UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES

ARIOSTO TELES MARQUES

AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA RADIAÇÃO GAMA EM QUATRO VARIEDADES DE MAMONA

(*Ricinus communis* L.*)*

Recife
2020

ARIOSTO TELES MARQUES

AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA RADIAÇÃO GAMA EM QUATRO VARIEDADES DE MAMONA

(*Ricinus communis* L.*)*

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Dosimetria e Instrumentação Nuclear.

Orientador: Prof. Dr. Romilton dos Santos Amaral

Coorientador: Prof. Dr. José Araújo dos Santos Júnior

Recife

2020

Catalogação na fonte
Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

M357a Marques, Ariosto Teles
Avaliação dos efeitos da radiação gama em quatro variedades de mamona (*Ricinus communis* L.) / Ariosto Teles Marques – Recife, 2020.
76 f.: figs., tabs., equações.

Orientadora: Profa. Dra. Romilton dos Santos Amaral.
Coorientador: Prof. Dr. José Araújo dos Santos Júnior.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, 2020.
Inclui referências e anexo.

1. Tecnologias Energéticas e Nucleares. 2. Biológicos. 3. Efeitos. 4. Genético. 5. Mamona. 6. Melhoramento. 7. Radiação. I. Amaral, Romilton dos Santos (Orientador). II. Santos Junior, José Araújo dos (Coorientador). III. Título.

UFPE

621.4837 CDD (22. ed.) BCTG / 2021 - 156

ARIOSTO TELES MARQUES

AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA RADIAÇÃO GAMA EM QUATRO VARIEDADES DE MAMONA

(*Ricinus communis L.*)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Aprovada em: 18 / 12 / 2020.

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. José Araújo dos Santos Junior
Universidade Federal de Pernambuco

_____

Dr. José Nildo Tabosa
Instituto Agronômico de Pernambuco

_____

Prof. Dr. Aldrin Martin Pérez Marin
Instituto Nacional do Semiárido

_____

Prof. Dr. Eduardo Eudes Nóbrega de Araújo
Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco

_____

Prof. Dr. Alberto Antônio da Silva
Instituto Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

A gratidão é algo que levo comigo em todos os momentos da minha vida!

Este doutorado tem um significado muito forte na minha vida, já que foram muitos anos dedicados e várias dificuldades ultrapassadas ao logo do tempo. Dessa forma irei expressar da forma mais humilde e sincera possível a minha gratidão.

Primeiramente agradeço a Grande Arquiteto do Universo por todas as facilidades que me foram e são presenteadas.

Aos meus pais, o Sr. Avelino e a Sra. Geraldina, que me educaram, me ensinaram e me deram a minha 1ª família nesse plano.

Aos meus irmãos: Adalberto (Beto), César, Adna e Júnior pela torcida, companheirismo e por todas as demais benesses de tê-los como irmãos.

A Elisangela pelo companheirismo, amizade, força e incentivo que foram essenciais para que pudesse chegar até aqui.

Agradeço também a ela pelos filhos maravilhosos que me presenteou (Anna Liz, Guilherme e Gabriel) que são minha maior riqueza e me permitiram conhecer o significado da palavra AMOR.

Ao Prof. Colaço que foi a primeira pessoa que acreditou e me deu uma oportunidade quando aqui cheguei e que terá minha gratidão até o último dia de minha vida.

Ao Prof. Romilton, que mesmo sabendo das inúmeras dificuldades que eu tinha, de tempo e logística, me deu essa oportunidade sempre me tratando com respeito e amizade.

Ao Prof. Araújo que foi fundamental para meu retorno ao DEN e pelo apoio, amizade, profissionalismo e ensinamentos que levarei comigo ao longo da vida.

A Profa. MarianaBrayner pela grande contribuição neste trabalho e a amizade.

A todos os amigos que ganhei ao entrar para o grupo RAE: Otávio, Nilson, Andrey, Kennedy, Alberto, Ary, Filipe, Marcela, Lino, Marvik, Neide, Zahily, Jairo, Eduardo, Maria Rita, Cássia.

Ao Grande Aldrin, que além de um amigo é um irmão que sempre se preocupou com minha caminhada científica e que sempre será um exemplo de integridade e conhecimento.

Ao Ilmo. Amigo, conselheiro e incentivador Tabosa, que ao longo de todo esse tempo, nunca deixou de acreditar em mim e me incentivar a concluir esse trabalho.

A todos os demais que de forma direta e indireta contribuíram para a minha formação acadêmica e pessoal.

Minha Gratidão!

RESUMO

A utilização de radiação ionizante como ferramenta de melhoramento de plantas tem sido utilizada mundialmente, em busca de maximizar a produção e atendimento da demanda de consumo. A aplicação da radiação ionizante é considerada uma importante alternativa na produção de espécies geneticamente melhoradas. Neste contexto, o presente estudo avaliou ainfluência daradiação gama em quatro variedades de mamona (*Ricinuscommunis* L.). Um experimento em delineamento inteiramente casualizado e com quatro repetições, foi instalado em campo na estação experimental do IPA/Itambé no perído entre outubro de 2010 a janeiro de 2011. Os parâmetros avaliados incluíram: percentual de germinação, velocidade de germinação, teor de clorofila, altura de plantas, diâmetro de caule, produção de biomassa, cachos e sementes. Os resultados obtidos da experimentação de campo não permitiram observar nenhuma redução na germinação ou na velocidade de germinação em relação ao controle. Quando comparadas as variedades, foram observadas diferenças de comportamento para as espécies Paraguaçu, MPB1, BRS Energia e MPA11, principalmente na velocidade de germinação. A altura de planta não foi afetada em nenhum dos tratamentos na mesma variedade, entretanto, a variedade MPB1 divergiu das demais, independente da dose. Não houve diferença nos teores de clorofila em relação ao controle. A produção de biomassa apresentou diferença entre as variedades e as doses, quando comparadas a matéria verde e seca para duas das variedades estudadas. Quanto ao parâmetro número de cachos, a variedade BRS Energia apresentou maior número. A produção de grãos não apresentou alteração significativa em nenhum dos tratamentos ou variedades. Nas condições em que foi desenvolvido o estudo observou-se que a radiação interferiu no desenvolvimento das plantas, com maiores alterações na produção de matéria seca. As variedades BRS Paraguaçu e MPA11 tiveram maior redução de matéria verde. Todos os genótipos ficaram isentos de redução de altura ou porte das plantas em função do aumento das doses de radiação. O estudo ainda permitiu a obtenção de resultados que podem direcionar futuras pesquisas para melhoramento genético desta cultura.

Palavras-chave: Biológicos. Efeitos. Genético. Mamona. Melhoramento. Radiação.

ABSTRACT

The use of ionizing radiation as a plant breeding tool has been used worldwide, in search of maximizing production and meeting consumer demand. The application of ionizing radiation is considered an important alternative in the production of genetically improved species. In this context, the present study evaluated the radiosensitivity of four varieties of castor (Ricinus communis L.) using gamma irradiation in seeds with controlled doses within a range that allows the germination and improvement of varieties. An experiment in a completely randomized design with four replications was installed in the field at the IPA / Itambé experimental station in the period between October 2010 and January 2011. The assessed parameters: germination percentage, germination speed, chlorophyll content, plant height, stem diameter, biomass production, bunches, and seeds. The results obtained from the field experimentation did not observe any reduction in germination or germination speed in relation to the control. When compared as varieties, differences in behavior were observed for the species Paraguaçu, MPB1, BRS Energia and MPA11, mainly in germination speed. The plant height was not affected in any of the treatments in the same variety, however the MPB1 variety differed from the others, regardless of the dose. There was no difference in the chlorophyll content in relation to the control. Biomass production showing difference between varieties and doses, when compared to green and dry matter for two of the studied varieties. As for the parameter number of bunches, a variety of BRS Energia had the highest number. Grain production does not change in any of the treatments or varieties. Under the conditions in which the study was developed, it was observed that radiation interfered in the development of plants, with greater changes in the production of dry matter. The BRS Paraguaçu and MPA11 varieties present a greater reduction in green matter. All genotypes not have differed in height or size of the plants due to the increase in radiation doses. The study seeks to obtain results that can direct future research for the genetic improvement of this culture.

Keywords: Biological. Effects. Genetic. Castor bean. Improvement. Radiation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - *Ricinus communis* (L.) 16

Figura 2 - Natureza das espécies reativas produzidas na água pela radiação ionizante. 28

Figura 3 - Representação esquemática simplificada do dano direto e dano indireto das radiações ionizantes no DNA. 29

Figura 4 - O diagrama esquemático do GC-220. a: retirado modo. b: no modo inserido .. 37

Figura 5 - Germinação em laboratório para determinação do percentual e índice de velocidade de germinação com sementes submetidas a doses de radiação gama do Co^{60} (Variedade Paraguaçu) em laboratório (UFPB / DBM). 38

Figura 6 - Ensaio em casa de vegetação para avaliação do teor de clorofila na espécie de mamona BRS Energia. 40

Figura 7 - Área experimental (IPA) após o preparo para semeadura/Itambé - PE. 41

Figura 8 - Medida de altura de planta em diferentes épocas após a semeadura - Itambé - PE. 42

Figura 9 - Coleta, acondicionamento e pesagem das folhas para determinação do teor de clorofila 43

Figura 10 - Pesagem de 100 sementes em balança de precisão para estimar peso total da produção em kg/ha..... 40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Panorama da mamona no Brasil. 18

Tabela 2 - Valores médios do Percentual de Germinação de sementes de quatro variedades de mamona submetidas a doses crescentes de radiação gama do cobalto-60. 43

Tabela 3 - Valores médios do Índice de Velocidade de Germinação de sementes de quatro variedades de mamona submetidas a doses crescentes de radiação gama do cobalto-60 em condições de campo. 47

Tabela 4 - Valores médios do teor de clorofila de quatro variedades de mamona submetidas a doses crescentes de radiação gama do cobalto-60, Itambé - PE. . 49

Tabela 5 - Valores médios para altura de planta de quatro variedades de mamona submetidas a doses crescentes de radiação gama do cobalto-60 em experimento de campo. 51

Tabela 6 - Resultados médios obtidos das variáveis – Peso Fresco e Peso Seco de quatro variedades de mamoneira em relação as doses crescentes de radiação gama, Itambé. 52

Tabela 7 - Valores médios para número de cachos por variedades de mamona submetidas a doses crescentes de radiação gama do cobalto-60 em experimento de campo. 54

Tabela 8 - Valores médios para peso de sementes de quatro variedades de mamoneira, independentemente das doses de radiação gama. 56

Tabela 9 - Resultados médios obtidos das variáveis – Nº de Cachos, Peso de Sementes e Teor de Clorofila de quatro variedades de mamoneira, independentemente das doses de radiação gama. 58

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Índice de Velocidade de Germinação.....37
Equação 2 - Teor de Clorofila.....41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **11**
2 OBJETIVOS **13**
2.1 GERAL 13
2.2 ESPECÍFICOS 13
3 REVISÃO DE LITERATURA 14
3.1 A MAMONA (*Ricimuscomunis L.*) 14
3.2 O MELHORAMENTO GENÉTICO DE PLANTAS 18
4 AS RADIAÇÕES IONIZANTES **21**
4.1 CARACTERÍSTICAS DAS RADIAÇÕES GAMA 22
4.2 INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA 23
5 EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES **26**
6 O USO DE MUTAÇÕES RADIOINDUZIDAS **30**
7 MATERIAL E MÉTODOS **34**
7.1 VARIEDADESDE MAMONAS 34
7.2 PROCESSO DE IRRADIAÇÃO DAS AMOSTRAS 36
7.3 ARRANJO EXPERIMENTAL 37
7.4 TEOR DE CLOROFILA 42
8 RESULTADOS E DISCUSSÃO **45**
8.1 PERCENTUAL DE GERMINAÇÃO EM CAMPO 45
8.1.1 Índice de velocidade de germinação em condições de campo **47**
8.1.2 Teor de clorofila em campo **48**
8.1.3 Altura de planta em condições de campo **50**
8.1.4 Matéria verde e seca **51**
8.1.5 Número de Cachos **53**
8.1.6 Peso de Sementes **56**
8.1.7 Números de cachos, peso de sementes e teor de clorofila independe da dose aplicada **57**
8.1.8 Altura de planta, Diâmetro de Caule, peso verde e peso seco independe da dose aplicada **59**
9 CONCLUSÕES **61**
REFERÊNCIAS **62**
ANEXO A – ETAPAS DE EXPERIMENTO **73**

1 INTRODUÇÃO

O cultivo da mamona no Brasil existe desde a sua descoberta, visto ter sido introduzida pelos portugueses há alguns séculos e, desde o início do século XX, utilizadas como culturas importantes para os pequenos e médios produtores do Brasil, especialmente na região Nordeste (EMBRAPA, 2004).

A mamona (*Ricinuscommunis L.)* pertence à família Euphorbiaceae engloba grande número de tipos de plantas nativas da região tropical. O óleo de mamona ou óleo de rícino, é extraído pela prensagem das sementes, contém até 90% de ácido graxo ricinoléico, o qual confere suas características singulares, possibilitando ampla utilização industrial, tornando a cultura com importante potencial econômico e estratégico para o país (AMORIM NETO et al., 2001).

A importância da mamona no cenário nacional se destaca pelo aspecto socioeconômico em áreas de baixa disponibilidade hídrica e está intimamente associada a agricultura familiar no semiárido nordestino(AZEVEDO et. al.1998). De acordo com Carvalho (2005), muitos produtores optam pelo seu plantio em substituição a culturas tradicionais como milho, feijão em função da menor perda de produção devido à escassez hídrica da região.

Com o aumento da procura de materiais ecologicamente corretos, várias linhas de pesquisas têm auxiliado no descobrimento e utilização de matéria prima renovável para diversas áreas, entre elas, as de combustíveis, óleos lubrificantes e indústria farmacêutica.

O avanço da tecnologia tem permitido grandes descobertas no que se refere ao desenvolvimento de componentes necessários para a melhoria da qualidade de vida dos seres humanos, com destaque para o melhoramento vegetal que vem contribuindo significativamente para o surgimento de variedades resistentes, tolerantes aos solos pouco férteis, aumentando a produtividade e atendimento das demandas. Um dos procedimentos utilizados no melhoramento genético de espécies vegetais é a aplicação da radiação ionizante, tornando possível à obtenção de variedades que apresentam melhores características agronômicas.

A radiação ionizante é um agente físico capaz de interagir com tecido vivo ocasionando diversos tipos de efeitos. Os efeitos das radiações ionizantes no DNA dependem de diversos fatores, entre eles: tipo de radiação, pH do meio, temperatura, teor de oxigênio, presença de aceptores de radicais livres, características do próprio DNA e a possibilidade de reparação dos produtos induzidos pela radiação (SCHABERLE; SILVA,

2004). Dentre os efeitos são destacadas as alterações estruturais das bases nitrogenadas e desoxirriboses.

A radiação pode interagir com o DNA de forma indireta, ou seja, a energia é depositada em moléculas de água encontradas na célula produzindo ionizações, radicais livres e por consequência, compostos tóxicos ao metabolismo, com possíveis danos celulares (OKUNO,1988).

O procedimento natural de funcionamento dos organismos vivos envolve trocas energéticas relativamente baixas e possuem um elevado grau de harmonia auto regulável. Em contraste, a interação das radiações ionizantes com a matéria viva, a depender do tipo e energia depositada, pode produzir desordem molecular e celular em decorrência da sensibilidade de cada espécie e grau de reparação (COELHO, 1977).

A seleção fenotípica existe desde quando o homem deixou o nomadismo, e com o início das revoluções verdes e a necessidade crescente por alimentos, o melhoramento baseado neste princípio, passou a contribuir substancialmente para o surgimento de novas cultivares e híbridos mais adaptados aos fatores bióticos e abióticos. Não obstante a isso, nas avaliações fenotípicas, principalmente para alguns caracteres, tais como os de baixa herdabilidade, é necessária a utilização de técnicas elaboradas de experimentação para que se possa obter uma cultivar que esteja entre o fenótipo e o genótipo dos indivíduos (TOPPA, 2013).

Essas primeiras populações melhoradas deram origem às chamadas "land-races", ou variedades crioulas, que são à base dos cultivares atuais (BAGGIO, 1999).

Para alcançar seus objetivos, os melhoristas têm contado com o auxílio de algumas ferramentas valiosas. A evolução consiste de duas ferramentas, a recombinação e a seleção, e ambas têm sido intensivamente utilizadas com o emprego de métodos refinados desenvolvidos na primeira metade do século XX (BORÉN; MILACH, 1999).

Neste trabalho, sementes de mamona (*Ricinuscommunis*L.*)* de quatro variedades foram irradiadas com diferentes doses de radiação gama do ^{60}Co, utilizado como agente mutagênico, com o objetivo de possibilitar alterações nas suas propriedades e características agronômicas básicas, especificamente, avaliar a radiossensibilidade da mamona e possível aplicação dessa técnica para um programa de melhoramento da espécie.

2 OBJETIVOS

A seguir, estão descritos os objetivos referentes ao presente trabalho.

2.1 GERAL

Avaliar os efeitos da aplicação da radiação gama como ferramenta indutora de variabilidade genética em variedades da mamona (*Ricinuscommunis L.)*.

2.2 ESPECÍFICOS

Analisar a radiossensibilidade de sementes de mamona a doses crescente de radiação gama.

Estimar uma dose que não inviabilize o potencial germinativo, vegetativo e produtivo das sementes irradiadas.

Avaliar a viabilidade do processo para aplicação em um programa de melhoramento genético para essa espécie vegetal.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A seguir, estão citados como base bibliográfica, parte dos artigos, livros, teses e dissertações que serviram de base teórica para o desenvolvimento do presente trabalho.

3.1 A MAMONA (*Ricimuscomunis L.*)

A mamona é uma planta que possui várias características para uso, dentre elas, a utilização do óleo de rícino para fabricação de óleos lubrificantes, biocombustíveis, vernizes e tintas entre outros (PIRES et al. 2004).

No continente americano, sua introdução foi feita depois da chegada dos europeus, provavelmente com a importação dos escravos africanos, sendo as formas existentes relacionadas com as da África.

No entanto, Moreira et al., (1996) afirmam que a mamoneira tem seu centro de diversidade localizada na antiga Abissínia, hoje Etiópia, e no leste da África, existindo outros centros de diversidade. A domesticação dessa cultura perde-se no tempo, tendo sido relatado seu uso no Egito, no ano 4000 aC.

A mamoneira (*Ricinuscommunis* L.), também conhecida como carrapateira ou rícino, é uma espécie de origem tropical que vegeta naturalmente desde a longitude 400° Norte até 400° Sul (CHIERICE e CLARO NETO, 2001). É uma dicotiledônea pertencente à família Euphorbiaceae, que inclui um grande número de espécies nativas da região tropical.

É uma espécie perene que pode viver mais de 12 anos e atingir até 10 metros de altura, sendo uma planta de hábito arbustivo, com diversas colorações de caule, folhas e frutos tipo racemos (cachos), podendo possuir cera no caule e pecíolo.

Os frutos, geralmente possuem espinhos, podendo as sementes apresentar diferentes tamanhos, formatos e grande variabilidade de coloração (MOREIRA et al, 1996; AZEVEDO et al, 1997a; AZEVEDO et al, 1997b; AMORIM NETO et al, 2001).

Essa cultura mostrou ampla adaptação às condições de clima e solo do Brasil, sendo encontrada, praticamente, em todo o território nacional. No Brasil, é conhecida a espécie denominada de mamoneira, rícino, carrapateira, enxerida e palma-de-cristo; na Inglaterra e nos Estados Unidos, pelo nome de "*castor bean*" e "*castor oilseed*", enquanto na Alemanha é conhecida como "*wunderbaum*"; em espanhol, "*higuerilla*, *higuerete*, *palma-*

Christi, higuera e *tártago"*; em francês, "*ricinu*", o que mostra sua grande dispersão de classificação (EMBRAPA, 2018).

Sua classificação botânica é constituída por: (a) subdivisão: Fanerogamae ou espermatophita;(b) filo: Angiospermae;(c) classe: Dicotiledonae;(d) bubclasse: Archichlamydeae;(e) ordem: Geraniales; (f) família: Euphorbiaceae;(g) gênero: *Ricinus*;(h) espécie: *Ricinuscommunis*.

As plantas da espécie apresentam grande variabilidade e características diferenciadas, como: hábito de crescimento, cor das folhas e caule, tamanho e cor, além do teor de óleo das sementes. Pode-se, portanto, encontrar tipos botânicos de porte arbóreo ou baixo, de ciclo anual ou semi-perene, com folhas e caule verde, vermelho ou até rosa, podendo apresentar cera no caule e frutos com frutos ou sem espinhos, deiscentes ou indeiscentes, com sementes de diversos tamanhos e colorações e diferentes teores de óleo (SAVY FILHO, 1999).

Por ser uma oleaginosa de grande importância no Brasil e no mundo, fornecendo matéria-prima industrial para diversos produtos, com a possibilidade de uso do seu óleo na produção de biodiesel, tem provocado o interesse do mercado por sua cadeia produtiva. A forte tendência mundial em função do uso de energias provenientes de fontes renováveis em possível substituição ao petróleo destaca a mamona como uma importante alternativa principalmente para regiões com escassez de água, como é o caso do Nordeste Brasileiro (BELTRÃO ET AL. 2006).

Quanto à importância econômica, a mamona tem sido utilizada com sucesso no consórcio com outras culturas anuais e perenes, considerandoa facilidade em ser conduzida e retorno capital com a venda de suas sementes. Outro aspecto importante é a sua incorporação ao solo dos restos culturais e do resíduo de fertilizante que permanece no solo. A recuperação de pastagens degradadas também é alternativa no benefício do cultivo de mamona (CONAB, 2019).

As fábricas de óleo de mamonas industrializam toda a produção, obtendo-se como produto principal o óleo e subproduto a torta de mamona, de grande capacidade de restauração das terras esgotadas.

Embora o óleo de mamona apresente alta viscosidade, não é indicada para o biodiesel puro, pois apresenta uma queima incompleta, o que provoca a formação e acúmulos de carbono nos bicos injetores e nos anéis de pistões. A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Combustível, na sua portaria 310/01, recomenda no máximo uma

proporção de até 40% deste biocombustível para ser adicionada ao diesel de petróleo sem alterar as especificações para o óleo diesel mineral (ANP, 2001).

A Figura 1 contém as partes da *Ricinuscommunis (L.)*, inflorescência, fruto semiaberto com semente a mostra, sementes, corte transversal do caule, cotiledom, corte longitudinal da semente, fruto seco, corte longitudinal do fruto, inflorescência do fruto.

Figura 1 - *Ricinuscommunis*(L.)

1 - Inflorescência. 2 - Fruto semiaberto com semente a mostra. 3 - Sementes. 4 - Corte transversal do caule. 5 - Cotiledom. 6 - Corte longitudinal da semente. 7 - Fruto seco. 8 - Corte longitudinal do fruto. 9 - Inflorescência do fruto.

Fonte: CASTOR OILPLANT (2010).

De acordo com Parente (2004), o óleo de mamona é considerado o melhor para produzir biodiesel, pelo fato de ser o único solúvel em álcool, e por não necessitar de calor, o que reduz o gasto de energia para sua transformação em combustível, que é necessário para outros óleos vegetais.

A mamona foi incluída no Programa Nacional do Biodiesel, elaborado pelo Governo Federal, que autorizou adição de 2% de combustíveis derivados de óleos vegetais ao diesel, obtido a partir do petróleo, iniciando em 2008, e elevando esse porcentual para 5% até 2012 (RAMOS et al., 2006).

A área de cultivo da mamona no Brasil encontra-se entre 120 a 150 mil hectares, estando cerca de 80% da produção na Bahia. Entre os principais estados produtores também figuram Ceará, São Paulo, Minas Gerais, e Piauí. Devido à maior seca dos últimos 60 anos, houve uma queda significativa na produção da mamona no Nordeste, chegando a 50% na região de Irecê na Bahia e 60% no Ceará. Em função da escassez, subiram os preços, tornando a importação necessária para abastecer as indústrias, que se tornou de maior interesse (EMBRAPA, 2013).

O cultivo da mamona é realizado no sistema monocultivo ou consorciado com feijão-caupi, com produção semi-perene ou associada aos diversos tipos de lavouras cultivadas por médios e pequenos produtores em regime de sequeiro ou irrigado. As áreas produtivas estão localizadas exclusivamente no centro-norte. O grande crescimento da área cultivada se deve à retomada das áreas em pousio (CONAB, 2019).

De acordo com Silva, et al. (2015), a mamona apresenta alta capacidade de adaptação e se desenvolve em quase todos os tipos de solos, sendo recomendável o solo de média e alta fertilidade natural, que apresente uma acidez do solo ou pH entre 6,0 e 7,0, e que também não apresente salinidade elevada ou alagamento. No caso de plantas oleaginosas como a mamona, fertilizantes fosfatados são importantes para a formação dos grãos, aumentando o volume de produção e possibilitando a precocidade da planta. Já os fertilizantes potássicos beneficiam os sistemas enzimáticos. Para que a produção de mamona seja satisfatória, é necessário 500 a 1.000 milímetros (mm) de chuvas bem distribuídas, ocorrendo a maior exigência de água na fase inicial de desenvolvimento, necessariamente nos primeiros 70 dias. Por isso, é necessário seu plantio no início das chuvas (BELTRÃO at al., 2005).

A importância da cultura da mamona no cenário mundial se deu principalmente pelo uso do seu óleo, que é o único óleo vegetal que contém até 85% do ácido ricinoléico, o qual confere propriedades industriais específicas ao óleo, garantindo uma ampla aplicabilidade em diversos segmentos da indústria (ANJANI, 2012), além da estabilidade em várias condições de pressão e temperatura (RAMANJANEYULU et al., 2013), o que garante sua utilização na fabricação de lubrificante na aeronáutica, tintas, como base na manufatura de cosméticos, drogas farmacêuticas e em vários outros processos industriais (SANTOS et al., 2014).

Não só o óleo, mas todas as outras partes da planta também são utilizadas para diversos fins. Por exemplo, sua haste pode ser usada como celulose para a fabricação de papel, ou como matéria prima na confecção de tecidos; suas folhas podem ser usadas para alimentar bicho da seda e até para elevar a secreção láctea das vacas (CAVALCANTE, 2004).

Na Tabela 1, pode ser observado o panorama brasileiro da produção de mamona por região, produtividade e área plantada da safra de 2019 de acordo com a CONAB (2019).

Tabela 1 - panorama da mamona no brasil

REGIÃO/UF	ÁREA (mil ha)			PRODUTIVIDADE (kg/ha)			PRODUÇÃO (mil t)		
	Safra 17/18	Safra 18/19	VAR. %	Safra 17/18	Safra 18/19	VAR. %	Safra 17/18	Safra 18/19	VAR. %
	(a)	(b)	(b/a)	(c)	(d)	(d/c)	(e)	(f)	(f/e)
NORDESTE	29,0	45,2	56	606	604	0,3	17,5	27,3	56,0
CE	2,0	2,0		262	257	1,9	0,5	0,5	
BA	27,0	43,2	60	631	620	(1,7)	17,0	26,8	57,6
CENTRO-OESTE	2,7	2,7		900	900		2,4	2,4	
MT	2,7	2,7		900	900		2,4	2,4	
SUDESTE	0,1		(100,0)	896		(100,0)	0,1		(100,0)
MG	0,1			896		(100,0)	0,1		(100,0)
NORTE/NORDESTE	29,0	45,2	56	606	604	(0,3)	17,5	27,3	56,0
CENTRO-SUL	2,8	2,7	(3,6)	900	900		2,5	2,4	(4,0)
BRASIL	**31,8**	**47,9**	**51**	**631**	**621**	**1,7**	**20,0**	**29,7**	**48,5**

VAR. – Variação / (f/e) – Percentual de variação entre safras – (b/a) Percentual de variação na área plantada
Fonte: CONAB (2019).

Na tabela 1, verifica-se que o maior produtor nacional é a Bahia, com uma área plantada de 43,2 mil hectares com essa cultura, em2018/2019. A produtividade nacional no período 2018/2019foi de 29,7 mil toneladas, o que representou um aumento de 48,5% em relação à 2017/2018.

3.2 O MELHORAMENTO GENÉTICO DE PLANTAS

A ação humana sobre a natureza é tão antiga quanto à história da humanidade. A domesticação de plantas e animais teve início a partir do momento em que o homem

primitivo mudou seu hábito nômade e fixou-se à beira dos grandes rios. Essa mudança de hábito levou o homem a iniciar a agricultura há 10.000 anos (MARINO, 2006).

O Século XX foi marcado por grandes descobertas ou desenvolvimentos tecnológicos que tiveram profundo impacto na maneira de se fazer o melhoramento de plantas.

A disponibilidade de variação hereditária é um pré-requisito para o melhoramento genético das culturas, onde a variação suficiente não existe naturalmente, porém, pode ser criada através de processos aleatórios ou direcionados (CIESLAK, 2017).

Avery (1994), já comentava que a área dedicada à agricultura no mundo é igual à área da América do Sul, mas, se a produtividade agrícola fosse igual à de 1950, para se obter a mesma produção seria necessário cultivar uma área equivalente a todo o hemisfério ocidental.

Todo esse progresso foi obtido graças ao conhecimento sobre a natureza das plantas e de técnicas do seu cultivo. Inicialmente, com a domesticação e seleção empírica, foi possível desenvolver cultivares da quase totalidade das espécies atualmente cultivadas. Após a redescoberta das leis mendelianas em 1900, e o posterior desenvolvimento da Genética, o melhoramento das plantas passou a ser cada vez mais eficiente, graças a várias tecnologias desenvolvidas ao longo do século XX (PATERNIANI, 2006).

O uso de mutação induzida no melhoramento de plantas tem se tornado uma forma comprovada de gerar novas fontes de variações genéticas na criação de novos cultivares. Esta ferramenta adicional foi uma abordagem valiosa para o melhoramento de plantas no mundo da indústria ornamental (ABDULLAH, et. al., 2009).

Outro método também aplicado é o da esterilidade masculina, pois facilita e minimiza o custo do trabalho de cruzamento para a criação de híbridos para culturas alógamas. No caso de culturas autógamas, surgem perspectivas para o uso prático do vigor híbrido (DUVICK, 1986).

Variedades de plantas melhoradas têm contribuído de forma fundamental para o progresso e produção na agricultura e horticultura. A variabilidade genética e a seleção são necessárias para o melhoramento. A indução à mutação pelas radiações ou outros mutagênicos, atuam alterando genes e criando variabilidade genética melhoradas (MICKE, 1981).

A radiação gama é considerada um dos principais indutores de mutação, considerando os aspectos da interação com a matéria e alterações na estrutura cromossômica (PIMENTEL, 1990). Altas exposições a raios gama podem causar danos nas

sementes (MEHETRE et al., 1994) e geralmente apresentam efeitos inibitórios (THAPA, 1999). Vários trabalhos relatam que, a radiação gama afeta negativamente a germinação, o desenvolvimento e os teores de pigmentos na planta, pela formação de radicais livres (Marcu et al.; 2013). Outros autores como Kuzin et. al. (1975), verificaram aumento da percentagem de germinação em doses mais elevadas e considera ser devido aos efeitos estimulantes sobre a ativação da síntese do RNA, ou sobre a síntese proteica (KUZIN et al., 1976).

Kumar (2019) citando Britt (1996) corrobora que, apesar da disponibilidade de agentes mutagênicos, ainda é difícil direcionar a indução da mutação com a expressão desejada para uma visão geral das mudanças que podem ocorrer nos níveis de genes, cromossomos e genoma, incluindo quebra cromossômica, inversão, duplicação, translocação e mutação pontual.

Nas pesquisas de melhoramento de plantas, resultados comparados com a diversidade são essenciais, pois permitem identificar associações hibridas que possam produzir efeitos no vigor híbrido, além de proporcionar maior variabilidade genética nas gerações segregantes (BAHIA et al., 2008; GONÇALVES et al., 2009; ROCHA et al., 2009). Existem também os métodos multivariados, que podem ser usados no estudo da diversidade genética, com escolha norteada em função da precisão desejada pelo pesquisador, bem como, da facilidade de análise e da forma como os dados são obtidos.

4 AS RADIAÇÕES IONIZANTES

Os materiais que chamamos de elementos são compostos de átomos, que por sua vez são compostos de nêutrons, prótons e elétrons. Prótons (partículas carregadas positivamente) e nêutrons (partículas neutras sem carga) residem e compreendem principalmente o núcleo de qualquer átomo, enquanto os elétrons existem em uma “nuvem” de órbitas ao redor do núcleo. Nuclídeo é um termo geral que se refere a qualquer átomo. Todos os átomos de um elemento têm o mesmo número de prótons (o número de prótons = o número atômico), mas podem ter diferentes números de nêutrons (isso se reflete na massa atômica ou peso atômico do elemento). Átomos com o mesmo número atômico, mas diferentes massas atômicas, são chamados de isótopos de um elemento. Um isótopo é um nuclídeo específico que se caracteriza pela composição de seu núcleo (pelo número de prótons e nêutrons no núcleo) (KEITH et. al. 1999).

A estabilidade de um átomo é o resultado do equilíbrio das forças entre os componentes do núcleo.

Radioatividade é um processo no qual um núcleo com Z prótons e N nêutrons pode se transformar em outro núcleo com Z e N diferentes. Esta transformação é chamada desintegração nuclear, sendo acompanhada por emissão de radiação. Por este motivo, estes núcleos instáveis são chamados radioativos (BRÜCKMANN e FRIES, 1991).

É considerada radiação ionizante, toda radiação que tem energia suficiente para arrancar elétrons dos átomos ou moléculas ao interagir com a matéria, sejam elas, corpusculares ou eletromagnéticas (AMARAL, 2010), ou seja, as radiações ionizantes são geralmente caracterizadas por sua capacidade de excitar e ionizar átomos da matéria com a qual interagem. Uma vez que a energia necessária para fazer com que um elétron de valência escape de um átomo é da ordem de 4-25 eV, as radiações devem transportar energias cinéticas ou quânticas em excesso dessa magnitude para serem chamadas de "ionizantes"(ATTIX, 2004).

Os átomos sofrem transformação radioativa porque os constituintes do núcleo não estão dispostos nos estados de energia potenciais mais baixos possíveis; portanto, ocorre um rearranjo do núcleo de tal forma que esse excesso de energia é emitido e o núcleo se transforma em átomo de um novo elemento (LAMARSH, 1983).

A transformação de um núcleo pode envolver a emissão de partículas alfa, negatrons, pósitrons, radiação eletromagnética na forma de raios-x ou raios gama e, em menor grau, nêutrons, prótons e fragmentos de fissão. Essas transformações são

espontâneas e os valores Q são positivos; se o conjunto de constituintes nucleares está nos estados de energia potenciais mais baixos possíveis, a transformação produz um átomo estável; se não, outra transformação deve ocorrer (JAMES, 2013).Talvez a melhor maneira de relacionar a dinâmica das transformações radioativas seja considerar núcleos instáveis, ou radioativos, em relação aos que são estáveis por natureza.

O decaimento radioativo mudará um núcleo para outro se o núcleo do produto tiver uma energia de ligação nuclear maior do que o núcleo em decadência inicial. A diferença na energia de ligação (comparando os estados antes e depois) determina quais decaimentos são energeticamente possíveis e quais não são. O excesso de energia de ligação aparece como energia cinética ou energia da massa de repouso dos produtos de decomposição (ABUBAKAR, 2019).

As radiações estão divididas em partículas, que incluem elétrons, pósitrons, prótons, partículas alfas, mésons carregados, múons e íons pesados, e os fótons acima de 10 keV (raios X e raios gama) (ÇALIŞKAN, 2018).

Foi descoberto pelo cientista francês Henri Becquerel em 1896 quando descobriu que um elemento, o urânio, emitia algo invisível que embaçava suas chapas fotográficas. O termo radioatividade foi sugerido por Marie Curie cerca de 4 anos depois. Originalmente, três tipos de radiação foram descobertos (AHMED, 2007).

As formas mais comuns de radiação emitida são tradicionalmente classificadas como radiação alfa (α), beta (β) e gama (γ). Dos núcleos encontrados na Terra, a grande maioria é estável. Isso ocorre porque quase todos os núcleos radioativos de vida curta decaíram durante a história da Terra. Existem aproximadamente 270 isótopos estáveis e 50 radioisótopos naturais (isótopos radioativos). Além dos outros radioisótopos que foram produzidos em laboratório (WALHSTROM, 1996).

4.1 CARACTERÍSTICAS DAS RADIAÇÕES GAMA

As radiações gama são emitidas do núcleo do átomo, o qual se encontra num estado excitado de energia, o que diferencia significativamente das radiações X, as quais são emitidas das camadas eletrônicas dos átomos.

Essas emissões não ocorrem de forma desordenada, mas possui um “padrão” de emissão denominado espectro de emissão (ANDREUCCI, 2006). De acordo com o mesmo autor, essas radiações são emitidas com intensidades e energias bem definidas,

caracterizando um espectro discreto de emissão, em outras palavras, possuem energias bem determinadas e características do radioisótopo considerado.

O processo de detecção de radiação gama é baseada na interação entre a radiação e o material detector. O fóton se espalha dos elétrons do material (o chamado espalhamento Compton), e em cada processo de espalhamento ele perde uma parte de sua energia. Se o fragmento do material for grande o suficiente e as dispersões ocorrerem de maneira adequada, toda a energia do raio gama inicial será absorvida no material (THORAEUS, 1959). Assim, a energia do fóton é encontrada medindo a energia absorvida pelo material.

O cobalto é o 30º elemento mais abundante na crosta terrestre, é encontrado na natureza exclusivamente associado a outros elementos, onde estão incluídos mais de 200 minerais (GREENWOOD E EARNSHAW, 1997), entre eles, apenas alguns que apresentam interesse comercial, tais como: esmaltita – CoAs2 , cobaltita – CoAsS, linneíta – Co3 S4 e eritrita – Co3 (AsO4) 2 ·8H2 O. Juntamente com esses minerais, o cobalto ocorre associado a elementos metálicos, tais como níquel, cobre, chumbo, ferro e prata (MEDEIROS, 2013).

De acordo com Thoraeus, (1959), quando o cobalto (Co^{59}) metálico comum é exposto a um feixe de nêutrons de alta energia, o isótopo de cobalto (Co^{60}) instável é produzido. Este isótopo, geralmente designado como cobalto 60, desintegra-se com meia-vida de 5,3 anos, emitindo radiação que consiste em baixa energia, 0,31 MeV, raios beta, e energia muito superior, 1,17 e 1,33 MeV, raios gama; estes últimos, para muitos fins, podem ser considerados essencialmente monoenergéticos com uma energia média de 1,25 MeV.

4.2 INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA

As radiações eletromagnéticas, tais como os raios X e raios γ provocam ionização ao longo do percurso, embora sua ionização pequena no início da interação, ela eleva-se enormemente no final (LEÃO, 1983).

Ao serem ejetados, aleatoriamente, elétrons das camadas eletrônicas de átomos, as radiações ionizantes contribuem para romper, mesmo que momentaneamente, o equilíbrio entre as cargas positivas e negativas do átomo. À introdução de cargas elétricas livres um meio irradiado, possibilita um rearranjo eletrônico que pode envolver elétrons de outros átomos e moléculas. Este rearranjo de elétrons tem como consequência o restabelecimento do equilíbrio perdido (CNEN,2009).

De todo espectro das ondas eletromagnéticas, somente os raios X e gama são radiação ionizante, isto é, têm energia suficiente para ionizar átomos. Os fótons de raios X e gama, diferentemente de partículas carregadas, perdem toda ou quase toda energia numa única interação com átomos, ejetando elétron deles que, por sua vez, saem ionizando átomos até pararem (OKUNO, 2013).

A quantidade de energia que a radiação transfere por unidade de comprimento do caminho é chamada de transferência de energia linear (LET) e é medida em unidades de MeV / µm. Este recurso reflete a capacidade de uma radiação de produzir danos biológicos. A radiação é classificada como alta transferência de energia linear (alto LET) ou baixa transferência de energia linear (baixo LET), com base na quantidade de energia que ela transfere por unidade de comprimento de caminho que percorre. A radiação alfa é alta LET; radiação beta e gama são baixas LET. Partículas alfa são classificadas como alta radiação LET porque sua grande carga +2 e massa relativamente grande (cerca de 7.200 vezes a de um elétron) fazem com que se movam relativamente devagar e interajam fortemente com qualquer material por onde passam, produzindo ionização densa ao longo de seu caminho. Partículas beta, que são elétrons energéticos, são classificadas como radiação LET baixa. Embora interajam com a matéria de maneira semelhante às partículas alfa, sua carga +1 ou -1 menor e sua massa menor resultam em uma distância maior entre as colisões ionizantes e, portanto, em uma taxa menor de transferência de energia. Os raios gama são radiação ionizante indiretamente. Dependendo de sua energia e do número atômico do material absorvente, um fóton de raios gama interage com um átomo absorvedor por um dos três mecanismos primários (fotoelétrico, espalhamento de Compton e produção de pares), que resulta na produção de elétrons altamente energéticos, que dissipam sua energia interagindo com outros átomos em seu caminho exatamente da mesma maneira que as partículas beta (que são elétrons) e os excitam e ionizam átomos. Como as ionizações resultantes da radiação gama são devidas aos elétrons, a radiação gama é uma radiação LET baixa (SHLEIN, 1992).

No processo de transferência de energia de uma radiação incidente na matéria, as radiações que tem carga, como os elétrons, partícula e freamentos de fissão, atuam principalmente por meio de seu campo elétrico e transferem sua energia para muitos átomos ao mesmo tempo, e são denominadas radiações diretamente ionizantes. As radiações que não possuem carga, como as radiações eletromagnéticas e nêutrons, são chamadas de radiações indiretamente ionizantes, pois interagem individualmente transferindo sua energia para os elétrons, que irão provocar novas ionizações (TAUHATA, et. al., 2003).

5 EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES

Os organismos vivos apresentam uma resistência diferenciada em relação aos efeitos biológicos das radiações ionizantes. Em geral, quanto maior a sua complexidade orgânica, estrutural e neurológica menor sua resistência (UNSCEAR, 1986).

Após uma partícula ou radiação eletromagnética arrancar elétrons da orbital dos átomos de uma molécula constituinte de um sistema biológico, existe a possibilidade de desestabilizar esses átomos e resultar em quebra molecular (OKUNO; YOSHIMURA, 2010; OKUNO, 1988). Apesar do impacto, os mecanismos moleculares subjacentes ao dano tecidual revelam que muitas biomoléculas são modificadas quimioseletivamente pela radiação ionizante.

Os efeitos genéticos das radiações podem ocorrer com qualquer nível de exposição dos indivíduos as radiações ionizantes, seja crônica ou aguda, pois não há um limiar para produção de alterações genéticas, a exemplo do que ocorre nos efeitos somáticos. Esses efeitos envolvem uma série de eventos que são amplificados por sinalização endógena e culminam em dano oxidativo ao DNA, lipídios, proteínas e muitos metabólitos (REISZ, 2014).

Os efeitos biológicos podem ser ocasionados por ação direta e indireta da radiação. As alterações diretas ocorrem quando umamacro molécula biológica fica ionizada ou excitada devido a interação com partícula ionizante ou fóton, que passa através ou próximo da molécula transferindo sua energia para a mesma.

Efeitos indiretos resultam de interações entre a radiação e o meio, o que cria espécies quimicamente reativas, que por sua vez interagem com a molécula. Como os seres vivos são compostos por aproximadamente 70% de água, a grande maioria das lesões induzidas por radiação ionizante é realizada através da ação indireta em moléculas de água (BRUSTAD, 1979).

Os radicais livres podem danificar ou modificar componentes das células vegetais. Foi relatada que afeta a germinação das sementes, morfologia, anatomia e características físico-químicas das plantas, dependendo do nível de irradiação (MAAMOUN, 2014).

De acordo com Xavier (2003), uma vez que a água é o principal componente das células, a maior parte da radiação incidente é por ela absorvida, dando lugar às seguintes espécies reativas.

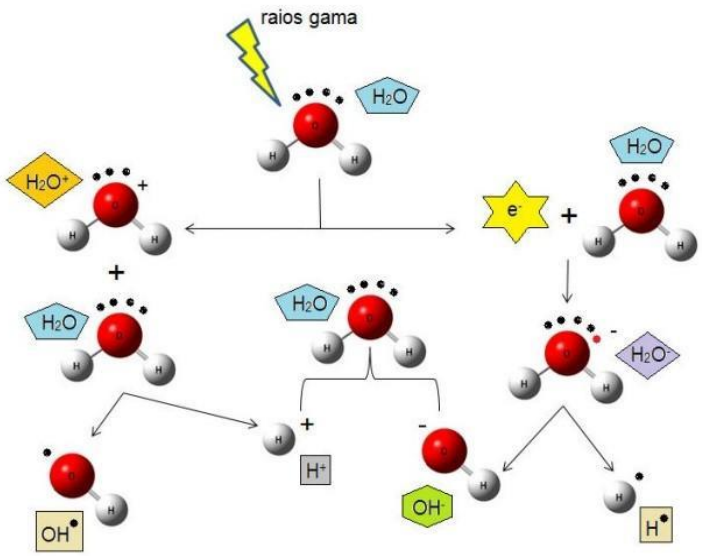
A molécula de água, afetada pela passagem da radiação, é ionizada. O elétron que deixa a molécula é ‘aprisionado’ por demais moléculas de água que, devido a sua natureza

polar, se posicionam de tal forma que os átomos de hidrogênio, carregados positivamente, ficam mais próximos ao elétron e os átomos de oxigênio, mais distantes.

Exista ainda a possibilidade da radiólise da molécula da água, a formação dos radicais livres, tais como o hidrogênio e a hidroxila que, sendo altamente reativos, interagem quimicamente entre si ou com as moléculas do meio, modificando-as (XAVIER et. al., 2003).

Na figura 2, é possível observar o efeito indireto e suas consequências reativas na molécula da água.

Figura 2 - natureza das espécies reativas produzidas na água pela radiação ionizante

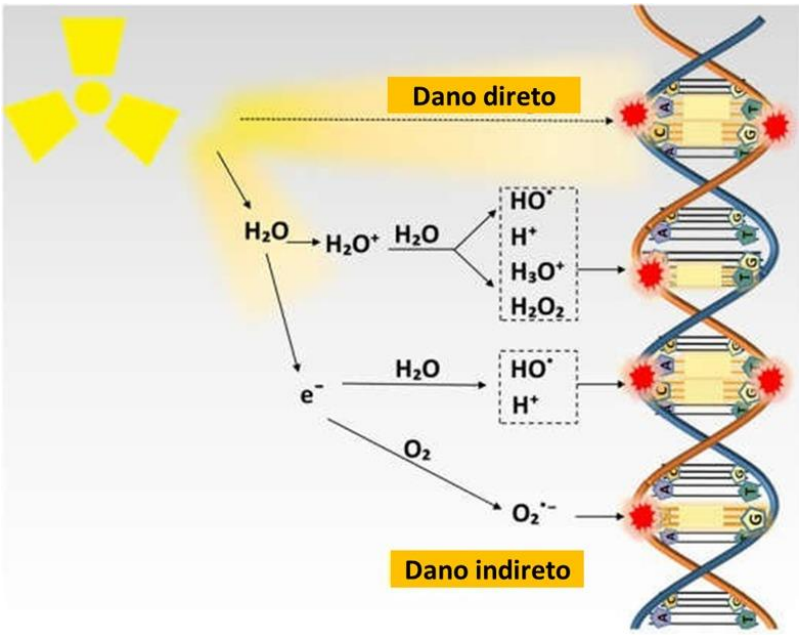


Fonte: DA SILVA(2014)

Danos diretos às macromoléculas por radiação envolvem a transferência parcial ou completa de energia para um ou mais elétrons na molécula. Cada elétron que recebe energia suficiente para superar as forças de atração do núcleo escapa do DNA ou de outra macromolécula e o deixa na forma de um íon carregado; esse processo, denominado "ionização", é a fonte do termo "radiação ionizante" (KEITH, et. al.2009).

Na figura 3, é possível observar os fenômenos reativos dos dois eventos (direto e indireto) de interação na molécula de DNA.

Figura 3 - representação esquemática simplificada do dano direto e dano indireto das radiações ionizantes no DNA



Fonte: Adaptado de WANG(2019).

A irradiação de tecido biológico desencadeia também, uma série de eventos bioquímicos intracelulares que começam com a ionização de uma molécula e que podem, em última instância, levar à lesão celular (MITTLER, 2004).

Os danos geram células alteradas podem morrer durante a mitose, ou realizar reparos por intermédio de enzimas. Caso o reparo sejas eficiente e em tempo curto, o DNA pode voltar à sua composição original, sem consequências posteriores. Num reparo propenso a erros, que pode dar origem a mutações na sequência de bases ou executar rearranjos inviáveis, podendo levar a apoptose da célula ou a alterações no material genético das células sobreviventes, com consequências a longo prazo.

A lesão de um grande número de células pode, por sua vez, levar a lesões adicionais ao órgão e ao organismo. Muitos fatores podem modificar a resposta de um organismo vivo a uma determinada dose de radiação. Os fatores relacionados à dose incluem a taxa de dose, a energia e o tipo de radiação e o padrão temporal da exposição. Os fatores biológicos incluem espécie e parte dos tecidos expostos e mecanismos de reparo. Uma regra geral aplicável é a Lei de Bergonie e Tribondeau, com base em suas pesquisas em 1906, que afirma que as células são sensíveis aos danos da radiação se tiverem uma alta taxa mitótica, um ciclo mitótico longo e não especializado (indiferenciado) (CASARETT, 1968).

6 O USO DE MUTAÇÕES RADIOINDUZIDAS

A descoberta dos raios X por Wilhelm Roentgen em 1895 levou à aplicação dos raios X para induzir mutações em Drosophila melanogaster por Muller em 1927 e na cevada por Stadler em 1928 (GUPTA, 2019). Essa técnica mais tarde se tornou a ferramenta mais importante para localizar genes em cromossomos, estudar a estrutura, expressão e regulação gênica e para explorar genomas (SOLANKI et. al., 2011).

O primeiro a usar o termo mutação, foi o biólogo neerlandês Hugo De Vires (1901), que por intermédio dos seus estudos e observações em uma planta campestre chamada Oenotheralamarkiana (prímula ou noite-prímula) de pétalas amarelas da família das Enoteraceae, demonstrou a ocorrência de mudanças hereditárias que refletiam em alterações morfológicas. Posteriormente, surgiu a ideia de se tentar obter mutantes artificiais (ANDRADE, 1973).

O surgimento do melhoramento biotecnológico moderno abriu um amplo caminho da genética molecular e com isso, o estudo para entendimento da herança de características que podem ser geneticamente controladas (BEYAZ e YILDIZ, 2017).

No início do século XX, botânicos descobriram o método em que a frequência das variações genéticas poderia aumentar em sementes tratadas com compostos químicos ou radiação ionizante. A indução de mutação tornou-se uma ferramenta poderosa para um desenvolvimento inovador de plantas e de novos germoplasma (PENNA, et.al. 2012).

Algumas técnicas de indução de mutação, como o uso de radiações ionizantes, apresentam eficiência na produção de variabilidade genética e consequentemente no desenvolvimento de novas variedades e cultivares (GAZZANEO, et. al., 2007).

Em programas de melhoramento vegetal, um dos métodos mais antigos é o melhoramento por mutação. Importantes para a evolução de uma espécie, as mutações genéticas dependem ainda da sobrevivência do indivíduo e da estabilidade do seu genoma, que resulta não só de um mecanismo preciso de replicação, mas também de mecanismos de reparo dos danos que ocorrem na estrutura do DNA (COSTA, et. al. 2001 e MORITA, et. al. 2010).

Na atualidade, esse tipo de melhoramento tornou-se popular entre os pesquisadores em biotecnologia vegetal, principalmente em decorrência de algumas restrições de outras técnicas, como: hibridização, cruzamento e plantas transgênicas. Os mutagênicos físicos (raios X; luz ultravioleta; partículas alfa e, beta, nêutrons rápidos e térmicos, raios gama)

são usados mais amplamente para induzir artificialmente as mutações (BEYAZ E YILDIZ, 2017).

Embora vários mutagênicos tenham efeitos diferentes nos genomas vegetais, e alguns vieses posicionais tenham sido relatados, a irradiação e a metagênese química são geralmente consideradas metagênese aleatória, pois as localizações das lesões de DNA não podem ser efetivamente previstas com antecedência (GREENE et. al., 2003).

No entanto, os mutagênicos físicos não são tão populares quanto os mutagênicos químicos, principalmente devido à necessidade de instrumentos especializados, pessoal qualificado e laboratórios altamente seguros (CHAUDHARY et. al., 2019).

Na China, os trabalhos com o uso de técnicas nucleares para o melhoramento de plantas tiveram início nos anos 50 e até os dias atuais foram desenvolvidos mais de 640 cultivares de 44 espécies (IAEA, 2004).

Domingues et al., (1994) recomendam o tratamento com radiação gama, pois em trabalho com ápices caulinares de bananeira, obtiveram alterações fenotípicas (alterações na forma, arquitetura da planta e variegação foliar), observando o aumento da frequência dessas variantes com a elevação da dose.

Em soja, mediante o uso de mutações induzidas, foram obtidos mutantes precoces, que variaram de alguns dias a até 3 ou 4 semanas, em relação às cultivares controles (TULMANN et al., 1995).

Enquanto Mudibu et al. (2012), ao comparar os diferentes tratamentos (diferentes doses de radiação) e o controle (não irradiado), observou que ocorreram alterações significativas no desenvolvimento e produção das plantas na geração M1 para todas as doses de raios gama, inclusive a redução significativa de todas as características agro-morfométricas que foi observada nessa fase. Para as sementes tratadas com dose de irradiação de 0,6 kGy e 0,8 kGy não houve sobrevivência para produzir progênies e avaliação.

Micke (1981), já afirmava que as técnicas de indução a mutação são conhecidas a mais de 50 anos e estava se tornado uma valiosa ferramenta no melhoramento de plantas.

Melo (2005), afirmou que a utilização de raios gama, nas doses de 12 e 24 krad (120 a 240 Gy, respectivamente), em arroz, mostrou-se eficiente em seus trabalhos, permitindo obter variantes quanto ao perfilhamento, ciclo, altura e produção de grãos.

Tabosa (2005) percebeu alteração entre variedades de sorgo irradiado quando comparados com amostras sem radiação em seu trabalho com arroz, Melo (2005),

utilizando doses de 300 Gy obteve redução da altura de planta sem alterações no número de perfilho e na produção de matéria verde e seca.

Sasikala e Kalaiyarasi, 2010, também observaram que o aumento de doses de radiação gama em variedades de arroz, reduziram a germinação e redução de altura de planta, e que a dose de 350 Gy se mostrou altamente prejudicial para o desenvolvimento das raízes.

IRFAQ; NAWAB (2003), citado por Tabosa (2005), relataram que doses do ^{60}Co, induziram mutações em trigo. Foi observado um decréscimo progressivo nos valores médios das características morfológicas tais como: percentual de germinação e sobrevivência, comprimento da panícula, número de grãos, panícula e produtividade. Para a variávelnúmero de perfilho por planta, esse fato não ocorreu. Esses efeitos ocorreram nas elevadas doses de radiação gama, da ordem de 300 e 400 Gy, onde foi recomendada também a dose de 100 Gy.

Empregando radiação gama, Mahar et. al. (2002), obtiveram mutante de trigo precoce tolerante à salinidade proveniente de um genótipo tardio. Segundo esses mesmos autores, os resultados confirmaram que a indução à mutação é um método viável para fornecer variação em caracteres herdados quantitativamente, nesse caso, a precocidade em plantas autógamas.

Spina et al. (1991), avaliando plantas de citros pré-imunizadas contra a tristeza dos citros e irradiadas *in vivo* e *in vitro* com 40 Gy de raiosgama, seguido da aplicação do método de podas repetidas, obtiveram 127 mutantes putativos. As plantas foram selecionadas por apresentarem características distintas do material inicial, tais como:porte menor e baixonúmero ou ausência de sementes e de espinhos, frutos maiores que os do controle, época de maturação dos frutos e alta produtividade, dentre outras. Em Israel, foram obtidos mutantes com ausência e com menor número de sementes para três variedades de tangerina, por meio de irradiação de borbulhas (VERDI et. al.,1995).

Canurgo et. al. (1998), obtiveram genótipos de trigo tolerantes à toxicidade ao alumínio, que se destacaram quanto à produção de grãos. Adames et al. (1999), desenvolveram mutantes de crisântemo, que depois de irradiados, apresentaram variação na coloração, mantendo as demais características da planta original.

Em vaso, Boersen et al. (2002), também obtiveram mutantes de crisântemo, irradiando mudas ainda não enraizadas. Os autores verificaram plantas com mutações tanto para a coloração da inflorescência como para tamanho e número de pétalas. A indução artificial de mutação permitiu a obtenção de variantes pouco comuns na natureza.

Ankineedu (1968), utilizando raios gama associados com nêutrons obtiveram estímulos em diversos caracteres das variedades estudadas, dentre eles as mutações dos genes que controlam a cor do caule, flor, natureza da cápsula, natureza dos espinhos, altura da planta, tamanho da semente, rendimento, teor de óleo, etc.

Em seu trabalho com irradiação de berinjela, Ulukapi (2015), verificou redução no peso seco da parte aérea das variedades tratadas com radiação gama, observando também que as variedades apresentaram respostas diferentes em relação às doses e que a dose de 160 Gy, foi à dose em que as variedades mantiveram as características inalteradas.

As induções de mutação por radiação gama aliada a técnicas de propagação in vitro são de grande utilidade nos programas de melhoramento para a redução do porte em bananeira (PESTANA et.al.2010), sendo essa técnica de mutação, indicada para resistência a doenças ou características agronômicas determinadas por um ou poucos genes, uma vez que conserva as outras características do fenótipo original (BERMÚDEZ-CARABALLOSO et al., 2000).

7 MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvidano Departamento de Energia Nuclear(DEN) da Universidade Federal de Pernambuco, com o apoio do Departamento de Biologia Molecular (DBM) da Universidade Federal da Paraíba(UFPB) e do Instituto de Pesquisa Agropecuária (IPA) da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária).

7.1 VARIEDADESDE MAMONAS

Foram utilizadas 4 (quatro) variedades de mamona (*Ricinuscommunis*L.) que são indicadas para a região nordeste, especialmente Pernambuco, Bahia e Paraíba. A escolha dessas variedades se deu mais especificamente pela fácil disponibilidade de serem encontradas, cita-se:

V1 – BRS Paraguaçu;
V2 – BRS Energia;
V3 – EBDA MPA 11;
V4 – EBDA MPB 1;

As quais serão detalhadas na sequência a seguir.

- BRS Paraguaçu(V1)

Cultivar desenvolvida pela Embrapa/EBDA. A cultivar BRS Paraguaçu apresenta porte médio, com altura média de 1,60 m, caule de coloração roxa e coberto de cera, racemo oval, frutos semi-deiscentes e semente grande, de cor preta, pesando aproximadamente 0,71g e contendo 48% de óleo. A floração inicia-se aproximadamente aos 50 dias após a emergência. Deve ser plantada em espaçamento entre linhas variando de 3m (consorciado) a 2,5 (solteiro) e 1m entre plantas. Essa cultivar foi desenvolvida para plantio em região semiárida e para uso na agricultura familiar, com plantio e colheita manual, ciclo longo (até 250 dias se houver disponibilidade de água) e boa tolerância à seca. Tem susceptibilidade moderada ao mofo cinzento. Em condições normais, com fertilidade do solo mediana, altitude superior a 300 m, tratos culturais adequados e pelo

menos 500 mm de chuva pode produzir 1.500 kg/ha de sementes a cada ano (EMBRAPA, 2006).

- BRS Energia (V2)

A BRS Energia é uma cultivar de mamona de porte baixo, em torno de 1,40m, ciclo entre 120 e 150 dias, caule verde com cera, cachos cônicos com tamanho médio de 60 cm, frutos verdes com cera e indeiscentes o que permite que seja feita uma única colheita. As sementes pesam aproximadamente 30 g a cada mil sementes, com as cores marrom e bege, contendo 48% de óleo. A produtividade média gira em torno de 1.500 kg/ha quando plantada em espaçamentos menores. Em condição irrigada, possui produtividade de até 3.000 kg/ha. Por ser uma cultivar indeiscente, a colheita pode ser feita uma única vez, no entanto, o descascamento das sementes só pode ser feito em máquinas apropriadas. (EMBRAPA, 2007).

- EBDA MPA11(V3)

É uma cultivar de porte alto, bianual indicado para agricultura familiar em sistema consorciado com culturas alimentares. Obteve os melhores desempenhos nos ensaios conduzidos no estado da Bahia e de Minas Gerais, sendo recomendado para áreas zoneadas com condições de chuvas regulares entre 600 e 700 mm. Com altura média de 1,29 m, caule de coloração roxa e coberto de cera, racemo cônico, frutos semi-deiscentes, ou seja, indescentes no campo e descentes no terreiro, pesando aproximadamente 0,87 g e contendo 46% de óleo. A floração inicia-se aproximadamente aos 96 dias após a emergência (EMBRAPA, 2008).

- EBDA MPB1 (V4)

É uma cultivar de porte baixo, é indicado para a agricultura tecnificada, em monocultivo. Também de ciclo médio de 96 dias, seus melhores desempenhos, nas regiões produtoras da Bahia e Minas, foram analisados em condições de chuva regular (600 a 700 mm), ou em áreas irrigadas. Outras características desse cultivar é o caule verde claro, folhas onduladas, a primeira floração aos 49 dias, primeira colheita aos 96 dias, frutos verdes, sementes pequenas, de cor geralmente marrom, altura de um metro, produtividade

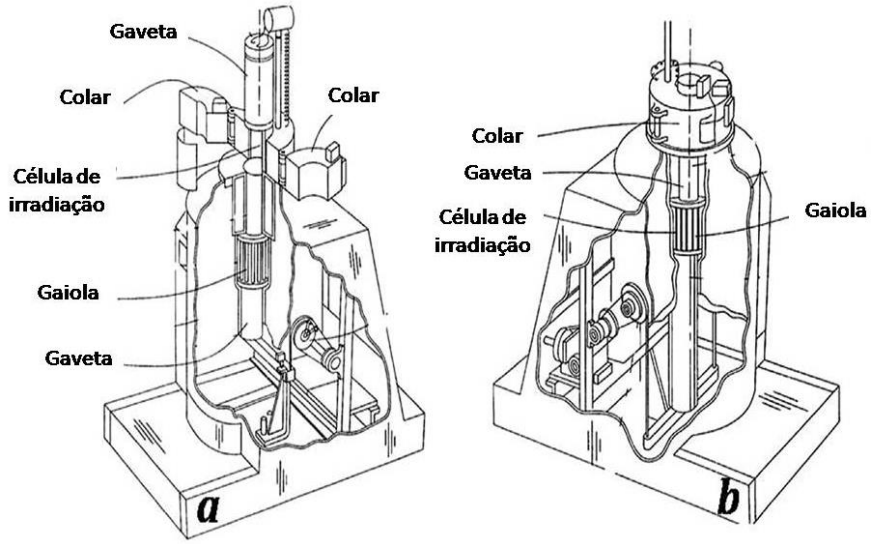
de seis cachos, em média, por planta, produtividade média de 2.500 quilos, por hectare, em regime de sequeiro, e percentagem de 46% de óleo, nas sementes. As principais recomendações técnicas para o cultivo da EBDA MPB1 é que o preparo do solo deve ser com aração e gradagem, dependendo das condições do solo, e que as correções do solo e adubação devem ser feitas a partir da análise. As plantas não podem competir com ervas daninhas durante os primeiros 60 dias da cultura, e, para minimizar custos, a colheita deve ser realizada com 60% dos frutos já secos (EMBRAPA, 2008).

7.2 PROCESSO DE IRRADIAÇÃO DAS AMOSTRAS

Para a irradiação, todas as sementes foram separadas por variedade, dose e repetição e acondicionadas em envelopes contendo 50 sementes, totalizando, 270 sementes para o experimento de laboratório, e as doses utilizadas foram de 100, 200, 300, 400 e 500Gy, 180 sementes irradiadas com doses de 100, 200, 300, 400, 500 e 600Gy para o experimento de casa de vegetação, e 4.800 sementes irradiadas com doses de 50, 150, 250, 350, 450 e 550 Gy para o experimento de campo.

O irradiador utilizado, foi um GAMMA CELL 220 com uma atividade de 576,3 TBq (em 09/06/09) e taxa de dose de 7,465 kGy/hr, localizado no Laboratório de Dosimetria e Instrumentação Nuclear do Departamento de Energia Nuclear (DEN) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). A figura4mostra, de forma esquemática, o irradiador.

Figura 4 - o diagrama esquemático do gc-220. A: retirado modo. B: no modo inserido



Fonte: Adaptado deREZA EIAN et. al.,(2017).

A célula de irradiação do GC-220 é um recipiente cilíndrico de alumínio com raio de 7,5 cm e altura de 20 cm. A fonte consiste em 21 lápis cilíndricos Co^{60} com raio de 0,32 cm e altura de 19,63 cm colocados em uma gaiola cilíndrica de aço inoxidável com diâmetro de 20,91 cm contendo quarenta e oito lápis fonte com 21,11 cm de comprimento cada.

Foi desenvolvido para pesquisas e estudos de radiação gama de alta taxa de dose. Este irradiador pode ser usado em uma ampla variedade de áreas de pesquisa, como irradiação de alimentos, geologia, área médica, pesquisa de materiais, efeitos da radiação em sistemas biológicos, esterilização de organismos e solos, alteração e melhoria de propriedades de polímeros, entre outras (RODRIGUES, et. al. 2010).

7.3 ARRANJO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com os tratamentos em esquema fatorial (7×4), com quatro repetições, sendo, seis doses de radiação gamam mais controle sem dose: 0; 50; 150; 250; 350; 450 e; 550 Gy e, quatro variedades de mamonas.

O preparo da área experimental, consistiu na retirada dos extratos arbustivos e herbáceos, seguido de gradagem por trator e semeadas cinco sementes por cova, com um espaçamento de 1m por 1m.

Duas semanas após a emergência das plântulas, realizou-se desbaste, tendo deixado uma planta por cova. O controle de plantas espontâneas foi realizado com enxada, cerca de 10 a 15 dias após a semeadura das variedades de mamona.

Durante o processo experimental foram avaliados: a percentagem de germinação, índice de velocidade de germinação, altura de planta, teor de clorofila, diâmetro do caule, número de cachos, massa verde e seca e produção de sementes.

A germinação e o índice de velocidade germinação foram avaliados diariamente, do 6° ao 11° dia. A altura das plantas foi medida aos 30, 60 e 120 dias após o plantio, levando em consideração a evolução germinativa e vegetativa das plantas. Foi considerada a base da planta (solo) até a parte mais alta da planta (caule) onde se encontra interseção da última folha. O teor de clorofila foi determinado aos 75 dias após o plantio, na primeira folha expandida da planta.

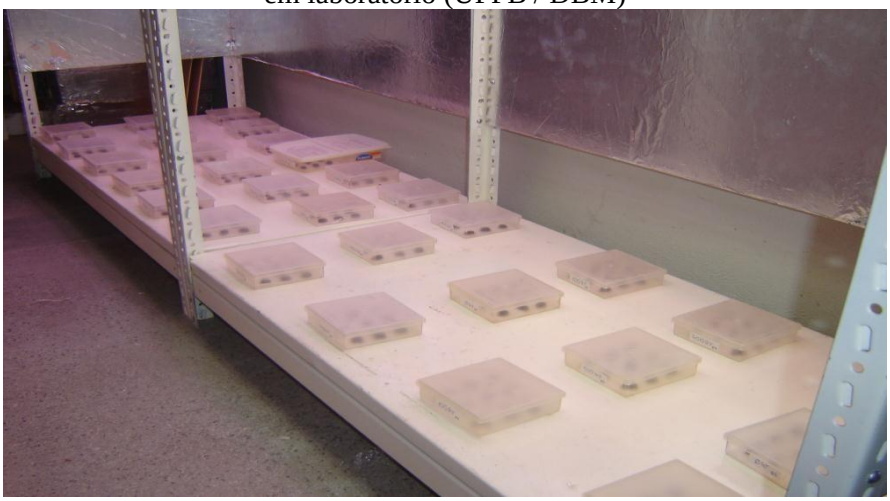
As folhas foram coletadas, envolvidas em papel alumínio e colocadas em uma caixa térmica resfriada para conservação das propriedades da amostra, em seguida levadas ao laboratório para pesagem e extração da clorofila. Para isso, foram pesadas 3 g de cada folha e colocadas em tubo falcon de 15 ml contendo 6 ml de acetona a 80% para extração da clorofila. Nos extratos, foram determinados os teores de clorofila por espectrofotometria, conforme protocolo de Arnon (1949).

Na ocasião da colheita, aos 120 dias após a semeadura, foi quantificado o diâmetro do caule, número de cachos, massa verde e seca e produção de sementes. O diâmetro de caule foi medido com um paquímetro, tomando-se por padrão 2 cm da base do solo e área medida.

A massa verde de cada planta foi pesada e secada em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C, por 72 horas para determinação da massa seca. O peso de Sementes**,** determinadoem balança de precisão,após a retirada das sementes dos ovários (secas). Em seguida, com base o número total de plantas por tratamento, foi estimada a produtividade total sementes, biomassa verde e seca por hectare.

Na figura 5 é possível observar a câmara de germinação onde as sementes foram acondicionadas e monitoradas durante o período de avaliação da germinação e índice de velocidade de germinação.Figura 5 - germinação em laboratório para determinação do percentual e índice de velocidade de germinação com sementes submetidas a diferentes doses de radiação gama do co^{60} (variedade paraguaçu) em laboratório (ufpb / dbm).

Figura 5 - Germinação em laboratório para determinação do percentual e índice de velocidade de germinação com sementes submetidas a doses de radiação gama do Co60 (Variedade Paraguaçu) em laboratório (UFPB / DBM)



Fonte: O autor (2010).

Para calcular índice de velocidade de germinação (IVG) foi utilizada a Equação a seguir (1).

$$IVG = \frac{E_1}{N_1} + \frac{E_2}{N_2} + \ldots + \frac{E_n}{N_n} \quad (1)$$

Onde:

E_1, E_2, . . ., En... representam o número de plantas emergidas, computadas na primeira, segunda e enésima contagem.

N_1, N_2, . . ., Ni representa o número de dias de semeadura à primeira, segunda e enésima contagem.

Etapa 2

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Sistemática e Ecologia na Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – PB (Figura 6). Foram utilizadas sementes de mamona (*Ricinuscommunis*L.), cultivar BRS Energia, safra 2009, provenientes da Embrapa Algodão.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com seis tratamentos e cinco repetições, sendo os tratamentos representados pelas doses de radiação 50, 150, 300, 450 e 600 Gy, além do controle (amostra sem irradiação). As sementes foram colocadas

para germinar em recipientes de polietileno contendo solo. Os recipientes foram irrigados diariamente, visando manter o substrato próximo à capacidade de campo. Avaliou-se o teor de clorofila pelo método de Arnon (1949) para análise espectrofotométrica, no 21º dia após a semeadura, utilizando sempre a primeira folha expandida da planta.

Figura 6 - Ensaio em casa de vegetação para avaliação do teor de clorofila na espécie de mamona BRS Energia

Fonte: O autor (2010).

Etapa 3

Um terceiro experimento (Figura 7) foi conduzido na estação experimental do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), localizada na cidade de Itambé - PE para contagem de germinação e avaliação de seu desenvolvimento vegetativo em condições de campo, por meio do qual foi medida a altura das plantas em intervalos de 30, 60 e 120 dias após o plantio. Juntamente com a altura de planta, foram avaliados: teor de clorofila aos 75 dias, diâmetro de caule aos 120 dias, massa de matéria verde e seca das plantas, produção de cachos e produção de sementes.

A área experimental total utilizada foi de 1.792 m^2, o solo da área experimental é um solo argissolo vermelho amarelo distrófico.

Figura 7 - Área experimental (IPA) após o preparo para semeadura/Itambé - PE

Fonte: O autor (2011).

Para determinação da altura de planta, foi considerado o espaço que compreende a base da planta no solo até a parte mais alta do caule da planta, onde se encontra interseção da última folha (Figura 8).

Figura 8 - Medida de altura de planta em diferentes épocas após a semeadura – Itambé - PE

Fonte: O autor (2011).

Para a determinação do diâmetro de caule, foi utilizado um paquímetro e a medida foi, feita tomando por padrão 2 cm da base do solo até área medida no caule da planta.

7.4 TEOR DE CLOROFILA

Para o teor de clorofila, foi seguindo o protocolo de extração e quantificação (acetona a 80%) do método de Arnon (1949) para análise espectrofotométrica.

A coleta ocorreu aos 75 dias após a semeadura, utilizando sempre a folha do ápice da planta. As folhas foram coletadas, envolvidas em papel alumínio e colocadas em uma caixa térmica resfriada para conservação das propriedades da amostra (Figura 9), em

seguida levadas ao laboratório para pesagem e extração da clorofila para determinação do teor.

Figura 9 - Coleta, acondicionamento e pesagem das folhas para determinação do teor de clorofila

Fonte: O autor (2011).

No laboratório de biotecnologia do departamento de biologia molecular da UFPB, foram pesadas 3g de folhas de cada amostra e colocada em tubo falcon de 15 ml contendo 6 ml de acetona 80% para extração e a quantificação da clorofila por espectrofotometria.

O cálculo do Teor de clorofila total, em miligrama por grama de peso fresco de tecido foliar foi realizado pela Equação 2.

$$Clorofila\,total = \frac{A652 \times 1000 \times V / 1000W}{34,5} \qquad (2)$$

Onde: A é a absorbância no comprimento de onda 652 nm;
V o volume final do extrato;
W a massa emgramas de matéria fresca do vegetal utilizado.

5.5 PESO DE SEMENTES

Para a determinação do Peso de Semente, Após a coleta em campo e retirada dos ovários, as sementes secas foram pesadas em balança de precisão e com os valores obtidos e transformados em quilograma por hectare (kg/ha).

Figura 10 – Pesagem de 100 sementes em balança de precisão para estimar peso total da produção em kg/ha

Fonte: O autor (2020).

8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a obtenção dos dados, os resultados foram descritos e detalhados de modo a atender os objetivos da tese, direcionado assim a conclusão do estudo.

8.1 PERCENTUAL DE GERMINAÇÃO EM CAMPO

Na Tabela 2, estão expressos os valores médios para a variável percentual de germinação.

Neste experimento o percentual de germinação em campo foi avaliado por apresentar grande significância nos trabalhos de melhoramento genético, tendo em vista que a redução no poder germinativo das sementes acarreta redução do número de plantas e, consequentemente, redução da produtividade de qualquer cultura.

Visualizando-se os dados da tabela 2, percebe-se que igualmente aos resultados obtidos no experimento 1 (de laboratório) não houve diferença estatística significativa em relação às doses de radiação para a mesma variedade, o que garante que as doses utilizadas, mesmo que elevadas, quando comparadas com outros trabalhos, estavam dentro dos limites de tolerância à radiação dessas variedades.

Tabela 2 - Valores médios do percentual de germinação de sementes de quatro variedades de mamona submetidas a doses crescentes de radiação gama em condições de campo

	GERMINAÇÃO (%)			
	Variedades de Mamona			
Doses (Gy)	BRS PARAGUAÇU	BRS ENERGIA	EBDA MPA11	EBDA MPB1
	---------- 6º ao 11º DAS ----------			
Controle	42,18Aa	35,00Ab	42,21Ab	45,31Aa
50	49,06Aa	33,12Ab	29,68Ab	47,18Aa
150	37,18Aa	40,93Ab	34,68Ab	46,25Aa
250	44,06Aa	39,06Ab	35,93Ab	46,87Aa
350	40,93Aa	41,56Ab	32,18Ab	46,25Aa
450	50,31Aa	32,81Ab	33,75Ab	32,18Aa
550	43,12Aa	33,43Ab	33,77Ab	43,12Aa
CV(%)	**19,36**			

Médias com letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas na linha não diferem estatisticamente, entre si, pelo teste de Tukey ($p<0,05\%$).

Fonte: O autor (2020).

Nesse contexto, Brasil (2009) destacou que a qualidade fisiológica da semente deve ser avaliada rotineiramente pelo teste de germinação e que, quando conduzido sob condições ótimas de ambiente, fornece o potencial máximo de germinação, estabelecendo o limite para o desempenho do lote após a semeadura.

Quando comparados os efeitos entre as variedades (Tabela 2) é possível observar que houve uma variação significativa entre as variedades BRS PARAGUAÇU, BRS ENERGIA e EBDA MPA 11. Esse fato fornece indícios de que a variação pode ter ocorrido devido aos próprios fatores genéticos das sementes, já que todas variam em relação ao tamanho e coloração da semente, esta variação também foi observada por Bahia (2008), quando analisou a germinação de variedades de mamona. No entanto, não foi observada diferença significativa entre a BRS PARAGUAÇU e a EBDA MPB 1.

Um fato a ser registrado é que apesar do aumento significativo entre as doses de radiação gama não foi verificada diferença significativa pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, porém, mais estudos devem ser realizados no sentido de esclarecer o motivo pelo qual o percentual de germinação foi inferior a 50%, exceção para a BRS PARAGUAÇU que, ao receber a dose de 450 Gy, registrou 50,31% de germinação. Com isso, os próximos estudos devem buscar respostas para elucidar os principais fatores que contribuíram para diminuir efetivamente para a redução do percentual de germinação.

Em trabalhos com sorgo, Tabosa (2005), também se observou redução no percentual de germinação com doses entre 150 e 400 Gy, porém não foi possível determinar quais os fatores que contribuíram para essa redução.

Em outro estudo, realizado por Lopes (2012), obteve-se redução do percentual de germinação em sementes de mamona da variedade IAC80 a partir da dose de 200Gy. Essa redução pode estar relacionada ao fato das sementes utilizadas terem sido pré-embebidas em água por 24 horas atingindo o ponto de saturação antes da irradiação. Fato não realizado no presente estudo, portanto, como 70% a 85% da massa dos sistemas vivos é composta por água, a grande maioria das lesões induzidas por radiação é realizada através da ação indireta em moléculas de água.

De acordo com Cruz (2004) e Miranda (2009), as sementes com maior teor de água tornam-se mais sensíveis à ação dos mutagênicos, sendo que sementes embebidas antes da irradiação são mais radiossensíveis que sementes secas.

Em estudo realizado por Sonntag (1987), foi observado que a absorção da radiação por uma molécula de água resulta em H_2O^+ ou H_2O^-. É sabido que esses íons são muito

instáveis e dissociam-se para formar outro íon e um radical livre. Portanto, os efeitos danosos dos radicais livres são reforçados pela presença de oxigênio, que se combina com os radicais de hidrogênio para formar um radical extremamente reativo designado hidroperoxil, que ao se difundir na célula, causa lesões.

Dados de vários estudas mostram que os radicais hidroxilas (OH-) podem ser separados das moléculas de água pela radiação ionizante, incluindo radiação X e gama e reagir com átomos de H+ derivados das estruturas da molécula de DNA, induzindo mudanças e estimulando assim, aumento da taxa de mutação (HUNG; JOHNSON, 2008).

8.1.1 Índice de velocidade de germinação em condições de campo

Na Tabela 3, constam-se os resultados obtidos para a variável Índice de Velocidade de Germinação (IVG).

Tabela 3 - Valores médios do Índice de Velocidade de Germinação de sementes de quatro variedades de mamona submetidas a doses crescentes de radiação gama em condições de campo

	ÍNDICE DE VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO (SEMENTES/DIA) *			
	Variedades de Mamona			
Doses (Gy)	BRS PARAGUAÇU	BRS ENERGIA	EBDA MPA11	EBDA MPB1
	---------- 6º ao 11º DAS ----------			
0	5,17Aa	4,21Ab	5,16Ab	5,40Aa
50	5,82Aa	4,11Ab	3,74Ab	5,64Aa
150	4,56Aa	5,02Ab	4,14Ab	5,61Aa
250	5,46Aa	4,90Ab	4,38Ab	5,57Aa
350	5,12Aa	5,05Ab	3,93Ab	5,61Aa
450	6,14Aa	4,07Ab	3,91Ab	3,93Aa
550	5,07Aa	4,01Ab	4,04Ab	5,02Aa
CV (%)	19,65			

Médias com letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas na linha não diferem estatisticamente, entre si, (p< 0,05%).

Fonte: O autor (2020)

Para ressaltar a importância do vigor das sementes na germinação e emergência das plântulas, Marcos Filho, (2005) relatou que o vigor da emergência, pode ser caracterizado, como a soma das várias propriedades que determinam o nível potencial de atividade e desempenho de uma semente ou de um lote de sementes durante o período da

germinação e emergência da plântula. Assim, o vigor reflete a manifestação de um conjunto de características que determina o potencial para a emergência rápida e uniforme de plântulas expostas às mais diversas situações do ambiente.

Ohlson *et al*., (2010) afirmaram que os testes de vigor buscam obter importantes respostas adicionais e complementares às fornecidas pelo teste de germinação, possibilitando a obtenção de informações mais consistentes.

Ainda no experimento, a variável IVG quando observada na tabela 3, apresenta a informação de que não houve diferença estatística pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade entre as doses crescentes de radiação, dentro da mesma variedade, mas quando observado o comportamento entre as variedades, verifica-se que houve diferença estatística significativa entre as variedades BRS PARAGUAÇU / EBDA MPB 1 e BRS ENERGIA / EBDA MPA 11 respectivamente, da mesma forma que foi observado no percentual de germinação (Tabela 2).

O índice de velocidade de germinação, mesmo quando observada numericamente, percebe-se que não existe diferença considerável, tendo em vista que o percentual médio e número de sementes germinadas por dia foram muito próximos. Tais resultados observados para as a média percentual de variáveis de germinação e IVG sugerem que é possível a utilização de doses menores sem alterações significativas nestas variáveis.

8.1.2 Teor de clorofila em campo

O teor de clorofila, em função das doses de radiação, não apresentou diferenças significativas entre as variedades Paraguaçu, MPA11 e MPB1, exceto na variedade Nordestina, onde o teor de clorofila, foi significativamente maior na dose de 50Gy em comparação as demais doses (Tabela 4). Na comparação entre as variedades para uma mesma dose de radiação não houve diferenças significativas. Esse resultado foi diferente dos resultados encontrados em casa de vegetação, onde o aumento da dose reduziu os valores do teor de clorofila.

Tabela 4 - Valores médios do teor de clorofila de quatro variedades de mamona submetidas a doses crescentes de radiação gama do cobalto-60, Itambé - PE

DOSE (Gy)	**TEOR DE CLOROFILA (**mg.dm-^{2}**)**			
	Variedades de Mamona			
	BRS PARAGUAÇU	**BRS** ENERGIA	**EBDA** MPA11	**EBDA** MPB 1
0	2,12Aa	1,99Aba	2,08Aa	1,99Aa
50	2,17Aa	2,77 Aa	2,11Aa	2,69Aa
150	2,39 Aa	2,44Aba	2,24Aa	2,35 Aa
250	2,57 Aa	2,24Aba	2,07 Aa	2,30 Aa
350	2,34 Aa	1,73Ba	2,33 Aa	2,45 Aa
450	1,89 Aa	1,96Aba	2,12 Aa	2,12 Aa
550	1,95 Aa	2,25ABa	2,35 Aa	2,52 Aa
CV (%)	16,14			

Médias com letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas na linha não diferem estatisticamente, entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05%).

Fonte: O autor (2020).

É importante ressaltar que a dose de 350 Gy, nessa variedade, foi a que apresentou menor concentração de clorofila, enquanto a dose de 50 Gy apresentou o maior teor dentre todas as variedades.

Para justificar a importância do teor de clorofila em folhas de plântulas a literatura ressalta que este é um parâmetro amplamente utilizado em estudos fisiológicos e agronômicos para o diagnóstico do estado nutricional das mesmas. Monteith (1972) salientou que a taxa de crescimento de uma espécie pode ser expressa de acordo com a quantidade de energia luminosa incidente, com interceptação e conversão dessa energia em massa seca.

Em outro estudo Blackmer e Schepers (1994), acrescentaram que o teor de clorofila também se correlaciona com a concentração de nitrogênio na planta que também é indicativo do rendimento da cultura.

Carvalho *et al.*, (2003); Silveira *et al*., (2003) e Leonardo *et al.*, (2013), em estudos suplementares aos de Blackmer e Schepers (1994), reforçaram a tese de que existe uma correlação entre o N e o teor de clorofila, já que este elemento é constituinte da molécula de clorofila, assim sendo, alguns autores têm avaliado a utilização direta de clorofila para determinar o estado nutricional das plantas, quanto ao nitrogênio presente.

Reforçando a importância de caracterizar o teor de clorofila nas plantas Rodrigues *et al*. (1998), sugeriram que a fotossíntese pode ser medida por vários métodos, sendo que os mais precisos são aqueles que quantificam o gás carbônico absorvido.

8.1.3 Altura de planta em condições de campo

A altura de planta, em função das doses de radiação, não apresentou diferenças significativas entre as variedades Paraguaçu, Nordestina, MPA11 e MPB1 (Tabela 5). Na comparação entre as variedades para uma mesma dose de radiação, não houve diferenças significativas entre Paraguaçu, Nordestina, MPA11, sendo a altura de plantas nessas variedades, significativamente maior que a variedade MPB1, que apresentou uma altura 16% menor.

Esse resultado pode sinalizar que as variedades não apresentam sensibilidade nos genes responsáveis pela regulação da altura das plantas ou as doses utilizadas foram menores que as necessárias para que ocorresse a redução. Existe ainda uma terceira vertente que é observada, mas em menor constância, sobre o fato de algumas mutações só se manifestam em gerações posteriores as das sementes irradiadas (geração M2, M3, ...), assim como descrito por Sigurbjörnsson (1977), micromutações são de mais fácil identificação na geração M3, por permitirem a manifestação de alelos recessivos e a eliminação de mutações deletérias na geração M2.

Em razão disso, as plantas férteis podem ser valiosas pela possibilidade de serem portadoras de possíveis mutações que poderão se expressar em gerações futuras.

A redução de altura é uma forma de expressão onde pode-se observar as interações causadas pela radiação no conteúdo genético das plantas, como os efeitos das radiações são aleatórios, não existem mecanismos pelos quais direcionar tais efeitos. Em seu trabalho com o uso de doses crescentes de radiação, Marques (2005), obteve reduções de 32 a 45 % em variedades de fava. Enquanto que Santos (1993), observou reduções de 7 a 51 % com milho para as doses de 150, 200 e 300Gy.

Tabela 5 - Valores médios (N) para altura de planta de quatro variedades de mamona submetidas a doses crescentes de radiação gama em experimento de campo

	ALTURA DE PLANTAS (cm)			
	Variedades de Mamona			
DOSE (Gy)	BRS PARAGUAÇU	BRS ENERGIA	EBDA MPA11	EBDA MPB 1
0	97,50Aa	56,50Aa	111,00Aa	86,50Ab
50	83,50Aa	91,50Aa	53,75Aa	81,25Ab
150	128,25Aa	91,50Aa	73,33Aa	43,50Ab
250	49,50Aa	86,75Aa	77,50Aa	82,25Ab
350	116,00Aa	55,50Aa	104,50Aa	94,00Ab
450	94,75Aa	121,50Aa	67,50Aa	95,00Ab
550	102,75Aa	88,75Aa	99,75Aa	47,00Ab
CV(%)	31,92			

Médias com letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas na linha não diferem estatisticamente, entre si, (p< 0,05%).

Fonte: O autor (2020).

Diferentemente dos resultados encontrados no estudo realizado por Tulmann Neto & Latado (1997), no qual ficou caracterizado queo efeito da radiação e em consequência a redução da altura de plantas ocorre com o aumento da dose de raios-gama, isso é esperado, pois se trata de um efeito fisiológico que é bastante observado quando estacas ou mudas são tratadas com mutagênicos. Esse parâmetro tem sido utilizado para seleção de doses em trabalhos com indução de mutação.

8.1.4 Matéria verde e seca

Na tabela 6, estão expressos os valores da matéria verde/seca das variedades estudadas.

Tabela 6 - Resultados médios obtidos das variáveis – Peso Fresco e Peso Seco de quatro variedades de mamoneira em relação às doses crescentes de radiação gama, Itambé

Doses (Gy)	**MATÉRIA VERDE (kg)**			
	Variedades de Mamona			
	BRS PARAGUAÇU	BRS ENERGIA	EBDA MPA11	EBDA MPB 1
	Matéria verde da planta (kg)			
0	0,356BCb	0,110Ab	0,359Bb	0,211Ab
50	0,4520Cb	0,222Ab	0,189ABb	0,252Ab
150	0,182ABab	0,197Aab	0,169ABab	0,219Aab
250	0,390BCb	0,212Ab	0,221ABb	0,195Ab
350	0,236ABb	0,239Ab	0,243ABb	0,220Ab
450	0,270ABCab	0,197Aab	0,162ABab	0,241Aab
550	0,145Aa	0,92Aa	0,149Aa	0,125Aa
CV (%)	42,36			
	Matéria seca da planta (kg)			
0	0,044Bb	0,060BCDa	0,024Aa	0,053Aa
50	0,043Bb	0,072Da	0,033Aa	0,029Aa
150	0,031ABb	0,030Aba	0,031Aa	0,030Aa
250	0,044Bb	0,066CDa	0,035Aa	0,038Aa
350	0,039Bb	0,037ABCa	0,042Aa	0,041Aa
450	0,034ABb	0,045ABCDa	0,027Aa	0,032Aa
550	0,024Ab	0,028Aa	0,021Aa	0,023Aa
CV (%)	38,28			

Médias com letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si, (p< 0,05%).

Fonte: O autor (2020).

Na tabela 6, pode-se observar os resultados estatísticos para peso verde (fresco) e seco, onde verificamos que as variedades BRS Energia e EBDA MPB1, não diferiram significativamente em relação às doses de radiação. Já a variedade EBDA MPA11, apresentou efeito significativo apenas em relação ao controle (0 Gy), sendo que ao

comparar as doses dentro da mesma variedade, a mesma não apresentou efeito significativo.

Quando analisado estatisticamente os valores para peso seco, foram observados efeitos significativos para a dose 550 Gy, para a variedade BRS Paraguaçu, onde a mesma apresentou uma redução de aproximadamente 380% no peso seco em relação à dose de 50Gy. E de acordo com Hole et al., 1983, o rendimento da cultura depende da produção de biomassa total e da distribuição de matéria seca entre as partes produtivas e não produtivas da planta. A produção de matéria seca de uma cultura, quando plantas daninhas, pragas, doenças e condições de solo não são limitantes e quando água e nutrientes estão disponíveis em quantidades suficientes, é função da radiação absorvida pelo dossel, da eficiência média de conversão da radiação absorvida para matéria seca e da partição desta entre as partes úteis e o restante da planta (CHARLES-EDWARDS, 1986; HAY e WALKER, 1989).

Pode-se observar que houve efeito significativo para a variedade BRS Paraguaçu, nas doses de 150, 350, 550 Gy, onde foi observada uma redução do peso verde em função da dose, esse efeito não foi observado nas doses de 50, 250 e 450 Gy.

As demais variedades não apresentaram diferença em relação às doses crescentes de radiação. Quando comparados os resultados entre as variedades e níveis de dose, foi observado que houve efeito significativo para as doses de 50, 250, 350, 550Gy.

8.1.5 Número de Cachos

O número de cachos, em função das doses de radiação, não apresentou diferenças significativas entre as variedades Paraguaçu, Nordestina, MPA11 e MPB1 (Tabela 9). Na comparação entre as variedades para uma mesma dose de radiação, verificou-se que a variedade Nordestina apresentou maior número de cachos em relação as demais variedades, em média, 55% a mais que as demais variedades estudadas.

A avaliação desta variável (nº de cachos) se faz necessária para que possa determinar a herdabilidade genética em relação a produção, e essa variável tornou possível avaliar independente dos tratamentos, a conservação genética das variedades utilizadas, pois os resultados se mostraram uniformes e constantes em todas as etapas avaliadas.

A análise estatística ao nível de 5% de probabilidade revelou que o aumento das doses de radiação gama com cobalto-60 não influenciou significativamente no número de cachos dentro da mesma variedade. No entanto, quando analisamos o comportamento das

variedades em função de cada dose ficou caracterizada a superioridade da variedade BRS Nordestina que apresentou um número de cachos superior às demais, mas mesmo apresentando maior número de cachos, a mesma não apresentou maior produção em relação ao peso total da produção de grãos, ficando no mesmo platô de produção das demais variedades avaliadas, como pode ser observado na tabela 9, a seguir, na próxima variável avaliada.

Na tabela 7, podemos observar as médias obtidas para número de cachos em função das doses para as quatro variedades utilizadas no experimento de campo.

Vale destacar ainda que a dose de 250 Gy se mostrou mais eficiente na herdabilidade, caracterizando maior número de cachos em todas as variedades, com destaque para a BRS Energia que produziu, aproximadamente, 52% mais cachos quando recebeu a dose de 50 Gy, e, aproximadamente, 5% quando as sementes receberam a dose máxima testada (550 Gy).

Tabela 7 - Valores médios para número de cachos por variedades de mamona submetidas a doses crescentes de radiação gama do cobalto-60 em experimento de campo

NÚMERO DE CACHOS				
	Variedades de Mamona			
Doses (Gy)	BRS PARAGUAÇU	BRS ENERGIA	EBDA MPA11	EBDA MPB1
0	10,75Ab	14,50Aa	12,00Ab	9,00Ab
50	13,50Ab	14,00Aa	11,66Ab	9,66Ab
150	10,75Ab	12,75Aa	8,66Ab	10,00Ab
250	15,25Ab	21,25Aa	12,50Ab	8,50Ab
350	10,25Ab	17,75Aa	13,25Ab	13,66Ab
450	11,25Ab	18,00Aa	7,75Ab	6,50Ab
550	10,25Ab	20,25Aa	11,50Ab	7,50Ab
CV (%)	38,05			

Médias com letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05\%$).

Fonte: O autor (2020).

O número de cachos não diferiu estatisticamente nos tratamentos dentro da mesma variedade e todas as variedades apresentaram em média o mesmo número de cachos, menos a variedade BRS Energia que apresentou um número de cachos superior às demais, mas mesmo apresentando maior número de cachos.

8.1.6 Peso de Sementes

Na tabela 8, a seguir, estão representados os valores médios para a variável peso de sementes das quatro variedades estudadas, sendo que o peso das sementes corresponde à produção (efetiva) no experimento de campo.

Tabela 8 - Valores médios para peso de sementes de quatro variedades de mamoneira, independentemente das doses de radiação gama

PESO DE SEMENTES						
Doses(Gy)	**Variedades**				Médias de Doses(Gy)	
	V1	V2	V3	V4		
0	289.33	341.25	669.33	40.67	335,15	AB
50	621.50	505.50	577.75	69.67	443,60	A
150	297.00	376.33	376.25	54.67	276,06	AB
250	411.25	316.25	369.00	164.00	315,13	AB
350	262.25	351.50	438.00	122.00	293,44	AB
450	266.67	324.25	96.67	90.00	194,40	B
550	201.50	289.67	182.50	103.00	194,17	B
Média de Variedades	335.64 a	357.82 a	387.07 a	92.00 b		
CV (%)	**31,48**					

Médias com letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas na linha não diferem estatisticamente, entre si, (p< 0,05%).

Fonte: O autor (2020).

Ao observarmos a tabela 8, é possível verificar que não houve efeito significativo na interação entre variedades de doses crescentes de radiação, mas análise de regressão linear apresentou um índice de decrescimento, ou seja, para cada unidade de dose (Gray), ocorreu um percentual de 0,09% no peso de sementes e este índice, indica uma tendência a um efeito negativo sobre a produtividade.

As variáveis utilizadas para avaliação da produtividade estão interligadas, tendo em vista a correlação entre assimilação de nutrientes (via fotossíntese) x produção de cachos x peso das sementes. No parâmetro número de cachos, entende-se que deveria ter uma expressão diretamente proporcional em relação ao número de sementes, mas que, ao invés de considerar esse quesito, optou-se por avaliar o peso das sementes, já que a produtividade específica é determinada por kg/ha e não por número de sementes.

Levando em consideração a produtividade, as variedades MPA11, Paraguaçu e BRS Energia, apresentaram na dose de 50Gy os maiores valores para esse parâmetro, o que pode ser um indicativo de estímulo em uma dose mais baixa. A BRS Energia apresentou mais peso para a dose de 50 Gy em comparação com as demais, chegando a um percentual de 45% em relação ao controle (não irradiado). Embora a variedadeEBDA MPAB1 tenha apresentado diferença estatística em relação as demais variedades, ao comparar os valores de dose dentro dessa mesma variedade, é possível observar que as plantas provenientes das sementes irradiadas com doses de 50, 250, 350 e 450 Gy apresentaram maior produtividade em relação ao controle (não irradiado) e isso intensifica a possibilidade de estímulo, sendo que nesta variedade que é a única das utilizadas que foi desenvolvida para plantio tecnificado, o que sugere que essa variedade possa ter uma maior sensibilidade a radiação gama. Vale ressaltar que mesmo apresentando menor valor, em relação a produção, as doses de 150 e 550 Gy apresentaram valores superiores ao controle (não irradiado).

8.1.7 Números de cachos, peso de sementes e teor de clorofila independe da dose aplicada

Na tabela 9, a seguir, estão representados os valores médios para as variáveis, número de cachos, peso de sementes e teor de clorofila das quatro variedades estudadas, independentemente das doses de radiação gama, sendo que o peso das sementes corresponde à produção (efetiva) no experimento de campo.

As variáveis utilizadas para avaliação da produtividade estão interligadas, tendo em vista a correlação entre assimilação de nutrientes (via fotossíntese) x produção de cachos x peso das sementes. No quesito número de cachos, entende-se que deveria ter uma expressão diretamente proporcional em relação ao número de sementes, mas que, ao invés de considerar esse quesito, optou-se por avaliar o peso das sementes, já que a produtividade específica é determinada por kg/ha e não por número de sementes.

Ao analisar a tabela 9, observamos que as variedades não apresentaram diferença estatística significativa no parâmetro teor de clorofila, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 9 - Resultados médios obtidos das variáveis – Nº de Cachos, Peso de Sementes e Teor de Clorofila de quatro variedades de mamoneira, independentemente das doses de radiação gama

RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS DAS VARIÁVEIS			
Cultivar Mamoneira	**Nº de Cachos (Nº/ha)**	**Peso de Sementes (kg/ha)**	**Teor de Clorofila (mg.dm-^{2})**
BRS PARAGUAÇU	1,010 B	335.64 A	3,80 A
BRS ENERGIA	1,212 A	357.82 A	3,79 A
EBDA MPA11	904 BC	387.07 A	4,02 A
EBDA MPB1	793 C	92.00 B	3,96 A
CV(%)	28,84%	31,48%	20,98

Médias com letras maiúsculas iguais na coluna não diferem estatisticamente, entre si, pelo teste de Tukey (p< 0,05%).

Fonte: O autor (2020).

Ao analisar a tabela 9, observamos que as variedades não apresentaram diferença estatística significativa no parâmetro teor de clorofila, ao nível de 5% de probabilidade.

De acordo com Athma (1986), uma das características mais interessantes e importantes da metagênese induzida é a radiossensibilidade diferencial de uma planta durante seu crescimento e desenvolvimento. Esses estudos também são de primordial importância do ponto de vista prático de criação de mutações. Portanto, diferentes tecidos respondem de forma própria, sendo necessária a realização de testes de radiossensibilidade e para determinar a dose ideal (GAZZANEO et al., 2007).

Observando-se os dados (tabela 9) que caracteriza a variável número de cachos por hectare, a variedade BRS Energia se mostrou estatisticamente mais produtiva em relação às demais, em sequência, as variedades BRS Paraguaçu e EBDA MPA11 não diferiram para essa variável. Dentre as variedades estudadas a EBDA MPB1 apresentou comportamento significativamente inferior de aproximadamente 34% e 21% menos cachos quando comparada à BRS Energia e a BRS Paraguaçu, respectivamente.

Quando comparada à produção entre as variedades, observa-se que houve diferença estatística apenas para uma variedade EBDA MPB1, que apresentou a menor produtividade, tanto para número de cachos quanto peso de sementes. Por um lado, podemos sugerir que esses valores não representam uma condição negativa, mas que por ser a única das variedades testadas que tem como recomendação a agricultura tecnificada e

plantio em monocultivo, tenha representado o seu real valor de produção, sendo superada em produtividade.

Talvez, pelo fato das outras variedades tratadas, serem recomendadas para plantio em consórcio em regiões de clima mais severo e, por isso, foram beneficiadas pelo nível tecnológico e das condições edafoclimáticas do cultivo utilizados no experimento. Por outro lado, observamos que as demais variedades, caso tenham um trato cultural mais intensificado, apresentam produtividade superior e que devido as suas características de maior resistência, se mostram mais indicadas para ambos os tipos de plantio (tecnificado ou não), já que podem ser consideradas mais rústicas e apresentarem melhor desempenho produtivo nas condições de cultivo do presente estudo.

8.1.8 Altura de planta, Diâmetro de Caule, peso verde e peso seco independe da dose aplicada

Na tabela 10, estão expressos os resultados das médias gerais por variedade independente das doses de radiação. Ao analisar a variável altura de planta, verificamos que a variedade EBDA MPB1 apresenta o menor porte (altura) entre as variedades observadas e apresenta diferença estatística em relação às demais variedades, o que corrobora com as características da variedade (porte baixo).

Tabela 10 - Resultados médios obtidos das variáveis – Altura de Planta, Diâmetro de Caule, Peso Fresco e Peso Seco de quatro variedades de mamoneira, independentemente das doses de radiação gama

RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS DAS VARIÁVEIS				
Cultivar Mamoneira	**Altura de Planta (cm)**	**Diâmetro de Caule (cm)**	**Peso Fresco (kg/ha)**	**Peso Seco (kg/ha)**
BRS Paraguaçu	94 A	2,03 A	589 A	97 A
BRS Energia	88 A	1,45 B	350 B	58 B
EBDA MPA11	101A	2,12 A	444 B	72 B
EBDA MPB 1	53 B	1,61 B	402 B	62 B
CV(%)	32,80	21,15	46,88	43,19

Médias com letras maiúsculas iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05\%$).

Fonte: O autor (2020).

As demais variedades não apresentaram diferenças estatísticas para o parâmetro avaliado, sendo que na ficha de apresentação das variedades fornecida pela Embrapa, informa que as variedades BRS Energia e BRS Paraguaçu, são variedades de porte médio, diferente da EBDA MPA11 que traz na sua ficha de características, uma variedade de porte alto. Mas, no geral o que foi constatado é que independente do uso das radiações, essas variedades não apresentaram diferenças estatísticas entre si.

No parâmetro diâmetro de caule, as variedades BRS Paraguaçu e EBDA MPA11 não diferiram estatisticamente entre si, mas ambas diferiram das variedades BRS Energia e MPB1, que não apresentaram diferenças entre si, mesmo tendo apresentado diferenças em relação ao porte (altura). Nos Parâmetros, peso fresco (verde) e peso seco, as variedades apresentaram o mesmo comportamento em relação às duas situações, no entanto, a variedade BRS Paraguaçu, foi a que mais se destacou em relação a esses parâmetros e apresentou os melhores resultados em relação as demais variedades analisadas.

9 CONCLUSÕES

Em função dos dados observados nos três experimentos realizados presente estudo, os resultados permitem concluir que:

- A radiação gama proveniente de uma fonte de cobalto-60, de forma geral, interfere no desenvolvimento das plantas provenientes de doses crescentes dessa radiação.
- As principais alterações são mais representativas na produção de massa seca.
- As variedades BRS Paraguaçu e EBDA MPA11 apresentam maior redução de massa fresca.
- As variedades BRS Paraguaçu e EBDA MPA11 apresentam maior peso de sementes.
- As variedades estudadas apresentaram elevada resistência em relação à redução de altura e porte das plantas em função das doses de radiação.
- O uso desta técnica não apresentou resultados conclusivos sobre sua viabilidade para um programa de melhoramento genético para as variedades estudadas.

REFERÊNCIAS

ABDULLAH, T. L. ; JOHARI ENDAN ; MOHD NAZIR, B.- **Changes in flower development, chlorophyll mutation and alteration in plant morphology of *Curcuma alismatifolia* by gamma irradiation.** American JournalofAppliedSciences - Vol.6 No.7 pp.1436-1439 ref.10. 2009.

ALIGAZA, R.L.; MELLO, V.D.C.; SANTOS, D.S.B. & IRIGON, D.L. **Avaliação de testes de vigor em sementes de feijão e suas relações com a emergência em campo**. *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, **12**(2):44-58, 1990.

AMARAL, A.; MELO, B. – **Tópicos de Biossegurança** – cap. 4 p 62. Ed. Universitária. 2010.

ANKINUDU, G. - **Effects of fast neutrons and gamma-rays on castor**. Indian J. Genet., v. 28, p. 31-39, 1968.

AMORIM NETO, M. da S.; ARAÚJO, A.E. de; BELTRÃO, N.E. de M. Clima e solo.In: AZEVEDO, D. M. P. de; LIMA, E. F. (Ed. Téc.) **O agronegócio da mamona no Brasil. Brasilia: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. cap. 3, p. 63-76.**

ANDRADE, E. B. **- Indução de mutação.** Embrapa Amazônia Oriental-Outras publicações
científicas (ALICE).1973.

ANDREUCCI, RICARDO. **– Apostila: Aspectos Industriais da Proteção Radiológica**, 2006.

ANDREUCCI, RICARDO. **– Apostila: Aspectos Industriais da Proteção Radiológica**, 2012 (Edição Atualizada).

ANJANI, K.**Castor genetic resources: A primary gene pool for exploitation.**IndustrialCropsandProducts, v.35, p.1-14, 2012.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. - **Estabelece as especificações para comercialização de óleo diesel automotivo em todo o território nacional e define obrigações dos agentes econômicos sobre o controle de qualidade do produto**. Portaria n. 310, de 27 de dezembro de 2001.

ATHMA, P.; REDDY, T. P.; - Induction of Mutations by Gamma Irradiation at Four Developmental Stages in Castor (Ricinus communis L.), Cytologia 51: 51-57, 1986.

ATTlX, F. H.; **Introduction To Radiological Physics And Radiation Dosimetry** - WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Cap 1 pag. 2 , 2004.

AVERY, D. T. **- Saving the planet with high-yield farming**. Proceedings of 49th Annual Corn & Sorghum Industry Research Conference, 1994. p.1-12.

AZEVEDO, D.M.P. de; LIMA, E.F.; BATISTA, F.A.S.; BELTRÃO, N.E.de M.; SOARES,J.J.; VIEIRA, R. de M.; MOREIRA, J,de A.N.(1)- **Recomendações técnicas para o cultivo da mamoneira (Ricinuscommunis L.) no nordeste do Brasil.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 52p. (Embrapa Algodão. Circular Técnica, 25). 1997.

AZEVEDO, D.M.P. de; BELTRÃO, N.E. de M.; BATISTA, F.A.S.; LIMA, E. F. (2) **Arranjo de fileiras no consórcio mamona/milho.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 1997. 21p. (Embrapa Algodão. Boletim de Pesquisa, 34).

AZEVEDO, D. M. P. – Efeit

o de população de plantas no rendimento de consórcio de mamona com culturas alimentare. Revista Brasileira de Olearginosas e Fibrosas. Campina Grande, v.2, n.3, p. 193-202, set/dez. 1998.

AZEVEDO, A.C.P de. **– Apostila: Radioproteção em Serviços de Saúde** – Fiocuz, 1998.

BAHIA, H. F. ; SILVA, S. A.; FERNANDEZ, L. G.; LEDO, C. A. da S.;MOREIRA, R. F. C. – **Divergencia genética entre cinco variedades de mamoneira.** Pesquisa Agropecuária Brasileira. **Brasília, V. 43, nº 3, p. 357-362, mar. 2008.**

BAGGIO, M. I. **- Genética e novas biotecnologias no melhoramento de trigo**. In: CUNHA, G. R. (Org.). **Trigo, 500 anos no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. pág. 90-95 (Embrapa Trigo. Documentos, 10).

BELTRÃO, N. E. de M.; CARTAXO, W. V.; PEREIRA, S. R. de P.; SOARES, J. J.; SILVA, O. R. R. F.. **O cultivo sustentável da mamona no semi-árido brasileiro**. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 62p. (Embrapa Algodão. Cartilha, 1), 2006.
PARENTE, E.J.S: **Minicurso do Congresso Brasileiro de Mamona**. CD-ROM Campina Grande. 2004.

BELTRÃO, N. E. de M.; CARTAXO, W. V.; PEREIRA, S. R. de P.; SOARES, J. J.; SILVA, O. R. R. F.. **O cultivo sustentável da mamona no semi-árido brasileiro**. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 62p. (Embrapa Algodão. Cartilha, 1), 2006.

BERMÚDEZ, I.; ORELLANA, P.; PÉREZ PONCE, J.; CLAVERO, J.; VEITÍA, N.; ROMERO, C.; MUJICA, R.; GARCIA, L. **Improvement of the hybrid plantain clone FHIA-21 by mutagenesis *in vitro*. Infomusa**, v.9, p.16-19, 2000.

BEYAZ, R AND YILDIZ M.; **- The Use of Gamma Irradiation in Plant Mutation Breeding -** Plant Engineering - Chapter 3- p. 33-46 – 2017.
BJORN WALHSTROM, **Understanding Radiation**, Medical Physics Pub. Corp., 1996.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. **Techniques for monitoring crop nitrogen status in**
corn. Plant Anal, 25, 1994. 1791-1800.

BRASIL - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes.** (2009)
Brasília: DNDV/CLAV, 365 p.

BRASILEIRO, A.C.M.; **- Plantas trangênicas: Muito alem dos modismos** 1998**. Disponível em**: http://www.abrassem.com.br/Materiastecnicas/Plantastr.htm - As 15:16 horas do dia 14/09/2004.

BORÉM, A.- **Melhoramento de plantas**. 22 edição, Viçosa: Editora UFV, 1998, 453 p.

BORÉN, A.; MILACH, S.K.; **- O Melhoramento de Plantas na Virada do Milênio** – **Rev. Biotecnologia Ciência e Dessenvolvimento,** pág.: 68-72, n. 07 – Jan./Fev. de 1999.

BOERSEN, A.M.; LATADO, R.R.; TULMANN, A.T **- Obtenção de nova cultivar por meio de indução a mutação por raios gama em mudas de crisântemo (Dendrathemagrandefloria) de vaso**. VIII ENCONTRO CIENTIFICO DOS PÓS-GRADUANDOS DO CENA-USP. Piracicaba, 25-27 de Setembro de 2002.

BONATO, C. C; ELNECAVE, R. H. – **Alterações tireoidianas associadas a radiação externa em crianças e adolescentes –** Arq. Bras. Endocrinologiametabólica. P361 - 55/6. 2011.

BORLAUG, N. E.- **Human population, food demands and wildlife needs**. North American Wildlife and Natural Resource Conference, 37, mimeo, 1972.27 p.

BRITT AB. **DNA damage and repair in plants.***Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 1996;45:75–100.

BRÜCKMANN, M. E.; FRIES, S. G.; **- Radioatividade** - Instituto de Física - Porto Alegre - UFRGS, (Textos de Apoio ao Professor de Física; n. 2). 39p. 1991.

BRUSTAD, T.; BUGGE, H.; JONES, W.B.G.; WOLD, E. - **Reactions between Organic Nitroxyl Free Radicals and Radiation-induced Transients in the DNA Bases.** International Journal of Radiation Biology and Related Studies in Physics, Chemistry and Medicine, 22:2, 115-129, 1972.

CANURGO, C.E.O.; TULMANN, A.N.; FILHO, A.W.P.F.; FREITAS, J.G.; JUNIOR, PA.P.; CASTRO, J.L. - **Avaliação de genótipos de trigo oriundos de cruzamento interespecífico e radiação gama no estado de São Paulo.** SCIENTIA AGRICOLA, **v.52 n.1-005, 12 de maio de 1998.**

CARVALHO, N.M. & NAKAGAWA, J. ***Sementes:* ciência, tecnologia e produção**. 3.ed. Campinas, Fundação Cargill, 1988. 424p.

CARVALHO, M.A.C. de; FURLANI JUNIOR, E.; ARF, O.; SÁ, M.E.; PAULINO, H.B.; BUZETTI, S. **Doses e épocas de aplicação de nitrogênio e teores foliares deste nutriente e de clorofila em feijoeiro**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.445-450, 2003. Disponível em: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218486006.

CARVALHO, B. C. L. - Manual do cultivo da mamona. Salvador: EBDA, 65p. 2005.

CASARETT, A. P. **Radiation biology**. 1968, 1968.

CAVALCANTE, F. S. **A importância da mamona para a agricultura familiar no Estado da Paraíba**. RevistaEletrônicadeCiências, n.27, 2004.

CHARLES-EDWARDS, D. A. **Physiological determinants of crop growth.** London: Academic Press. p.161, 1986.

CHAUDHARY, J.; ALISHA, A.; BHATT, V.; CHANDANSHIVE, S.; KUMAR, N.; MIR, Z.; KUMAR, A.; YADAV, S. K.; SHIVARAJ, S. M.; SONAH, H.; DESHMUKH, R. - **Mutation Breeding in Tomato: Advances, Applicability and Challenges** – Plants - 8, 128, 2019.

CHIERICE, G.O.; CLARO NETO, S. **– Aplicação industrial do óleo**. AZEVEDO, D.M.P. de; LIMA, E.F. (Eds) **O agronegócio da mamona no Brasil.** Brasília: EmbrapaInformaçãoTecnológica, 2001. pág. 89-120.

CIESLAK, J. J.; • B.J. TILL - **Seeds and Plant Genetic Resources Team, Plant Production and Protection Division,** Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 2017.

CNEN **– Apostilas Educativas** - Site: http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/rad_ion.pdf - Acesso em: 10 de Janeiro de 2018.

COELHO, A.P. **– Energia nuclear e meio ambiente –** Radiobiologia - ENERGIA NUCLEAR,pág. – 386-436, 1977.

COSTA, R.M.A.; LIMA, W.C.; VOGEL, C.I.G.; BERRA, C.M.; LUCHE, D.D.; MEDINA-SILVA, R.; GALHARDO, R.S.; MENCK, C.F.M.; OLIVEIRA, V.R. **DNA repair-related genes in sugarcaneexpressedsequencetags (ESTs). Geneticsand Molecular Biology,** v.24 n.1-4, p.131-140, 2001.

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

ÇALIŞKAN B.; CENGIZ ÇALIŞKAN A. C. - **Interaction with Matter of Ionizing Radiation and Radiation Damages (Radicals) -** http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.74691 - Cap. 7 - 2018.

DA SILVA, R. C.; DA SILVA, R. M.; AQUINO, K. A. S. - **A Interação da Radiação Gama com a Matéria no Processo de Esterilização -** Rev. Virtual Quim, 6 (6), 1624-1641. 2014.

DE CAMPOS, S. X., SANCHES, S. M., FALONE, S. Z., & VIEIRA, E. M. **Influência da taxa de dose na degradação do herbicida ácido diclorofenóxiacético (2, 4-d) por meio da radiação gama do cobalto-60**. *EcléticaQuímica Journal*, *29*(1), 41-46. 2018.

DUVICK, D.N.- **Plant breeding: past achievements and expectations for the future**. Econ. Bat., v. 40 p.289-297, 1986.

EMBRAPA - **A Cadeia da Mamona no Brasil, com Ênfase para o Segmento P&D**: Estado da Arte, Demandas de Pesquisa e Ações Necessárias para o Desenvolvimento. - Documentos. Agosto, 2004 - n º 129.

EMBRAPA-
Site:http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/CultivodaMamona_2ed/cultivares.html#fig1 - **Sistemas de Produção**, 4- 2a.edição ISSN 1678-8710 Versão EletrônicaSet/2006.

EMBRAPA **– Site:** http://www.cnpgc.embrapa.br/publicacoes/ct/ct01/08producao.html, visualizado em 15/02/2013 as 10:45hrs.

EMBRAPA **– Site:** http://www.cnpae.embrapa.br/imprensa/noticias/mercado-da-mamona-cresce-no-mundo/ - visualizado em 01/09/2013 as 06:15hrs.

EMBRAPA - **Site:**
https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/mamona/arvore/CONT000h4rb0y9002wx7ha0awymty4m52beo.html# - visualizado em 14/12/2018 as 18:30hrs.

GONÇALVES, L. S. A.et al. **Heirloom tomato gene bank: assessing genetic divergence based on morphological, agronomic and molecular data using a Ward-modified location model**. Genetics and Molecular Research, v. 08, n. 01, p. 364-374, 2009.

GREENE EA, CODOMO CA, TAYLOR NE, HENIKOFF JG, TILL BJ, REYNOLDS SH, ENNS LC, BURTNER C, JOHNSON JE, ODDEN AR, COMAI L, HENIKOFF S. - **Spectrum of chemically induced mutations from a large-scale reverse-genetic screen in Arabidopsis**. Genetics 164(2):731–740, (2003).

GREENWOOD, N.N. e EARNSHAW, A. **Chemistry of the elements**. Oxford: Butterworth; Heinemann, 1997.

GUPTA, NIVEDITA - **Mutation breeding in vegetable crops: A review -** International Journal of Chemical Studies - 7(3): 3516-3519 – 2019.

HAY, R. K. M; WALKER, A. J. **An Introduction to the physiology of crop yield.** UK: Longman Scientific & Technical. p.292, 1989.

HOLE, C. C.; BARNES, A.; THOMAS, T. H.; SCOTT, P. A.; RANKIN, W. E. F. **Dry matter distribution between the shoot and storage root of carrot (Daucus carota L.). I. Comparison of varieties**. Annual Botany, v. 51, p.175-187. 1983.

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.

IAEA **– Mutation Breeding Review** – **Officially Released Mutant Varieties in Chine –** nº. 14, April 2004.

IPEN **– Noções Básicas de Proteção Radiológica** – Apostila – Agosto de 2002.

JAMES E. M.-**Physics for Radiation Protection** - Third Completely Updated Edition, Wiley-VCH Verlag& Co. KGaA, Boschstr. 12, 69469 - Weinheim, Germany. 2013.

KEITH, S.; MURRAY, H. E.; SPOO, W. - **TOXICOLOGICAL PROFILE FOR IONIZING RADIATION**. 1999.

KUZIN, A. M.; VAGABOVA, M. E.; PRINAK-MIROLYUBOV, V. N. **Molecular mechanisms of the stimulating effect of ionizing radiation on seed.** Activation of RNA synthesis. **Radiobiologiya**, v.15, p.747-750, 1975.

KUZIN, A. M.; VAGABOVA, M. E.; REVIN, A. F. **Molecular mechanisms of the stimulating action of ionizing radiation on seeds**. 2. Activation of protein and high molecular RNA synthesis. **Radiobiologiya**, v.16, p.259-261, 1976.

LAMARSH, J. R. - **Introduction to Nuclear Engineering**, 2nd edn, Addison Wesley, Reading, MA. 1983.

LEÃO, MOACIR DE ALMEIDA CARNEIRO – **PRINCÍPIOS DE BIOFÍSICA –** 2ª Edição – Rio de Janeiro – Copacabana Koogan, 1983.

LOPES, A. M. **Alterações morfofisiológicas e bioquímicas em sementes de mamona (*Ricinuscomunis* L.) submetidas a radiação gama do Co^{60}**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Pelotas, Pelotas – 2012.

MAAMOUN, M.K.M.; EL-MAHROUK, M.E. ; DEWIR, Y.H. ; OMRAN, S.A. **- Effect of radiation and chemical mutagens on seeds germination of black cumin (Nigella sativa L) -** Journal of Agricultural Technology - Vol. 10(5):1183-1199 – 2014.

MARCOS FILHO, J. - **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas.** 1. ed. Piracicaba: FEALQ, 495 p. (2005).

MARINO, CELSO LUIS**.** - Site: www.sgb.org.br**; Genética na Escola** (SBG) - 01.02, 75-78 (2006).

MAHAR, A.R.; HOLLINGTON, P.A; VIRK, D.S.; WITCOMBE, J.R. **- Selection for earlyheadingandsalt-toleranceinbreadwheat.** CentreforAridZoneStudies,UniversityofWales, Wales, Bangor, UK. 2002.Disponível em**: http://www.cazs.bangor.ac.uk/salinity/Resources/CRCPaper1.pdf.** Acesso em**: 12 de junho de 2004.**

MAAMOUN2, M.K.M.; EL-MAHROUK1, M.E.; DEWIR1, Y.H.; OMRAN, S.A.-**Effect of radiation and chemical mutagens on seeds germination of black cumin *(Nigella sativa* L),** Journal of Agricultural Technology - Vol. 10(5):1183-1199, 2014.

MARCU, D.; DAMIAN, G.; COSMA, C.; CRISTEA, V. **Gamma radiation effects on seed germination, growth and pigment content, and ESR study of induced free radicals in maize (Zea mays).** JournalofBiologicalPhysics, v.39, p.625-634, 2013.

MARQUES, A. T**. - Efeitos da Radiação Gama no Desenvolvimento de Materiais de Fava (*Vicia Faba*L.)** – Dissertação - UFPE, CTG, Energia Nuclear –2005.

MASUDA. M.; FURUICHI, T.; TAKEDA, Y**. Mutation spectrum of tomato, cv. First, induced by seed radiation with gamma-rays, and the subsequent partial chlorophyll deficiency**. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, v.67, p.93-98, 1998.

MDS NORDION lONTECHNOLOGIES.CatálogosTécnicos: **GAMMA SOURCE C-188 COBALT-60, BREVION ™, PALLET IRRADIATOR ™**, JS-9500 ™, JS-9600 ™ e JS-IOOOO™, 2005.

MEDEIROS, M. DE A.- COBALTO - QUÍMICA NOVA NA ESCOLA, Vol. 35, N° 3, p. 220-221, AGOSTO 2013.

MEHETRE, S.S.; MAHAJAN, C.R.; DHUMAL, P.M. **Effect of different doses of gamma irradiation on germination and survival of soybean.** Soybean Genetics Newsletter, v.21, p.108-112, 1994.

MEHTA, K. Gamma irradiators for radiation sterilization.In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Trends in radiation sterilization of health care products**.Viena: IAEA. p. 5-25, 2008.

MEHTA, K. Dosimetry and the radiation sterilization process.In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Trends in radiation sterilization of health care products**.Viena: IAEA. p. 91-118, 2008.

MELO, PALMIRA CABRAL SALES DE **– Desenvolvimento de Materiais de Arroz (*Oriza sativa* L.) Irrigado, Tolerantes à Salinidade dos Solos por Indução com Raios Gama** Tese - UFPE, CTG, Energia Nuclear –2005.

MICKE, ALEXANDER **- Plant Improvement By Induced Mutations** – IAEA Bulletin, VOL. 23, no.3 , 1981.

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

MITTLER, R., Vanderauwera, S., Gollery, M.; Van Breusegem, F..**Reactiveoxygen gene network ofplants**. **Trends in plantscience**, v. 9, n. 10, p. 490-498, 2004.

MONTEITH, J.L**.Solar radiation and productivity in tropical ecosystems**. JournalofAppliedEcology, v. 9, p. 747-766, 1972.

MOREIRA, J. de A.; LIMA, E.F.; FARIAS, F.J.C.; AZEVEDO, D.M.P. de; - **Melhoramento da mamoneira (Ricinuscommunis L.) Campina Grande: Embrapa Algodão, 1996. 29p. (Embrapa Algodão. Boletim de Pesquisa, 34).**

MORITA, R.; NAKANE, S.; SHIMADA, A.; INOUE, M.; IINO, H.; WAKAMATSU, T.; FUKUI, K.; NAKAGAWA, N.; MASUI, R.; KURAMITSU, S. **Molecular mechanisms of the whole DNA repair system: a comparison of bacterial and eukaryotic systems.** Journal of Nucleic Acids, p.1- 32, 2010.

Mudibu, J.; Nkongolo, k. k. c.; Kalonji-Mbuyi, A.; Kizung, R. V.; - **Effect of Gamma Irradiation on Morpho-Agronomic Characteristics of Soybeans*(Glycine max L.)* -** American Journal of Plant Sciences, Vol. 3, Nº. 3 - 331-337 - 2012,

OHLSON, O.C.; KRZYZANOWSKI, F.C.; CAIEIRO, J.T. E PANOBIANCO, M. - **Teste de envelhecimento acelerado em sementes trigo**. Revista Brasileira de Sementes, vol. 32, n. 4, p. 118-124. (2010).

OKUNO, EMICO. **– RADIAÇÃO: Efeitos, Riscos e Benefícios**, pag. 42, 1988.

OKUNO, E. et al. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: Harbra, 1982.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. M. **Física das radiações.** São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

OKUNO, EMICO - **Efeitos biológicos das radiações ionizantes. Acidente radiológico de Goiânia -** Estudos Avançados 27 (77), Scielo.br - pag. 186 - 2013.

PARENTE, E.J.S: **Minicurso do Congresso Brasileiro de Mamona**. CD-ROM - Campina Grande.2004.

PATERNIANI, ERNESTO. **- Técnicas de manipulação genética em plantas**: Uma análise crítica. – Site: www.sgb.org.br**;** Genética na Escola (SBG) – 01.01, 25-29(2006).

PENNA, S.; VITUHAL, S.B.; YADAV , P.V.; - **In vitromutagenesis and selection in plant tissue cultures and their prospects for crop improvement**. Global Science Book. ; 6(1):6-14. 2012.

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

PESTANA, R.K.N.; AMORIN, E.P.; SILVA, S. DE O. E; TULMANN NETO, A.; - **Irradiação gama para mutagênese in vitro em bananeira 'Terra Maranhão' -** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.45, n.10, p.1328-1330, out. 2010.

PIRES, M. DE M.; ALVES J. M.; NETO, J.A. DE A..; ALMEIDA.; C.M.; SOUSA, G. S. DE.; CRUZ, R.S. DA.; MONTEIRO, R., LOPES, B.S., ROBRA, S. - **BIODIESEL DE MAMONA: UMA AVALIAÇÃO ECONÔMICA – I Congresso Brasileiro da Mamona – 2004.**

RAMANJANEYULU, A.V.; REDDY, A. V.; MADHAVI, A. **The impact of sowing date and irrigation regime on castor (Ricinus communis L.) seed yield, oil quality**

characteristics and fatty acid composition during post rainy season in South India. Industrial CropsandProducts, v.44, p.25–31, 2013.

RAMOS, N.P.; AMORIM, E.P.; SAVY FILHO, A.- **Potencial da cultura da mamona como fonte de matéria-prima para o programa nacional de produção e uso de biodiesel.** In: CÂMARA, G.M. de S.; HEIFFIG, L.S. (Coord.). Agronegócio de plantas oleaginosas: matérias-primas para biodiesel. Piracicaba: Esalq, 2006. p.81-104.

REISZ, J. A.; BANSAL, N.; QIAN, J.; ZHAO, W.; FURDUI, C. M.- **Effects of ionizing radiation on biological molecules--mechanisms of damage and emerging methods of detection**. *Antioxid Redox Signal*.;21(2):260-292. doi:10.1089/ars.2013.5489, 2014.

REZAEIAN, P.; ATAENIA, V.; SHAFIEI, S. - **An analytical method based on multipole moment expansion to calculate the flux distribution in Gammacell-220**. RadiationPhysicsandChemistry, v. 141, p. 339-345, 2017.
RODRIGUES, T.J.D., LEITE, I.C., SANTOS, D.M.M. **Roteiro Para Aulas Práticas De Fisiologia Vegetal.** Jaboticabal, FUNEP, 79 p. ilust. 1998.

RODRIGUES, R. R.; GRYNBERG, S. E.; FERREIRA, A. V.; BELO, L. C. M.; SQUAIR, P. L.; SOUSA, R. V.; RIBEIRO, M. A.- **RetrievalofGammaCell 220 irradiatorisodose curves with MCNP simulationsand experimental measurements**. *BrazilianJournalofPhysics*, *40*(1), 120-124.2010.

ROCHA, M. C.**;** GONÇALVES, L.S.A.; CORRÊA, F. M.; RODRIGUES, R.; SILVA, S.L.; ABBOUND, A.C. de S.; CARMO, M.G.F.do;.**Descritores quantitativos na determinação da divergência genética entre acessos de tomateiro do grupo cereja**. Ciência Rural, v. 39, n. 03, p. 664-670, 2009.

SANJEEV, K.; GOPAL, K;.NEHA, S.; **- Mutation breeding in chickpea** - Advances in Plants & Agriculture Research - Volume 9 - Issue 2 - 2019

SANTOS, M.V.F.D.L dos. – **Resposta à Radiação gama em sementes de milho (Zeamays L.)**, sob influencia de agentes físicos e químicos. **Viçosa, MG, 1993.** Dissertação de Mestrado, ufv, 113p. 1993.

SANTOS, F. F. P. D.; ALMEIDA, F. D. L.; MOTA, F. D. A. D. S.; RIOS, M. A. D. S.; LIMA, A. A. D. S. **Análise de superfície de resposta dos blends do óleo de mamona e babaçu**. GEINTEC-Gestão, Inovação e Tecnologias, Aracaju, v.4, n.3, p.1139-1149, 2014.

SAVY FILHO, A. **Melhoramento da mamona. In: Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Aluísio Borém, 1999. p.185-407.

SCHABERLE, F. A.; SILVA, N. C. – **Introdução à Física da Radioterapia –** Universidade Federal de Santa Catarina – Centro de Ciências Físicas e Matemática – Departamento de Física – Site :http://server.fsc.ufsc.br/~canzian /intrort/efeitos.html - **Acesso em :** 12 de janeiro de 2004.

SIGURBJÖRNSSON, B. **Introduction: Mutations in plant programmes**. In: International Atomic Energy Agency: **Manual on Mutation Breeding**. 2. ed. Vienna: IAEA., 1977. p.1-6.

SILVEIRA, P.M. da; BRAZ, A.J.B.P.; DIDONET, A.D. **Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.38, p.1083-1087, 2003. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/109210/1/v38n9a09.pdf SILVA, M.T.B. Inseticidas na proteção de sementes e plantas. Seed News, Pelotas, n.5, p.26- 27, 1998.

SHLEIN B. - **The health physics and radiological health handbook**. Silver Spring, MD: Scinta, 264-265. 1992.

SPINA, P.; MANNINO, P.; REFORGIATO RECUPERO, G.; STARRANTINO, A. - **Use of mutagenesis at InstitutoSperimentale per LagramicoltoraAcireale: Result and prospects for the future.** In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE CONTRIBUTION OF PLANT MUTATION BREEDING TO CROP IMPROVEMENT, 1991, Viena. **Proceedings.** IAEA, 1991. Pág. 257-261.

SOARES, L. S; MILANI, M.; BELTRÃO, N. E. DE M**.** - **Mamona : o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 248p. : il. – (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

SONNTAG, V. C. **The chemical basis of radiation biology**. London: Taylor & Francis; 1987.

SOLANKI RK, GILL RK, VERMA P, SINGH S. **Mutation breeding in pulses: an overview**. In: Khan S, Kozgar MI (eds). Breeding of pulse crops. Kalyani Publishers, Ludhiana, pp.85-103, 2011.

SUZUKI, D. T.; GRIFFITHS, A. J. F.; MILLER, J. H.; LEWONTIN, R. C. **Introdução à genética**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 633. 1992.

TABOSA, JOSÉ NILDO **– Genótipos de Sorgo [*Sorghum bicolor* (L) Moench] Desenvolvidos sob níveis de Salinidade e Doses de Radiação Gama** – Tese – UFPE, CTG, Energia Nuclear – 2005.

THAPA, C.B. **Effect of acute exposure of gamma rays on seed germination of *Pinus kesiya*Gord and *P. wallichiana*** A.B. Jacks. BotanicaOrientalisJournalofPlant Science, p. 120-121, 1999.

TAUHATA, L.; SALATI, I.P.A.; PRINZIO, R. Di.; PRIZIO, M.A.A.R. Di.;- **Radioproteção e Dosimetria : Fundamentos – 5º Revisão agosto/2003 – Rio de Janeiro – IRD/CNEN – 242p.**

TOPPA, E. V. B., JADOSKI, C. J., **O uso dos marcadores moleculares no melhoramento genético de plantas** - Scientia Agraria Paranaensis **–** V. 12, nº 1, p.1-5, 2013.

THORAEUS, R.- **Chapter III. Standard Measurements of the Cobalt 60 Gamma Radiation**, Acta Radiologica, 51:sup179, 63-78, 1959.

TULMANN, A.N.; CAMARGO, C.E.de O.; ALVES, M.C. **– Indução a mutação visando obtenção de resistência a doenças na cultivar de trigo IAC-24**. Pesquisa Agropecuária Brasileira**,** Brasília, v. 30, nº 4, p. 497-504, abr. 1995.

TULMANN NETO, A.; LATADO, R.R. **Indução de mutações para o melhoramento de ornamentais e as perspectivas de sua utilização no Brasil**. Revista Brasileira de Horticultura Ornamental, v.5, n.1, p.1-11, 1999.

ULUKAPI, K.; OZDEMIR, B.; ONUS, A. N.; - **Determinationofpropergammaradiation dose in mutationbreeding in eggplant (Solanummelongena L.).** Adv. Environ. Agric. Sci, p. 149-153, 2015.

UNSCEAR - **Genetic and Somatics Effects of Ionizing Radiation -** Report of the United Nations Scientific Committees on the Effects of Atomic Radiations, 1986.

VERDI, A.; ELHANATI, A.; FRYDMAN-SHANI, A.; NEUMANN, H.; SPIEGEL-ROY, P. **New considerations on the choise of irradiation dose rate in Citrus. In: IAEA (Ed.)** Induced mutations and molecular techniques for crop improviment. **Viena, 1995 pág.667-670.**

VIANA. V.E.; LOPES, A.M.; DOS ANJOS, S.D. e BOBROWSKI, V.L. **Avaliação dos efeitos da radiação gama Co60 sobre o crescimento e desenvolvimento de plântulas de mamona cv. BRS Energia.** In: V Congresso Brasileiro de Mamona / II Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas & I Fórum Capixaba de Pinhão Manso, Guarapari (ES) – 2012. Guarapari. Desafios e Oportunidades: Anais... Campina grande: Embrapa Algodão, 2012. p. 354.

WANG, H.; JIANG, H.; GUCHT, M.; DE RIDDER, M.;- **Hypoxic Radioresistance: Can ROS Be the Key to Overcome It?**. Cancers. 11. 112. 10.3390/cancers11010112. 2019.

XAVIER, A. M.; MORO J. T.; HEILBRON, P. F. - **Princípios Básicos de Segurança e Proteção Radiológica** – **UFRG -** Segunda Edição Revisada e Ampliada – Set/2003.

ANEXO A – ETAPAS DE EXPERIMENTO

ETAPA 1- EXPERIMENTO EM LABORATÓRIO

Percentual de Germinação e Índice de Velocidade de Germinação de sementes de mamona (variedade Paraguaçu), submetidas a diferentes doses de radiação gama.

Doses Radiação	Germinação (%)	IVG
Controle	46,66a	0,70a
100	37,77a	0,56a
200	44,44a	0,65a
300	40,00a	0,59a
400	33,33a	0,50a
500	35,55a	0,54a
CV (%)	55,5	55,38

Médias com letras minúsculas iguais na coluna não diferem estatisticamente, entre si, pelo teste de Tukey (p< 0,05%).

Na tabela**,** podem ser observados os dados resultantes das análises estatísticas e que deram base para caracterizar o comportamento da variedade Paraguaçu em função dos tratamentos. Neste caso é possível verificar que não houve diferenças estatisticamente significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey entre os tratamentos irradiados e não irradiado em relação às variáveis observadas.

Neste contexto e diante da não significância dos dados conclui-se que o Coeficiente de Variação (CV%) superior a 55% é considerado pela literatura como altíssimo e portanto, contribuiu efetivamente para o baixo percentual de germinação, inferior a 50% em todos os tratamentos, inclusive no tratamento controle.

Portanto, sugere-se melhor observação quanto ao lote de sementes adquiridas, no que se refere ao vigor e ao percentual de germinação. Pois, esse fato pode estar relacionado ao tempo de estocagem ou a própria conservação das sementes. Já que não havia informações do tempo de armazenamento ou forma que foram armazenadas e de acordo com Marcos Filho (2005), as sementes oleaginosas apresentam potencial reduzido de armazenamento por apresentar menor estabilidade química dos lipídios em relação ao amido (das amiláceas), ao ponto que, caso ocorra elevação da temperatura, já é suficiente para a decomposição dos lipídios e aumento da taxa de deterioração.

Um dos aspectos mais pesquisados ultimamente tem sido a qualidade fisiológica das sementes, em decorrência de estarem sujeitas a uma série de mudanças que degradam seus constituintes, tais como os de origem bioquímica, fisiológica e física após a sua maturação, o que pode estar associado com a redução do vigor (ALIZAGA et al., 1990).

Nesse sentido, Carvalho &Nakagawa, (1988), ressaltam que – as condições ambientais e até o tipo de recipiente de armazenamento tem influência significativa na qualidade fisiológica das sementes.

Dessa forma, as sementes de mamona devem ser armazenadas com grau de umidade inferior ao recomendado para as amiláceas (Marcos Filho, 2005), ou seja, entre 8 e 10% (Gonçalves et al., 1981), o que pode não ter ocorrido nas utilizadas no experimento.

Ainda para tentar esclarecer os resultados obtidos sugere-se que nos estudos de radioindução de variantes genéticos é importante a ausência de efeitos inibitórios por radiação gama na germinação das sementes, para a possibilidade de obtenção de novos cultivares.

ETAPA 2 - EXPERIMENTO EM CASA DE VEGETAÇÃO

Teor de clorofila x doses crescentes de radiação gama em plântulas provenientes de sementes submetidas a diferentes doses de radiação (Variedade BRS Nordestina) em casa de vegetação.

Doses Radiação	Teor de Clorofila ($mg.dm^{-2}$)
Controle	3,12a
50	2,67b
150	2,52b
300	2,54b
450	2,52b
600	1,93c

Médias com letras minúsculas iguais na coluna não diferem estatisticamente, entre si, pelo teste de Tukey (p< 0,05%).

Por intermédio dos resultados obtidos no experimento 2 e descritos na tabela, podemos observar o teor de clorofila em função das doses crescentes de radiação, concluindo que o tratamento testemunha (0 Gy) apresentou maior teor de clorofila (3,12 $mg.dm^{-2}$), diferindo significativamente das demais e quando comparamos os teores de

clorofila dentro dos tratamentos que receberam irradiação, ficou caracterizado que apenas a maior dose (600 Gy) apresentou menor teor de clorofila (inferior a 2,00 $mg.dm^{-2}$, aproximadamente, 62% de clorofila em relação a testemunha), diferindo significativamente das demais.

As plantas dos tratamentos referentes à dose de radiação de 600 Gy apresentaram teores de clorofila foliar estatisticamente inferior a todos os demais, o que sugere que com o aumento da dose os teores de clorofila tenderiam a diminuir. Tal observação permite supor que algum grau de alteração em genes responsáveis pelo comando da síntese de clorofila pode ter ocorrido, sendo, no entanto, necessária uma dose de radiação bastante elevada.

Portanto, doses elevadas de radiação podem ter produzido um efeito negativo significativo na produção de clorofila. Como podemos ver, os resultados sugerem que para todas as doses (de 50Gy a 450Gy) houve efeito restritivo em relação ao controle (0Gy), apresentando, no entanto, um efeito mais expressivo para o tratamento com uma dose de 600 Gy.

Diante de tal comportamento podemos sugerir que talvez haja uma relação direta entre o número de cromossomos (2n=2 x=20)da variedade em estudo, e a dose necessária para afetar um número maior de genes responsáveis pela síntese de clorofila, podendo essa tal variação na produção de clorofila ser perceptível usando o método espectrofotométrico de análise.

Assim, de acordo com os estudos de Masuda, (1998), somente doses maiores ou por período mais prolongado poderiam afetar de tal forma os cromossomos do embrião da semente, que todos os alelos seriam afetados, cessando de vez a síntese do pigmento fotossintético clorofila.

Testes como estes, visando aferir a síntese de clorofila em mudas submetidas a esse tratamento, tem total embasamento considerando o efeito a nível genético pretendido, além de a variabilidade genética ser essencial para qualquer programa de melhoramento de culturas, pois quando induzida experimentalmente desta forma, fornece uma importante fonte de variabilidade.

Portanto, as doses de irradiação devem ser escolhidas testando-se doses diferentes ao mesmo tempo e examinando a população irradiada quanto a mutantes desejados para os quais características como taxa de sobrevivência, taxa de crescimento, mutação na clorofila etc., que são indicadores precoces da ocorrência de mutação.

Por fim, o tratamento com radiação ionizante torna-se, portanto, útil devido à aleatoriedade total da ação da radiação sobre o material genético como também o fato de que uma dose ideal de radiação produz efeitos, tanto através da mutação gênicas quanto cromossômicas.