, A.; MUHAMMAAD, Z.; AHMAD, H.; KHAN, A.U.R. Gama irradiation effects on some grouth parameters of Lepidium sativum L.. **American Eurasian Journal of Sustainable Agriculture**, v.3 n.3, p.424-427, 2009.

MAJEED, A.;KHAN, A.U.R.; AHMAD, H.; MUHAMMAD, Z. Gamma irradiation effects on some parameters of *Lepidium sativum* L.. **Journal of Agricultural and Biological Science,** v.5 n.1, p.39-42, 2010.

MARCOS FILHO, J.; BRAGANTINI, C; SANTOS, F.D.P. Comportamento de sementes de arroz (Oriza sativa L.) submetidas a radiações gama. **Boletim Técnico 7**, CENA, Piracicaba, 1972.

MAZZANI, B. Euforbiáceas oleaginosas: Tártago. In: Cultivo y mejoramiento de plantas oleaginosas. Caracas, Venezuela: **Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias**, 1983. p.277-360.

MILANI, M.; NÓBREGA, M.B.M.; ANDRADE, F.P. Andamento e perspectivas do programa de melhoramento de mamona na Embrapa. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2009. (Embrapa Algodão. **Documentos, 226**).

MITTLER, R.; VANDERAUWERA, S.; GOLLERY, M.; VAN BREUSEGEM, F. Reactive oxygen gene network of plants. **Trends in Plant Science**, v.9, p.490-498. 2004.

MUHAMMAD, R.; AFSARI, S. Quantitative variations induced by gamma irradiation and gibberellic acid in M1 generation of Chick pea. **Sarhad Journal Agriculture**, v.17 n.3, p.367-372, 2001

NAE – Núcleo de Assuntos Estratégicos. Governo Federal, Cadernos Nae – Biocombustíveis. Disponível em https://www.planalto.gov.br/secom/nae/base.ht Acesso em setembro de 2011.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascobate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, v. 22, n. 5, p. 867-880, 1981.

OKUNO, E. **RADIAÇÃO: Efeitos, Riscos e Benefícios**. São Paulo: HARBRA, 1988. 77p.

PATADE, V.Y.; SUPRASANNA, P. Radiation induced in vitro mutagenesis for sugarcane improvement. **Sugar Tech** v.10, p.14-18, 2008.

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.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília, AGIPLAN, 1985. 289 p.

PIRES, M. de M.; ALVES, J.M.; ALMEIDA NETO, J.A. de; ALMEIDA, C.M.; SOUSA, G.S. de; CRUZ, R.S. da; MONTEIRO, R.; LOPES, B.S.; ROBRA S. Biodiesel de mamona: Uma avaliação econômica. In: Congresso Nacional da Mamona, 1., Campina Grande. ***Anais...***, Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 1 CD-ROM.

RODRIGUES, L.R.F.; ANDO, A. Uso da sensitividade 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.

SANTOS, H.O. Conservação de sementes de mamona (Ricinus communis L.). 85p. 2010. **Dissertação** (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras.

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. 131f. 1993. **Dissertação** (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa- UFV, Viçosa.

SANTOS, R.F.; KOURI, J.; BARROS, M.A.L.; MARQUES, F.M.; FIRMINO, P.T.; REQUIÃO, L.E.G. Aspectos econômicos do agronegócio da mamona. In: **O agronegócio da mamona no Brasil.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 22-41.

SANTOS, R.F. dos.; BARROS, A.L.; MARQUES, F.M.; FIRMINO, P. de T.; REQUIÃO, L.E.G. Análise Econômica. In: AZEVEDO, D.M.P. de.; LIMA, E.F. (eds.). **O agronegócio da mamona no Brasil**: EMBRAPA-SPI, 2001. p.17-35.

SANTOS, R.F. dos.; KOURI, J. Panorama mundial do agronegócio da mamona. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2., 2006, Aracajú. ***Anais...*** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. 1 CD-ROM.

SANTOS, T.S.; ALMEIDA, F.A.C.; SUASSUNA, T.M.F.; COUTINHO, W.M.; ALMEIDA, P.B.A. Resposta de sementes de amendoin a diferentes doses de radiação gama (60Co)1. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v.14 n.10, p.1074-1078, 2010.

SAVY-FILHO, A. **Mamona: Tecnologia agrícola**. Campinas: EMOPI, 2005. 105p.

SAVY FILHO, A.; PAULO, E. M.; MARTINS, A. L. M.; GERIN, M. A. N. Variedades de mamona do Instituto Agronômico. Campinas: Instituto Agronômico, 1999. p. 12. (**Boletim Técnico, 183**).

SEVERINO, L.S. O que sabemos sobre a torta de mamona. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. (Embrapa Algodão. **Documentos, 136**).

SILVA, S.D.A.; EICHOLZ, E.D.; CASAGRANDE JR., J.G.; AIRES, R.F. Produção de mamona na serra sudeste/RS. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. (Embrapa Clima Temperado, **Documentos,99**).

SILVA, A.S.; DANIELOWWSKI,R.; BRAGA, E.J.B.; DEUNER, S.; MAGALHÃES JR., A.M.; PETERS, J.A. Desenvolvimento de plântulas de arroz oriundasde sementes pré-hidratadas e irradiadas com raios gama. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v.35 n.6, p.1093-1100, 2011.

SILVA, S.D.A.; CASAGRANDE JR, J. G; MAGNANI, M.; Introdução e Importância econômica da mamona - Sistema de produção da mamona. Embrapa Clima Temperado. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/SistemaProducaoMamona/introducao.htm. Acesso em novembro de 2011.

SILVA, S.D.A.; CASAGRANDE JR, J. G; MAGNANI, M.; Cultivares - Sistema de produção da mamona. Embrapa Clima Temperado. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/SistemaProducaoMamona/cultivares.htm Acesso em Outubro de 2011.

STREET, H.E.; OPIK, H. **Fisiologia das Angiospermas: crescimento e desenvolvimento.** São Paulo: Polígono, 1974. 332p.

THIMMAIAH, S.K.; MAHADEVU, P.; SRINIVASAPPA, K.N.; SHANKRA, A.N. Effect of gamma irradiation on seed germination and seedling vigor in Cowpea. **Journal Nuclear Agriculture and Biology**. v.27 n.2, p.142-145, 1998.

TOMLEKOVA, N.B. Induced mutagenesis for crop improvement in Bulgaria. **Plant Mutation Report**, v.2 n.2, p. 4-27, 2010.

TOKEN, C.; UZUN, B.; CANCI, H.; CEYLAN, F.O. Effects of gamma irradiation on the shoot length of Cicer seeds. **Radiation Physics and Chemistry**, v.73 n.6, p.365-367, 2005.

WEISS, E. A. **Oil seed crops.** London: Longman, 1983. 659p.

WREGE, M. S.; SILVA, S. D. A. e; GARRASTAZU, M. C.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; HERTER, F. G.; MATZENAUER, R. Zoneamento agroclimático para mamona no Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. 30 p. (Embrapa Clima Temperado. **Documentos, 192**).

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.

VANHOUDT,N.; VANDENHOVE, H.; HOREMANS, N.; WANNIJN, J.; HEES, M.V.; VANGRONSVELD,J.; CUYPERS, A. The combined effect of uranium and gamma radiation on biological responses and oxidative stress induced in Arabidopsis thaliana. **Journal of Environmental Radioactivity**, 2010.

VEASEY, E.A.; PIOTTO,F.A.; NASCIMENTO, W.F.; RODRIGUES, J.F.; MEZETTE, T.F.; BORGES, A.; BIGUZZI, F.A.; SANTOS, F.R.C.; SOBIERAJSKI,G.R.; RECCHIA, G.H.; MISTRO, J.C. Processos evolutivos e a origem das plantas cultivadas. **Ciência Rural**, v.41 n.7, p.1218-1228, 2011.

VIEIRA, R.M.; LIMA, E.F.; BATISTA, F.A.S. Diagnóstico e perspectivas da mamoneira no Brasil. In: Reunião temática matérias-primas oleaginosas no Brasil: diagnóstico, perspectivas e prioridades de pesquisa. 1997, Campina Grande. Anais... Campina Grande: Embrapa - CNPA/MAA/ABIOVE, p.139-150 (Embrapa - CNPA. **Documentos, 63**).

VIEIRA, M.A.S. Indução de mutações, através de raios gama, visando resistência ao vírus do mosaico da cana-de-açúcar. 88f. 1984. **Dissertação** (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Campinas, Campinas.

ZUCHI, J; BEVILAQUA, G. A. P.; ZANUNCIO, J. C.; PESKE, S. T.; SILVA, S. D. A.; SEDIYAMA, C. S. Características agronômicas de cultivares de mamona em função do local de cultivo e da época de semeadura no Rio Grande do Sul. **Ciência Rural,** v.40, n.3, p.501-506, Santa Maria, 2010.