

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES**

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS DE ARROZ (*Oryza sativa* L.)
IRRIGADO TOLERANTES À SALINIDADE DOS SOLOS POR INDUÇÃO
COM RAIOS GAMA**

PALMIRA CABRAL SALES DE MELO

RECIFE – PERNAMBUCO - BRASIL

MAIO – 2005

PALMIRA CABRAL SALES DE MELO

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS DE ARROZ (*ORYZA SATIVA L.*)
IRRIGADO TOLERANTES À SALINIDADE DOS SOLOS POR INDUÇÃO
COM RAIOS GAMA**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares do Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco para obtenção do título de Doutor em Ciências, Área de Concentração: Radioagronomia.

ORIENTADOR: Prof. Dr. WALDECIRO COLAÇO

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. CLODOALDO JOSÉ DA ANUNCIÇÃO FILHO

RECIFE – PERNAMBUCO - BRASIL

MAIO – 2005

M528d Melo, Palmira Cabral Sales de

Desenvolvimento de materiais de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado, tolerantes à salinidade dos solos por indução com raios gama - Recife: O Autor, 2005.

ix, 74 f., figs., tabs.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Energia Nuclear. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares

Inclui bibliografia.

1. Arroz irrigado. 2. Salinidade. 3. Radiação gama I.
Título.

631.416 CDD (22. ed.)

BCTG/2005-30

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS DE ARROZ (*Oryza Sativa* L.)
IRRIGADO TOLERANTES À SALINIDADE DOS SOLOS POR
INDUÇÃO COM RAIOS GAMA**

Palmira Cabral Sales de Melo

APROVADA EM: 10.02.2005

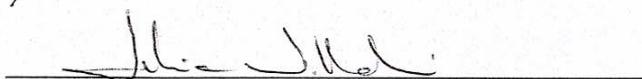
ORIENTADOR: Prof. Dr. Waldecir Colação

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Clodoaldo José da Anunciação Filho

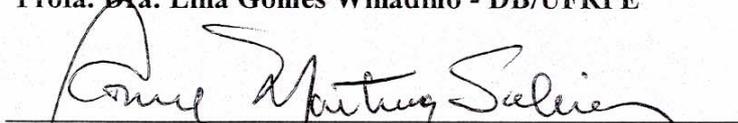
COMISSÃO EXAMINADORA:



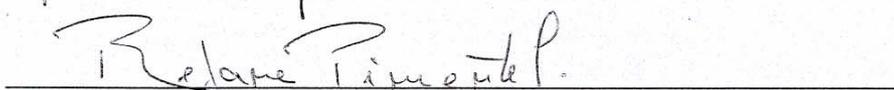
Prof. Dr. Waldecir Colação - DEN/UFPE



Profa. Dra. Lília Gomes Willadino - DB/UFRPE



Prof. Dr. Cosme Rafael Martinez Salinas - LIKA/UFPE

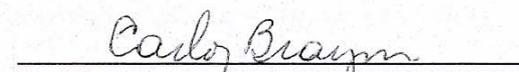


Profa. Dra. Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel - DB/UFRPE



Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá Barreto Sampaio - DEN/UFPE

Visto e permitida a impressão



Coordenador do PROTEN/DEN/UFPE

Aos meus pais, Adriano Sales de Azevedo
Melo "*in memoriam*" e Rita Cabral Sales de
Melo

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas bênçãos que tornaram possível a realização desse trabalho e à Nossa Senhora, por sua intercessão e proteção.

À minha mãe, pelo amor, carinho e apoio ofertados.

Ao meu pai que, apesar de ausente desta vida, esteve presente por meio dos ensinamentos deixados e da saudade.

À Universidade Federal de Pernambuco, especificamente ao Departamento de Energia Nuclear, pela oportunidade de realização do Curso.

À Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária – IPA, pela oportunidade de aprimoramento profissional concedida.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão-CNPAP/Embrapa, por ter cedido as sementes de arroz utilizados nesse trabalho.

Ao professor Waldeciro Colaço, por suas orientações.

Ao professor Clodoaldo José da Anunciação Filho, pelas orientações e apoio.

Aos professores do Departamento de Energia Nuclear – UFPE, que ao repassarem seus conhecimentos, ajudaram-me a atingir mais esta etapa em minha vida.

Aos professores que fizeram parte da Comissão de Acompanhamento, Everardo Sampaio, Rejane Pimentel e Gilberto Alves, pelas sugestões.

Aos colegas do IPA e aos Diretores de Pesquisa, Mário de Andrade Lira e Antonio Félix da Costa, pelo apoio para continuar este curso, quando retornei ao IPA.

À coordenadora de Hortaliças do IPA, Maria Cristina Lemos, que além da compreensão, como colega, foi verdadeira amiga no apoio e incentivos oferecidos.

Aos colegas do IPA: Maria do Carmo, Marilene e Jairo, do Laboratório de Solos; Vânia Canuto, Sandra e Mirian, do Laboratório de Sementes; Almira, Sônia e Paulo, da Biblioteca; Ana Rita, Hélio Burity e José de Paula, pelo apoio e colaboração e especialmente a Venézio Felipe dos Santos, pelas sugestões e contribuições nas análises estatísticas.

Aos estagiários do IPA, Roberto, Adriana, Paulo, Morgana e Ana Alice, pela colaboração e amizade ofertadas.

A todos os funcionários do Departamento de Energia Nuclear da UFPE, em especial, João Batista, pela colaboração.

Aos colegas da UFPE em especial a Romero Marcílio, Ariosto, Eliane, Edvane, Sérgio, Jaberson e Aldrin, pela amizade e bons momentos vividos.

À minha irmã, Maria Rita que, apesar de também estar atribulada com sua tese de Doutorado, não mediu esforços para ajudar, orientar e incentivar no que foi preciso.

Ao meu irmão Antônio, meus sobrinhos Fábio, Rodrigo, Lucas, Mayara, Adriano (Daninho) e Aron, pela carinhosa ajuda.

Às minhas tias, Cau e Emília, pelas orações e apoio.

À minha prima Maria do Carmo Lyra, pelo incentivo e apoio. A meu primo Guilherme Sales Soares, pela colaboração.

A Aucreciano Santos de Oliveira, cujo apoio, incentivo e carinho foram de fundamental importância.

LISTA DE TABELAS

	Página
1 - Percentagem de germinação de sementes de arroz (cinco dias após semeio), submetidas a diferentes doses de radiação e mantidas sob potencial osmótico de 0 MPa.....	44
2 - Percentagem de germinação de sementes de arroz (14 dias após semeio), submetidas a diferentes doses de radiação e mantidas sob potencial osmótico de -1,2 MPa.....	45
3 - Atributos químicos do neossolo flúvico, em estudo.....	54
4 - Efeitos da variedade e irradiação de sementes no número de perfilhos (NP), produção de matéria verde (PMV), produção de m seca (PMS) e área foliar (AF), do arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) irrigado	55
5 - Efeitos de diferentes doses de radiação gama ^{60}CO , em sementes de cinco variedades de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) irrigado, quanto ao número de plantas germinadas	56
6 - Efeitos de diferentes doses de radiação gama ^{60}CO , em sementes de cinco variedades de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) irrigado, quanto ao vigor das plantas (nota adotada pela Embrapa/CNPAP)	57
7 - Efeitos de diferentes doses de radiação gama ^{60}CO , em sementes de cinco variedades de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) irrigado, quanto a altura das plantas (cm).....	58
8 - Efeitos da salinidade no percentual de germinação (%G), número de perfilhos (NP), altura de planta aos 90 dias (AP), nota para vigor (NV), produção de matéria verde (PMV), produção de matéria seca (PMS), número de dias para floração (NF), número de dias para colheita (NC) e área foliar (AF), do arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) irrigado	73
9 - Efeito da salinidade ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$), na produção de grãos (g) do arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) irrigado	74

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 - Efeito da variedade na floração do arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) irrigado. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%). Médias de 4 repetições	71
2 - Efeito da radiação das sementes na época de colheita (dias) do arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) irrigado. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%). Médias de 4 repetições	72

SUMÁRIO

Página

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

SUMMARY

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1	SALINIZAÇÃO DOS SOLOS	4
2.2	COMPORTAMENTO DA PLANTA EM SOLOS SALINOS	6
2.3	UTILIZAÇÃO DE MUTAÇÃO INDUZIDA	11
2.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	16
3	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
4	ARTIGOS	34
4.1	SENSIBILIDADE DE VARIEDADES DE ARROZ (<i>ORYZA SATIVA</i> L.) À RADIAÇÃO GAMA E SALINIDADE: UM ESTUDO PRELIMINAR NO ESTÁDIO DE GERMINAÇÃO	35
4.2	SENSIBILIDADE DE VARIEDADES DE ARROZ (<i>ORYZA SATIVA</i> L.) À RADIAÇÃO GAMA: UM ESTUDO PRELIMINAR NA FASE VEGETATIVA	46
4.3	EFEITO DA SALINIDADE E DA RADIAÇÃO GAMA EM CULTIVARES DE ARROZ (<i>ORYZA SATIVA</i> L.) IRRIGADO ...	59

DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS DE ARROZ (*ORYZA SATIVA* L.) IRRIGADO TOLERANTES À SALINIDADE DOS SOLOS POR INDUÇÃO COM RAIOS GAMA

Autora: Palmira Cabral Sales de Melo

Orientador: Prof. Dr. Waldeciro Colaço

Co-orientador: Prof. Dr. Clodoaldo José da Anunciação Filho

RESUMO

Mutantes de arroz foram estudados quanto à tolerância a salinidade dos solos por meio da utilização da radiação gama com ^{60}Co . Foram avaliados os efeitos da radiação gama (^{60}Co) na germinação de genótipos de arroz (5 e 14 dias), sob diferentes estresses salinos. O nível de salinidade de $-1,8$ MPa ($5,0$ dS.m $^{-1}$) impediu a germinação das sementes até os 14 dias e o de $-1,2$ MPa ($3,3$ dS.m $^{-1}$) teve efeito diferencial entre as variedades. As doses de radiação empregadas (120-360 Gy) não interferiram na germinação das sementes. Foram avaliados os efeitos da radiação gama (^{60}Co) em cinco genótipos de arroz irrigado. A dose de 360 Gy afetou negativamente as variedades de arroz quanto ao número de perfilhos, produção de matéria verde e seca, área foliar, germinação, vigor e altura. As doses de radiação abaixo de 300 Gy não afetaram significativamente os parâmetros avaliados. Foram estudados, também, os efeitos da radiação gama (^{60}Co) em genótipos de arroz sob diferentes estresses salinos. Houve diferença significativa entre variedades apenas para dias para floração. As doses de radiação estudadas interferiram significativamente apenas na colheita; quanto maior a dose empregada, maior o número de dias para colheita. A salinidade empregada interferiu na germinação, número de perfilhos, altura da planta, vigor, área foliar, produção de matéria verde e seca e dias para floração e colheita.

DEVELOPMENT OF IRRIGATED RICE (*Oryza sativa* L.), SOIL SALINITY TOLERANT, BY MEANS OF GAMMA RAY INDUCTION

Author: Palmira Cabral Sales de Melo

Advisers: Waldeciro Colaço
Clodoaldo José da Anunciação Filho

SUMMARY

Rice mutants were studied, in relation to salt tolerance in soil, after ^{60}Co gamma radiation induction. The effects of (^{60}Co) gamma radiation during the germination of rice genotypes (at 5 and 14 days), were evaluated under different levels of salt stress. The salinity level of 1.8 Mpa (5.0 dS.m^{-1}) prevented the germination of seeds until 14 days, and 1.2 MPa (3.3 dS.m^{-1}) had a differential effect among the varieties. The doses of radiation utilized (120-360 Gy) did not interfere in the germination of the seeds. The (^{60}Co) gamma radiation effects on five genotypes of irrigated rice were evaluated. The dose of 360 Gy negatively affected the rice varieties regarding the number of seedlings, the production of green and dry matter, leaf area, germination, vigour and height of plant. The doses of radiation below 300 Gy did not have any significant effect on the parameters evaluated. The effects of (^{60}Co) gamma radiation on rice genotypes under different salt stresses were also studied. There was a significant difference among the varieties but only during the state of flowering. The doses of radiation showed a significant interference only in the harvest; the higher the dose used, the more days to the cropping. The level of salinity applied in the experiment influenced the germination, number of seedlings, height of plant, vigour, leaf area, fresh and dry matter and days up to flowering and to cropping.

1 INTRODUÇÃO

O arroz, *Oryza sativa* L., é o alimento básico mais importante do mundo. Mais da metade da população mundial depende dele como principal fonte de calorias e proteínas. No mundo, esse cereal é cultivado em mais de 153 milhões de hectares, o que representa 10% das terras cultivadas do planeta (JENNINGS et al., 2002). Em 2001, a produção mundial do arroz em casca alcançou mais de 500 milhões de toneladas (JENNINGS et al., 2002). Os nove maiores produtores desse cereal localizam-se na Ásia; o Brasil situa-se em décimo lugar, contribuindo com 1,5% da produção mundial e com 55% do arroz colhido na América do Sul (FAO, 1991). A produção nacional de arroz em casca ultrapassou os 10 milhões de toneladas e, em Pernambuco atingiu 16.950 toneladas, no ano de 2003 (IBGE, 2004).

Segundo Lira et al. (1982), 52% da superfície do Nordeste brasileiro são considerados semi-áridos. O clima é caracterizado pela insuficiência de precipitações e pelas altas taxas de evaporação ($2.000 \text{ mm.ano}^{-1}$) e insolação ($2.800 \text{ horas.ano}^{-1}$). As chuvas apresentam-se, além de escassas, extremamente irregulares quanto à sua distribuição no tempo e no espaço. O resultado é a pouca disponibilidade de água no solo para as plantas e a fragilidade dos sistemas econômicos que dependem dessas precipitações. Embora o semi-árido brasileiro atinja em média 800 mm anuais, esse valor é pouco relevante porque é grande a incerteza climática da região, marcada por grandes antecipações ou atrasos do período chuvoso e por sua concentração em alguns poucos meses do ano (CODEVASF, 2001).

Na região tropical brasileira e, especialmente, nas regiões Norte (Vale do Araguaia) e Nordeste (perímetro irrigado do São Francisco), o arroz é cultivado em cerca de 150.000 hectares sob irrigação controlada (EMBRAPA, 2004).

O arroz irrigado na região Nordeste desempenha papel de fundamental importância do ponto de vista sócio-econômico. Por ser cultivado nas regiões ribeirinhas do São Francisco, independe das instabilidades climáticas, principalmente das estiagens comuns na região. Com isto, o cultivo do arroz serve de elemento fixador do nordestino à terra, evitando assim, o

êxodo rural. Além disso, continua sendo plantado por um grande número de famílias de pequenos produtores, como cultura de subsistência, praticamente em todos os estados do Brasil. Sua grande importância social é a satisfação da necessidade alimentar de populações rurais (YOKOYAMA, 2002).

Segundo Barros; Santos (2002), a rizicultura irrigada no Nordeste destaca-se principalmente em Pernambuco, Ceará e Sergipe, que, juntos, exploram cerca de 40.000 ha sob irrigação. Nas regiões áridas e semi-áridas, os solos submetidos à irrigação e desprovidos de uma drenagem adequada podem acumular teores consideráveis de sais e, conseqüentemente, limitar a produtividade dos cultivos (RICHARDS, 1974; CAMPOS; ASSUNÇÃO, 1990). Tal situação é refletida em parte do semi-árido nordestino do Brasil, nas áreas onde as secas periódicas constituem-se no principal problema.

Na tentativa de solucionar os problemas resultantes da salinização dos solos, três alternativas têm sido apresentadas: (1) recuperação dos solos inutilizados ou em via de inutilização; (2) desenvolvimento de melhor manejo do solo e da água; (3) desenvolvimento de plantas tolerantes ao excesso de sais no solo e água de irrigação. As duas primeiras alternativas envolvem grandes investimentos e a primeira, somente em determinadas circunstâncias poderá ser viável economicamente (STROGONOV, 1962; BLACK, 1975). Em função da existência da variabilidade genética entre os genótipos de arroz em relação à salinidade, a última alternativa é a que provavelmente poderá oferecer melhores resultados, pois os custos para desenvolver genótipos tolerantes são irrisórios quando comparados com os da recuperação físico-química dos solos. O desenvolvimento de plantas tolerantes à salinidade pode ser feito por intermédio da irradiação com raios gama, pois, de acordo com Gangadharan et al. (1976) e Hu (1984), o melhoramento por mutação induzida tem a vantagem de ser rápido e eficiente, podendo produzir um tipo desejado sem modificação no fenótipo estabelecido.

Estudando os efeitos da salinidade na produção e nos componentes de produção do arroz, Zeng; Shannon (2000) concluíram que é aconselhável fazer-se o melhoramento genético do arroz para se obter materiais tolerantes à salinidade, considerando os custos e a aplicabilidade nas condições de campo. O efeito genético da tolerância ao sal pode ser marcado pela adição e efeitos epistáticos ou por interações alélicas (ZHU et al., 2000).

A indução de mutação mostra-se particularmente útil em situações onde há necessidade de alterações em poucas características de herança simples e em sistemas genéticos altamente

desenvolvidos (ALLARD, 1971; RUTGER, 1983). Maluszynski et al. (1986) relataram que quase todas as características de herança simples ou governadas por sistemas poligênicos podem ser modificadas através de mutação induzida, como demonstra uma série de mutantes que foram lançados como cultivares ou utilizados como fontes de variabilidade genética. Portanto, pretende-se utilizar a mutação para se obter materiais de arroz que sejam mais tolerantes a níveis elevados de salinidade dos solos.

Na orizicultura irrigada no Submédio São Francisco, onde se concentra a maior produção do estado de Pernambuco, o registro de variedades tolerantes à salinidade é inexistente.

O presente trabalho objetivou estudar os efeitos da radiação gama (^{60}Co) em genótipos de arroz, sob diferentes estresses salinos, visando selecionar materiais mutantes tolerantes à salinidade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Salinização dos solos

O melhoramento genético das plantas tornou-se essencial para a agricultura para obtenção de variedades com produções satisfatórias sob várias condições agroclimáticas, em diferentes regiões, devido ao aumento da população e à redução dos recursos da terra (ZHU et al., 2000). A redução dos recursos da terra é causada pela salinização dos solos, entre outros aspectos, e os solos com problemas de salinização têm sido motivo de preocupação por parte de técnicos e instituições oficiais de diferentes regiões do mundo (VAN CANEGHEM; LHOEST, 1987; MACÊDO; SANTOS, 1992; HURKMAN, 1992; SOUTO et al., 1998; LIMA et al., 2001). As altas concentrações de sais solúveis e ou de sódio trocável que afetam os solos decorrem das condições climáticas ou topográficas e ou da natureza do material originário (RICHARDS, 1974). Em muitos países, a salinização dos solos é o maior problema ambiental (IDRC, 2001).

Nas regiões áridas e semi-áridas, os solos submetidos à irrigação, em ausência de drenagem suficiente, podem acumular teores apreciáveis de sais e, conseqüentemente, limitar a produtividade dos cultivos (RICHARDS, 1974). Essas regiões caracterizam-se por apresentar baixa precipitação pluviométrica e pela intemperização de rochas com alta concentração de sais. Com a baixa precipitação, não se completa o processo de lixiviação do solo pela intensa evaporação decorrente das temperaturas altas, propiciando o aumento da concentração de sais no solo (DAKER, 1976).

Dois aspectos podem caracterizar a salinidade: o baixo potencial osmótico da solução do solo, que pode provocar efluxo de água das plantas, e a alta concentração de sódio e outros íons tóxicos (STURM et al., 1998).

De acordo com Akbar; Ponnampereuma (1980), há 380 milhões de hectares de solos salinos em várias partes do mundo. A América do Sul destaca-se em terceiro lugar, com cerca

de 13,5% de sua área afetada, representam 129 milhões de hectares. Macedo; Santos (1992) informaram que, de acordo com estimativas da FAO/UNESCO, perto de 10 milhões de hectares de áreas irrigadas no mundo são abandonados, anualmente, em consequência dos efeitos negativos da irrigação, seja por salinidade secundária, seja por alcalinização. Nas regiões semi-áridas do nordeste brasileiro, a deficiência hídrica favorece o acúmulo de sais solúveis e sódio trocável (CORDEIRO, 1988). Um solo localizado em região com baixas precipitações, com drenagem deficiente ou nula, quando irrigado, tende a se tornar salino em um curto espaço de tempo, porque as plantas basicamente removem a água do solo, enquanto a maior parte dos sais fica nele retida. Isto vem ocorrendo nas regiões semi-áridas do nordeste brasileiro (CORDEIRO, 1988). Além disso, a salinização dos solos é considerada um dos indicadores de degradação ambiental, ameaçando a sustentabilidade da agricultura irrigada na região Nordeste (PEREIRA et al., 2004)

Os solos salinos podem ser originados por diversos fatores. O mais freqüente é o de origem litológica, ou seja, que se origina das rochas. O papel da geomorfologia é também decisivo, pois a existência de depressões ou declividades insuficientes para o fluxo de água, gera também a acumulação dos sais. Com o balanço hídrico desfavorável para a lixiviação em profundidade e a consequente eliminação dos sais, o clima é outro fator que favorece a salinização dos solos. O homem também pode induzir ou contribuir para aumentar a salinização do solo, quando utiliza para a irrigação, água com elevado nível de salinidade, ou solos com baixa condutividade hidráulica, o que ocasiona drenagem insuficiente (FERNANDEZ et al., 1984). Cavalcanti (2001) enfatizou que a irrigação mal conduzida provoca a salinização dos solos, inviabilizando algumas áreas e perímetros irrigados do semi-árido. O problema tem sido provocado, tanto pelo tipo de sistema de irrigação, muitas vezes inadequado às características do solo, quanto, principalmente, pela maneira como a atividade é executada, molhando-se mais do que irrigando. Chuvas torrenciais ajudam a reduzir a concentração do sódio da superfície do solo devido à alta solubilidade dos sais de sódio (GILMOUR et al., 1976).

Os sais solúveis produzem efeitos maléficos às plantas, ao aumentar a concentração de sal da solução do solo e o grau de saturação dos materiais intercambiáveis do solo. Este último efeito se apresenta quando os constituintes solúveis são, em sua maior parte, sais de sódio, e é de natureza mais permanente que o conteúdo salino da solução do solo, já que o sódio

intercambiável geralmente persiste depois que os sais solúveis são eliminados (RICHARDS, 1974).

O método mais usado para se determinar a salinidade de um solo é o recomendado pelo *U.S. Salinity Laboratory* que consiste em se medir a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEe) a 25°C. A indicação da salinidade em função da CE e não da quantidade ou porcentagem de sais no solo, traz a vantagem de relacioná-la diretamente com a tolerância das plantas, enquanto que o efeito da quantidade ou porcentagem de sais no solo vai depender do tipo de solo, além do seu teor de umidade, pois, para determinada quantidade de sal, a concentração vai ser maior quando a capacidade de retenção de água no solo for menor. Um solo é considerado salino, quando a CE ultrapassa 2dS.m⁻¹ (GLOSSARY, 1975).

Antes de lançar o experimento definitivo para avaliar o comportamento de variedades de arroz sob vários níveis de salinidade, Fageria (1991) instalou um experimento preliminar de incubação do solo, para estimar as quantidades de NaCl aplicadas ao solo, por meio da determinação da CE do extrato saturado do solo.

2.2 Comportamento da planta em solos salinos

Richards (1974) afirmou que o arroz (*Oryza sativa* L.) é uma espécie que se comporta como medianamente tolerante à salinidade, suportando níveis de salinidade na faixa de 6 a 10 dS.m⁻¹. No entanto, Macêdo (1988), em estudo sobre a relação entre a CE e a produtividade de diferentes culturas, observou, para a cultura do arroz, que a partir da CE de 4 dS.m⁻¹, a produtividade do arroz teve um decréscimo de 12%, chegando a 50% com uma CE igual a 7 dS.m⁻¹. O autor salientou que esses números não são absolutos porque a sensibilidade ou tolerância das plantas depende de suas características genéticas, das condições climáticas e do tipo de sal predominante. De acordo com os estudos realizados por Scardaci et al. (1996), a produção de grãos de arroz das cultivares por ele estudadas, decresceram quando a CE excedeu a 2 dS.m⁻¹. Concordando com Macêdo (1988), Jacob Jr. et al. (2002) afirmaram que diferentes cultivares podem apresentar comportamentos diferentes quando são submetidas a diferentes níveis de NaCl.

Os efeitos adversos da salinidade sobre as plantas constituem um dos fatores limitantes da produção agrícola, devido, principalmente, ao aumento da pressão osmótica do solo e à toxicidade resultante da concentração salina e dos íons específicos. Em solos sódicos, o problema maior é sobre as características físicas do solo, devido à dispersão da argila, criando problemas de compactação, diminuindo, conseqüentemente, a aeração e dificultando o movimento de água e o desenvolvimento radicular, além do efeito tóxico do sódio (CORDEIRO, 2001).

Em estudos realizados em 280.000 fazendas do Norte do Sri Lanka, constatou-se que em áreas moderadamente salinas, a redução na produção de grãos atingiu 10 a 15%; em áreas com salinidades altas, a produção de grãos chegou a se reduzir a 1/3 (IDRC, 2001).

O cultivo do arroz em solos afetados pela salinidade é justificado pelo fato dessa planta resistir à inundação, o que favorece às lavagens do solo (PORTA; LÓPEZ-ACEVEDO, 1987). O arroz é a principal cultura utilizada em solos com excesso de sódio, em processo de recuperação nos países tropicais (HOLANDA, 1996). A alternativa economicamente mais viável para utilizar áreas com problemas de salinização dos solos é o uso de variedades tolerantes (GHEYI et al., 1987; KHAN et al., 1987; FAGERIA, 1991; BUOL; ESWARN, 1993; WILLADINO et al., 1995; MISHRA et al., 1996).

Gomes et al. (2000) ressaltaram que o cultivo do arroz sob inundação ajuda a recuperar os solos salinos, ocasionando a diminuição da salinidade (CE do extrato saturado do solo), da porcentagem de sódio trocável e do pH, principalmente na camada superficial (0 a 20 cm), independente do emprego dos condicionadores químicos ou orgânicos. Mas sabe-se que isso só é possível se a água da irrigação for de boa qualidade e se houver uma drenagem adequada.

Os efeitos da salinidade podem levar à morte das plantas ou provocar distúrbios nutricionais, refletindo-se principalmente sobre a altura, a área foliar e o acúmulo de matéria fresca e matéria seca, tanto da parte aérea como das raízes. Tais efeitos são reflexos, dentre outros fatores, de reduções na fotossíntese (BOHRA; DOERFFLING, 1993), respiração (SCHWARZ; GALE, 1981), transpiração (RICHARDS, 1992) e translocação (BHIVARE; CHAVAN, 1987), além de um desequilíbrio hídrico e ou iônico no interior da planta (GREENWAY; MUNNS, 1980) e efeitos de toxicidade (NEUE et al., 1998).

Há situações em que é difícil manter uma baixa salinidade no solo, de modo econômico, como nos casos da água da fonte de irrigação ser de pouca profundidade do lençol

freático, da deficiência na permeabilidade do solo, do alto custo inicial da drenagem e recuperação do solo, dentre outros. Nesses casos, a seleção adequada de espécies e variedades de plantas que possam tolerar e produzir na presença de sais, e ou a adequação de práticas culturais em condições de solos salinos para minimizar os efeitos dos sais, podem se constituir em fator decisivo do êxito agrícola (MACÊDO, 1988).

A reincorporação de áreas salinizadas tem sido pesquisada por meio de métodos tradicionais que nem sempre dão bons resultados, além de terem custos elevados. Como alternativa, a utilização de espécies tolerantes tem se mostrado bastante viável na reutilização dessas áreas, dado o baixo custo e ao retorno imediato (FERNANDES et al., 1998). Entretanto, a tolerância à salinidade nas plantas envolve várias interações das propriedades fisiológicas, porque é fortemente influenciada por fatores ambientais (YEO, 1983).

Akbar; Yabuno (1977) afirmaram que a esterilidade na indução à salinidade nas espécies é uma característica oligogênica controlada por três pares de genes. Outros autores estimam que a resistência à salinidade no arroz é uma característica quantitativa exibindo efeitos genéticos aditivos de dominância e sobredominância (MOELJOPAWIRO; IKEHASHI, 1981; AKBAR et al., 1986). Similarmente, os efeitos da sobredominância foram atribuídos ao K^+ vs. Na^+ , discriminados no arroz (GREGORIO; SENADHIRA, 1993). Esses efeitos sobredominantes sugerem que a heterose poderá ter um interessante papel no melhoramento para novos materiais de arroz tolerantes à salinidade.

Zhu et al. (2000) utilizaram cultura de tecido para selecionar cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) mais tolerantes ao sal e afirmaram que os efeitos genéticos envolvidos na tolerância ao sal podem ser importantes para o melhoramento de plantas; tais efeitos podem ser marcados pela adição e efeitos epistáticos, ou por interações alélicas. No caso dos efeitos marcados pela adição e efeitos epistáticos, será possível a estabilização dos efeitos aditivos pela fixação na linha homozigótica melhorada; a então tolerância ao sal permanecerá constante, enquanto que no caso dos efeitos marcados por interações alélicas, a resistência irá diminuir a cada ciclo de autopolinização, como uma consequência direta do decréscimo na proporção dos genótipos heterozigotos. Zhu et al. (2000) afirmaram, ainda, que as interações alélicas e não alélicas podem influenciar a expressão de um único parâmetro relacionado à produção e ao estresse salino, e que a possível interação com outros fatores ambientais pode influenciar fortemente a expressão de cada interação, dificultando, desse modo, os estudos da herança para a resistência

ao sal. Por esse motivo, em programas de melhoramento, os materiais melhorados obtidos são recomendados para aquela região específica e, para que sejam recomendados para outra região, serão necessários novos testes e assim se ter conhecimento da sua adaptabilidade à nova região.

A salinidade é o principal obstáculo para altas produções de arroz em milhões de hectares, nos deltas, estuários e margens costeiras nos trópicos úmidos (PONAMPERUMA, 1977). Este fator também impede o crescimento do arroz irrigado nas regiões áridas e semi-áridas (PONAMPERUMA, 1977; FAGERIA, 1991). Conforme Oliveira (1983), os níveis crescentes de sais na água de irrigação afetaram desfavoravelmente a germinação das sementes, além de causar queima nas folhas, redução significativa na altura das plantas, número de perfilhos, índice de área foliar, produção de grãos e matéria seca. Em solos com excesso de sais, é freqüente a má germinação, o que pode gerar fracasso no cultivo. Os efeitos dependem da planta, do nível e do tipo de salinidade do solo (PORTA; LÓPEZ-ACEVEDO, 1987).

Estudos realizados por Marassi et al. (1989) para avaliar 81 cultivares e 9 linhagens locais de arroz quanto à tolerância à salinidade e alcalinidade associadas aos fatores climáticos, mostraram que os materiais eram mais tolerantes na fase reprodutiva que na vegetativa. A altura de planta e o comprimento da panícula correlacionaram-se fortemente com os problemas do solo (salinidade, alcalinidade e temperatura alta).

Avaliando os efeitos do estresse hídrico, provocados pelo cloreto de sódio e pelo sulfato de sódio, na germinação e no vigor de sementes de arroz da cultivar IAC-25, a potenciais osmóticos que variaram de 0,0 a $-1,2\text{MPa}$, Campos; Assunção (1990) concluíram que a germinação e o crescimento das plântulas foram mais afetados pelo sulfato de sódio e que os sais promoveram uma ação mais tóxica que osmótica. Além disso, o potencial osmótico a $-0,8\text{MPa}$ de cloreto ou sulfato de sódio pode ser considerado crítico para a germinação e o crescimento da cultivar estudada. Estudando 100 genótipos de arroz submetidos a 4 diferentes potenciais osmóticos (0; $-0,4$; $-0,8$ e $-1,2\text{MPa}$), Melo et al. (1995) concluíram que o potencial de $-1,2\text{MPa}$ interferiu negativamente na germinação dos genótipos avaliados.

Salim et al. (1990) observaram que a salinidade reduziu significativamente a altura da planta de arroz, o comprimento da raiz e a biomassa em todas as cultivares estudadas sob uma condutividade elétrica de $12\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Estudos realizados por Yeo et al. (1991) levaram a

concluir que uma redução no crescimento inicial do arroz, causada pela salinização, é devida à limitação do suprimento de água, e que o principal efeito da salinidade foi levar a senescência prematura, encurtando severamente a vida fotossintética útil da folha sob 50 mM de NaCl.

Os efeitos da salinidade nas plantas refletem-se principalmente em seu crescimento. Levitt (1980) classificou esses efeitos em primários e secundários, incluindo nos primários, os efeitos tóxicos específicos dos sais, os danos na permeabilidade das membranas e os desequilíbrios metabólicos ao nível de fotossíntese, respiração, anabolismo e catabolismo de aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos, como também, desordem na atividade enzimática; nos secundários, incluiu os efeitos osmóticos e a deficiência de nutrientes induzida pela competição do Na⁺ e do Cl⁻ com os demais nutrientes minerais durante o processo de absorção desses nutrientes.

A salinidade pode reduzir a disponibilidade hídrica por causa de seu efeito sobre o potencial de água do solo e pode reduzir o uso total de água, tendo em vista que a área foliar, a transpiração e o crescimento são todos reduzidos por ela (RICHARDS, 1992).

O excesso de sais no solo afeta o crescimento e o desenvolvimento das plantas, resultando em desequilíbrio nutricional e acúmulo excessivo de Na⁺ nas diferentes partes da planta, sobretudo na parte aérea (TEIXEIRA et al., 1998). Águas com teores de NaCl igual ou superior a 0,25%, aplicadas à partir do início da fase reprodutiva, podem determinar redução superior a 50% na produtividade do arroz irrigado (SOSBAI, 2003).

Sultana et al. (1999) avaliaram os efeitos da salinidade no arroz na fase reprodutiva. Plantas de arroz foram irrigadas duas vezes por semana com água salina de 0; 25; 50; 100 e 200 mM NaCl. Os efeitos da salinidade nas cultivares de arroz estudadas causaram reduções na produção de grãos. Os autores concluíram que a produção de grãos foi menos afetada pela salinidade quando a água salina foi aplicada apenas quando as plantas se encontravam no estágio leitoso dos grãos, sugerindo que o arroz é uma planta hábil para escapar do estresse salino quando a duração da salinidade é curta.

Três cultivares de arroz foram avaliadas sob os níveis de salinidade de 0; 2; 4; 6 e 8 mS.cm⁻¹ na germinação, na floração, na diferenciação da panícula e na colheita (ASCH; WOPEREIS, 2001). O aumento da condutividade elétrica reduziu a taxa de germinação na cultivar mais sensível em mais de 50% e em 80% a produção, sob o nível mais alto de salinidade

Zeng et al. (2001) estudaram os efeitos da salinidade no crescimento e nos componentes de produção de plantas de arroz por um período de 20 dias de salinização, em diferentes estádios de crescimento. Os tratamentos constaram de três níveis de salinidade com condutividades elétricas de 1,8; 3,2 e 4,6 dSm⁻¹. As plantas foram salinizadas no dia do semeio, com uma folha, com três folhas e na iniciação da panícula. Os resultados indicaram que houve um diferencial de sensibilidade nos diferentes estádios de crescimento, entre outros parâmetros avaliados. Quanto à produção de grãos, a redução foi maior quando as plantas foram submetidas à salinidade entre os estágios de três folhas e iniciação da panícula. De acordo com Melo (1997), genótipos de arroz que apresentam sensibilidade à salinidade na fase de germinação, podem ser tolerantes na fase vegetativa.

2.3 Utilização de mutação induzida

Os raios X e gama têm sido bastante usados para induzir mutações. O fator chave na irradiação de materiais de plantas é a dose que é o equivalente da energia de radiação absorvida pelo material. A unidade de medida da dose de radiação é o gray (Gy). Um gray é igual à absorção de 1 J de energia por quilo de produto irradiado. As doses são divididas entre três grandes categorias: alta (>10kGy) média (1 a 10 kGy), e baixa (<1kGy). As doses altas são usadas na esterilização de produtos alimentícios, e as doses baixas para induzir mutações em sementes de cereais, tais como arroz, trigo, milho e feijão (IAEA, 1997). Segundo Hussim et al. (2001), a dose letal (DL₅₀) para o arroz é de 500 Gy.

O conceito de mutação foi sugerido e discutido por DE VRIES em 1901 e 1904. Müller (1927), trabalhando com a mosca *Drosophila*, foi o primeiro a demonstrar que radiações ionizantes podem induzir mutações. Segundo Gaul (1965), seguiram-se experiências, usando raios X e ou raios gama, em cevada (STADLER, 1928) e em fumo (GAGER; BLAKESLEE, 1927 e GODSPEED, 1929). Desde as observações iniciais de indução artificial, o melhoramento genético de plantas, utilizando a mutação induzida, foi amplamente pesquisado e utilizado com inúmeras cultivares de arroz desenvolvidas por esse método (ISHIY, 1991).

A primeira estratégia de melhoramento de plantas baseada na mutação foi a obtenção de variedades bem adaptadas pela alteração de um ou dois caracteres principais. Isto inclui características como altura de planta, maturação e resistência a doenças, as quais contribuem para o aumento de produção e qualidade dos caracteres, por exemplo, o teor e a consistência do óleo, a qualidade do malte e o tamanho e qualidade dos grãos. São outros exemplos os genótipos do arroz, trigo, amendoim e milho com porte baixo, que têm contribuído significativamente para o aumento da produção de grãos, devido a uma maior resistência ao acamamento de plantas (CHAKRABARTI, 1995). Muitas dessas variedades são derivadas da indução de mutações com radiação e produtos químicos. Vários mutantes de arroz induzidos com radiação gama foram relatados na Índia, como variedades altamente produtivas da linhagem “PNR”; algumas dessas foram também precoces e tinham pequena estatura (CHAKRABARTI, 1995). Um importante mutante, o “Zhefu 802”, foi cultivado em mais de 10,6 milhões de hectares na China, durante dez anos. Na Tailândia, uma variedade de arroz *indica*, “RD6”, obtida por meio da radiação gama, foi liberada em 1977 e mesmo depois de 17 anos de liberação, continuava sendo utilizada. Outro mutante, o “RD15”, lançado em 1978, foi plantado em 200 mil ha, equivalente a 3,2% de toda a área plantada com arroz na Tailândia (ANONYMOUS, 1995).

Ishiy; Ando (1988) conduziram trabalhos na área de melhoramento com arroz irrigado, utilizando mutação induzida para verificar a viabilidade e a eficiência do método na obtenção de genótipos com melhores características agrônômicas, tais como, alterações no ciclo, tamanho de grãos e rendimento. Os trabalhos iniciaram-se com seis genótipos de arroz submetidos à duas doses de radiação gama (120 e 240 Gy) e chegaram até a geração M₃. Os autores concluíram que a utilização da mutação induzida é viável e eficiente na obtenção de novos genótipos de arroz irrigado.

Segundo Ishyi (1991), existe uma considerável relação de agentes químicos e físicos que foram utilizados com sucesso na indução de mutação em arroz, aplicados isoladamente ou em combinação. Os principais mutagênicos químicos envolvidos foram o metano sulfato de etila (SEM), sulfato de dietila (dES) e etilenimina (EI). Os agentes físicos mais comuns foram os raios X, raios gama e neutrons rápidos. Dentre todos os mutagênicos, Maluszynski et al.(1986) informaram que, por várias razões, os raios gama foram a fonte mais freqüentemente utilizada na indução de mutação. Maluszynski et al. (1986) relataram que quase todas as

características de herança simples ou governadas por sistemas poligênicos podem ser modificadas através de mutação induzida, como demonstra uma série de mutantes que foi lançada como cultivares ou utilizada como fontes de variabilidade genética.

Hu (1984), trabalhando com melhoramento de arroz para obtenção de mutantes, produziu um tipo desejado sem modificação no fenótipo estabelecido e concluiu que a mutação induzida teve a vantagem de ser rápida e eficiente.

Estudos realizados por Teraishi et al. (1999) mostraram que a mutação que deu origem a panículas mais delgadas no arroz foi controlada por um único gene recessivo, o gen “slg”. A frequência de reversão de “slg” para seu estado do tipo selvagem foi pouco afetada pelo cruzamento, retrocruzamento ou fatores citoplasmáticos.

Nos Estados Unidos, a introdução do gene para o nanismo na cultivar de arroz “Calrose”, por meio da hibridação, produziu sérias dificuldades com relação à esterilidade das espiguetas e à recuperação das características de grão e tolerância ao frio (JENNINGS et al., 1981). Posteriormente, com o emprego da indução a mutação, foi obtida a cultivar “Calrose 76”, de porte baixo, resistente ao acamamento e conservando as boas características da cultivar original. No Japão, tem-se outro exemplo semelhante com a cultivar Fujiminori, que apresentava elevado potencial produtivo, resistência à bruzone e baixas temperaturas, mas era susceptível ao acamamento, por ter um porte elevado. Com o melhoramento da cultivar por meio da mutação induzida, selecionaram-se várias linhagens de porte baixo, uma das quais, semelhante sob todos os aspectos à planta original, exceto na altura, 15 cm inferior, foi lançada com o nome de “Reimei” (FUTSUHARA, 1967). Em Santa Catarina, pesquisas demonstraram resultados satisfatórios para a obtenção de novos genótipos de arroz utilizando-se indução a mutação (ISHIY e ANDO, 1988). Além desses, vários pesquisadores trabalharam com mutação induzida para a obtenção de plantas resistentes ao acamamento, de porte baixo (ESCURO et al., 1971; PADWAR, 1971; RAM, 1974; MISAL ; NERKAR, 1986).

Cruz (1976) utilizou como agentes mutagênicos o dMS (di-metil-sulfato) e o EMS (etil-metano-sulfonato), para estudar a variedade de arroz “Caloro”, concluindo que o comprimento das raízes e a altura das plântulas dessa variedade de arroz foram mais sensíveis do que a germinação das sementes. Também, diferentes tipos de mutantes quanto ao número de perfilhos, foram encontrados por Viado et al. (1970) e Gangadharan et al. (1976).

Variedades de ciclo precoce são muito importantes no arroz irrigado, por demandarem menores quantidades de água de irrigação, além de ampliarem as possibilidades do uso de área com maior número de cultivos. Uma análise das cultivares desenvolvidas por meio da mutação induzida revelou que, aproximadamente, 13% foram precoces e com alto potencial produtivo (MICKE et al. 1985). Essas características são algumas das metas mais procuradas no melhoramento genético. Vários outros autores também obtiveram mutantes produtivos e precoces (HAQ et al., 1970; MICHAELSEN et al., 1971; SHARMA et al., 1974; HAKIM et al., 1988; YAMASAKI; KAWAI, 1968; TANISAKA et al., 1990).

Os tratamentos de sementes e pólen são os mais comuns, mas podem ser irradiados outros materiais, como toda a planta, mudas, estolões, células, tecidos e órgãos. As sementes são os materiais preferidos em trabalhos de indução de mutação por meio de irradiações (BRIGGS; KONZAK, 1977; ISHIY, 1991). Nillan; Konzak, citados por Briggs; Konzak, (1977), informaram algumas vantagens do uso de irradiação nas sementes: elas podem ser irradiadas em muitos ambientes físicos que não seriam tolerados por outras partes da planta; podem ser secas, umedecidas, aquecidas ou resfriadas; são fáceis de manusear; e podem ser encaminhadas para longas distâncias. Segundo Ishiy (1991), o material mais utilizado em todo o mundo na indução de mutação foram as sementes.

Bazoni (1991) utilizou doses de 20 e 25 kR (200 e 250 Gy, respectivamente) provenientes de uma fonte de Cobalto 60, para irradiar sementes de arroz obtendo resultados satisfatórios quanto ao ciclo curto e estatura baixa.

Ganashan (1970) determinou a DL_{50} de 50 a 60 kR (500 a 600 Gy, respectivamente; raios gama) para as variedades de arroz estudadas. No entanto, Shome; Bhadrui (1980) verificaram que o valor da dose letal varia com a cultivar.

Em estudos anteriores, realizados por Yin (1986), anteras de arroz irradiadas com raios gama promoveram um aumento de indução de calos. Da variabilidade genética obtida, selecionou-se um diplóide espontâneo com porte baixo, de maturação precoce e alta produtividade. Kluo (1986) obteve uma maior variabilidade em progênies de cultura de anteras irradiadas do que sem irradiação, quando utilizou raios gama em anteras com pólen no estágio uninucleado.

HWANG; KO (1986) informaram que inúmeros autores sugerem o emprego da indução de mutação associada à cultura de tecido para auxiliar os programas de

melhoramentos. De acordo com HANDRO (1981), o emprego dessa técnica tomou impulso nos últimos anos devido ao grande sucesso na regeneração *in vitro* de várias espécies. Dentre as vantagens encontradas na adoção dessas técnicas, pode-se citar: manipulação de um grande número de explantes em um pequeno espaço (CONSTANTIN, 1984; MALIGA, 1984), maior controle e padronização das condições de cultivo, indução e identificação dos mutantes de forma mais fácil, o que permite agilizar o processo de seleção (CONSTANTIN, 1984).

Ishiy (1991) afirmou que a utilização de raios gama, nas doses de 12 e 24 krad (120 e 240 Gy, respectivamente), em arroz, mostrou-se eficiente em seus trabalhos, permitindo obter variantes quanto ao perfilhamento, ciclo, altura e produção de grãos. O autor sugeriu que os mutantes selecionados em seus trabalhos de pesquisa fossem submetidos a outras avaliações, entre elas, a tolerância à salinidade. Afirmou, também, que é possível o desenvolvimento de genótipos de arroz irrigado, com melhores características agronômicas que as cultivares originais, utilizando-se a indução a mutação.

Sete mutantes de arroz, relativamente tolerantes a elevados níveis de sal, foram selecionados de populações segregantes (M_2), sob condições de salinidade, para novos testes e de acordo com os resultados obtidos, o mutante RST-24 destacou-se dos demais em relação à produção de grãos, além de seu potencial produtivo superar a variedade parental (SIDDIQUE-SAJJAD, 1990).

Montalvan; Ando (1998) estudaram os efeitos da radiação gama nas doses de 100 e 200 Gy e da azida sódica na cultivar de arroz IAC-1246 e concluíram que os mutagênicos apresentaram elevada variabilidade sem mudar a média para os caracteres número de dias para a maturação e comprimento de colmo na geração M_2 .

Rodrigues; Ando (2003) investigaram a sensibilidade à radiação gama para discriminação de variedades de arroz-de-sequeiro dos grupos Índica e Japônica e concluíram que o método foi eficiente para discriminar as variedades de arroz dos grupos citados, nas dosagens de 300 e 360 Gy.

Em várias outras culturas, o emprego da mutação induzida tem auxiliado bastante nos programas de melhoramento de planta para a obtenção de variedades modernas, com novas e interessantes características, além de outras investigações.

Körösi; Krakkai (1983) estudaram o efeito da radiação gama no feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e observaram que a radiação provocou acúmulo de fósforo e uma diminuição de matéria seca nas plântulas de feijão.

Estudos preliminares foram realizados para a determinação dos níveis de radiação que permitissem mutações, mas que não causassem a morte das plantas da variedade de feijão IPA-8. As doses utilizadas, foram 0; 50; 100; 150; 200 e 250 Gy. Com isto chegou-se a conclusão que é recomendada a taxa de dose de 100 a 150 Gy para esta cultivar porque estas doses não provocaram efeitos negativos nos parâmetros desejados; além disso concluiu-se que são recomendados testes preliminares para se estabelecer a taxa de dose correta para cada cultivar (COLAÇO et al., 1995). Foram conduzidos outros trabalhos para testar a radiosensibilidade em espécies de cereais (CONGER et al., 1977 e TULMANN NETO; ANDO, 1971). A taxa de dose indicada para obter uma redução na altura das plantas de 50% no feijão foi entre 150 e 300 Gy. No entanto, observou-se que ocorreram mutações utilizadas no melhoramento desse cereal, com doses entre 80 a 150 Gy. Essas informações podem servir de referência, mas de acordo com Conger et al. (1977) e Gaul (1977), há diferenças na radiosensibilidade entre genótipos e espécies, por isso a importância de se fazer testes preliminares.

A indução à mutação por raios-gama foi utilizada na cultivar do trigo IAC-24 visando resistência a doenças. As doses empregadas foram de 250 e 350 Gy. Após três gerações, obtiveram duas linhagens resistentes a ferrugem-da-folha e com a mesma produção de grãos e altura de planta da cultivar IAC-24 (TULMANN NETO et al., 1995).

Canurgo et al. (2001), utilizando radiação gama de 275 Gy em trigo, obtiveram na geração F₄ linhagens mais tolerantes à toxicidade de alumínio.

Em estudos do efeito da radiação gama do ⁶⁰Co em gemas de bananeira Nanicão (*Musa* spp. Grupo AAA) micropropagadas, visando a indução de mutação e a seleção de mutantes tolerantes à salinidade, Alves (2000) obteve o Clone MN2 que apresentou maior capacidade de tolerância à salinidade, sob os níveis de 42,77; 85,55 e 128,34 mM de NaCl, impostos às gemas em experimentos em casa-de-vegetação.

Foram aplicados oito níveis de doses de radiação gama (0 a 800 Gy) em sementes de *Brachiaria decumbens*. Os resultados mostraram que esta cultura suporta doses elevadas de

radiação, porque houve uma redução de apenas 40% da sobrevivência com a dose mais alta (800 Gy) (HUSSIN et al., 2001).

Zambrano et al. (2003) obtiveram clones de cana-de-açúcar resistentes ao vírus do mosaico, utilizando mutação induzida pela radiação gama, na dose de 20 Gy.

A indução a mutação também foi utilizada por Yamaguchi et al. (2003) em duas variedades de rosas e os resultados obtidos confirmaram o emprego desta técnica para a criação de novas variedades com diferentes formatos de flores, cores e número de pétalas.

Além dos citados, outros autores realizaram pesquisas utilizando mutação induzida com resultados bastante satisfatórios, entre eles, Futsuhara et al. (1967), Escuro et al. (1971), Padwar (1971), Ree (1971), Ram (1974), Guimarães (1978); Micke et al. (1985), Misal; Nerkar (1986), Ishiy (1991), Domingues et al. (1994), Kido (1995), Tullman Neto et al. (1998), Bao et al. (2001) e Ahmad et al. (2003).

2.4 Considerações finais

Considerando os aspectos apresentados, são salientados três pontos principais: (1) O problema da salinidade dos solos; (2) a utilização de variedades de arroz para reaproveitamento de áreas salinizadas e (3) a utilização da radiação gama como eficiente instrumento para a obtenção de mutantes de arroz. A partir destes enfoques, pretende-se avaliar o comportamento de variedades de arroz sob vários níveis de salinidade dos solos após suas sementes receberem diferentes doses de radiação gama.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, R.; THARAPPAN, B.; BONGIRWAR, D.R. Impact of gamma irradiation on the monsooning of coffee beans. **Journal of Stored Products Research**, Mangalore, v. 39, n. 2, p. 149-157, 2003.

AKBAR, M.; KHUSH, G.S.; HILLERISLAMBERS, D. Genetics of salt tolerance in rice. In: AKBAR, M.; KHUSH, G.S.; HILLERISLAMBERS, D. **Rice Genetics**. Los Baños : International Rice Research Institute, 1986. p. 399-409.

AKBAR, M.; YABUNO, T. Breeding for saline-resistant varieties of rice. III. Response of F₁ hybrids to salinity in reciprocal crosses between Jhona 349 and Magnolia. **Japanese Journal of Breeding**, Tokyo, v. 25, p. 215-220, 1977.

ALLARD, R.W. **Princípios de melhoramento genético das plantas**. São Paulo: Edgard Blücher, 1971. 381 p.

ALVES, G.D. **Indução de mutação em gemas micropropagadas de bananeira “Nanicão” (*Musa spp.*, Grupo AAA) e seleção de mutantes tolerantes à salinidade**. 2000. 105 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2000.

ANONYMOUS. **Bureau of economic and agricultural statistics**, Bangkok: [s.n.], 1995.

ASCH, F.; WOPEREIS, M.C.S. Responses of field-grown irrigated rice cultivars to varying levels of floodwater salinity in a semi-arid environment. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 70, p. 127-137, Apr. 2001.

BAO, J.S.; SHU, Q.Y.; XIA, Y.W.; BERGMAN, C.; McCLUNG, A. Effects of gamma irradiation on aspects of milled rice (*Oryza sativa* L.) end-use quality. **Journal of Food Quality**, Westport, n. 24, p. 327-336, 2001.

BARROS, L.C.G.; SANTOS, A.L.C. Formoso, nova cultivar de arroz irrigado para o Baixo São Francisco. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., 2002, Florianópolis. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 225-227. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos 134).

BAZONI, R. **Emprego de mutação induzida na produção de linhagens de arroz de sequeiro (*Oryza sativa* L.) de ciclo curto e estatura baixa.** 1991. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Goiania, 1991.

BHIVARE, V.N.; CHAVAN, P.D. Effect of salinity on translocation of assimilates in french bean. **Plant and Soil**, The Hague, v. 102, p. 295-297, 1987.

BLACK, C.A. **Relaciones suelo-planta.** Buenos Aires: Hemisferiosur, 1975. v. 1.

BOHRA, J.S.; DOERFFLING, K. Potassium nutrition of rice (*Oryza sativa* L.) varieties under NaCl salinity. **Plant and Soil**, The Hague, v. 152, p. 299-303. 1993.

BRIGGS, R.W.; KONZAK, C.F. Objects and methods of treatment. In: BRIGGS, R. W.; KONZAK, C. F. **Manual on mutation breeding.** 2^a ed. Vienna: FAO/IAEA, 1977. p. 213-220. (FAO/IAEA. Technical Report Series, 119).

BUOL, S.W.; ESWARN, H. Assessment and conquest of poor soils. In: A WORKSHOP ON ADAPTATION OF PLANTS TO SOIL STRESS, 1993, Nebraska. **Proceedings...** Lincoln: University of Nebraska, 1993. p. 17-27.

CAMPOS, I.S.; ASSUNÇÃO, M.V. Estresse salino e hídrico na germinação e vigor de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n.6, p. 857-862, jun. 1990.

CANURGO, C.E.O.; TULMANN NETO, A.; FERREIRA FILHO, A.W.P; FREITAS, J.G.; PETTINELLI JUNIOR, A.; CASTRO, J.L. Avaliação de genótipos de trigo oriundos de

cruzamento interespecífico e radiação gama no Estado de São Paulo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 52, n. 1, jan. 2001.

CHAKRABARTI, S.N. Mutation breeding in India with particular reference to PNR rice varieties. **Journal Nuclear Agricola Biological**, New Delhi, v. 24. p. 73-82. 1995.

CODEVASF. **Semi-árido**. 2001. Disponível em: <http://www.codevasf.gov.br/semi-árido/semi_arido.htm>. Acesso em: 02 jul. 2001.

COLAÇO, W.; BURITY, H.A.; FIGUEIREDO, M.V.B.; MARTINEZ, C.R. Gamma radiosensitivity of a common bean cultivar. In: ENCONTRO DE APLICAÇÕES NUCLEARES, 3., 1995, Águas de Lindóia. **Anais**. Belo Horizonte: Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear/CNEN, 1995. p. 65-70.

CONGER, B.V.; KONZAK, C.F.; NILAN, R.A.. Radiation sensitivity and modifying factors. In: IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - **Manual on mutation breeding**. Vienna, 1977. p.40-50. (IAEA.Technical Reports Series, 119).

CONSTANTIN, M.J. Potential of *in vitro* mutation breeding for the improvement of vegetatively propagated crop plants. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. 1984, Vienna. **Induced mutations for crop improvement in Latin America**. Vienna: IAEA, 1984. p. 59-77. (IAEA. TEC/DOCUMENTOS, 305).

CORDEIRO, G. **Salinidade em áreas irrigadas**. In: Embrapa Semi-Árido, 2001. Disponível em: <<http://www.cpatna.embrapa.br/artigos/salinidade.html>>. Acesso em: 02 jul. 2001.

CORDEIRO, G.G. **Aspectos gerais sobre salinidade em áreas irrigadas: origem, diagnóstico e recuperação**. Petrolina: EMBRAPA.-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido, 1988. 16 p. (EMBRAPA-CPATSA. Documentos, 50).

CRUZ, A.R.N. **Danos fisiológicos e taxa de mutação provocados por diferentes mutagênicos alquilantes em arroz (*Oryza sativa* L.)**, 1976. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1976.

DAKER, A. **A água na agricultura: manual de hidráulica agrícola**. 5.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos. 1976. 453 p.

DOMINGUES, E.T.; TULMANN NETO, A.; MENDES, B.M.J.; ANDO, A. Efeitos de doses de raios gama em ápices caulinares de bananeira (*Musa* sp.) Desenvolvidos *in vitro* para indução de mutação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 7, p. 1091-1098. jul. 1994.

EMBRAPA. **Sistemas de cultivo**. Disponível em: <http://www.cnpaf.embrapa.br/pesquisa/arroz.htm> >. Acesso em 25 mar. 2004.

ESCURO, P.B., GUEVARRA, A.B., TEPORA, J.N. Induction of mutations in rice. In: RICE BREEDING WITH INDUCED MUTATIONS, 3., 1969, New Delhi. **Proceedings...** Vienna: International Atomic Energy Agency, 1971. p. 5-17.

FAGERIA, N.K. Tolerance of rice cultivars to salinity. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n.2, p.281-288, fev. 1991.

FAO PRODUCTION YEARBOOK. Roma: FAO, v.44, n.99, p.283, 1991.

FERNANDES, A.R.; CARVALHO, J.G.; MELO, P.C.; MIRANDA, J.R.P. Efeito de diferentes fontes de sais sódicos sobre a eficiência de utilização, translocação e absorção de K, Ca, Mg e Na em mudas de moringa (*Moringa oleifera*). In: REUNIÃO DE MANEJO DE CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFC, 1998. p. 10-11.

FERNANDEZ J.G.; GUTIERREZ, A.M.; PALENZUELA, A.Z. Aplicación de mejoradores químicos en suelos salinos. **Agroquímica y Alimentaria**, Barcelona, v. 30, p. 17-20, 1984.

FUTSUHARA, Y.; TORIYAMA, K.; TSUNODA, K. Breeding of a new rice variety "Reimei" by gamma-ray irradiation. **Japanese Journal of Breeding**. Tokyo, v.17, n. 2, p. 85-90, 1967.

GAGER, C.; BLAKESLEE. A.F. Chromosome and gene mutations In: DATURA FOLLOWING EXPOSURE TO RADIUM RAYS, 13., 1927, Washington. **Proceedings...** Washington, 1927. p. 75-79.

GANASHAN, P. Induced mutation studies with *Brachiaria brizantha* Stapf and some indica rice varieties from Ceilon. In: RICE BREEDING WITH INDUCED MUTATIONS, 2., 1968, Vienna. **Proceedings...** Vienna: International Atomic Energy Agency, 1970. p. 7-12.

GANGADHARAN, C.; MISRA, R.N.; GHOSH, A.K. Improvement of scented rice varieties (Basmati 370) through induced mutations. **Current Science**, Bangalore, v. 45, n. 16, p. 597-598, 1976.

GAUL, H. Induced mutations in plant breeding. **Plant Breeding**, Reviews, New York, p. 689-709, 1965.

GAUL, H. Mutagen effects in the first generation after seed treatment. In: IAEA. – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Manual on mutation breeding**. Vienna, 1977. p. 87-98 (IAEA - Technical Reports Series, 119).

GHEYI, H.R.; BARRETO, A.N.; GARRI, A.C.R.C.; ALMEIDA, A.M. Seleção de cultivares de arroz irrigado para solos salinossódicos. (II Ensaios de campo). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 11/12, p. 1195-1199, nov./dez. 1987.

GILMOUR, J.T.; FERGUSON, J.A.; WELLS, B.R. Salt removed in winter runoff from rice fields. **Arkansas From Research**, Fayetteville, v. 25, n. 4, p. 16, 1976.

GLOSSARY of soil science terms. Madison: Soil Science Society of America, 1975. 34 p.

GODSPEED, T.H. The effects of X-Rays and radium on species of the Genus *Nicotiana*. **Journal of Heredity**, Washington, n. 20, p. 243-259, 1929.

GOMES, E.M.; GHEYI, H.R.; SILVA, E.F.F. Melhorias nas propriedades químicas de um solo salino-sódico e rendimento de arroz, sob diferentes tratamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande. v. 4, n. 3, p. 355-361. 2000.

GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.31, p.149-190, 1980.

GREGORIO, G.B.; SENADHIRA, D. Genetic analysis of salinity tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). **Theoretical and Applied Genetics**, New York. v. 86, p. 333-338. 1993.

GUIMARÃES, E.P. **Estudos da sensibilidade de sementes de arroz (*Oryza sativa* L.) a radiação gama, nêutrons, sulfato de dietila, (DES) e azida sódica (AS)**. 1978. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1978.

HAKIM, L.; AZAM, M.A.; MIAH, A.J. Promising rice mutants. **Journal Nuclear Agricola Biological**, New Delhi, p.125-127. 1988.

HANDRO, W. Mutagenesis and *in vitro* selection. In: THORPE, T.A., ed. **Plant tissue culture: methods and applications in agriculture**. New York: Academic Press, 1981. p. 155-180.

HAQ, M.S.; ALI, S.M.; MANIRUZZAMAN, A.F.M. Breeding for earliness, high yield and disease resistance in rice by means of induced mutations. In: RICE BREEDING WITH

INDUCED MUTATIONS, 2., 1968, Oiso. **Proceedings...** Vienna: International Atomic Energy Agency, 1970. p. 77-83.

HOLANDA, J.S. **Manejo de solo salino-sódico na região do Baixo Açu – RN.** 1996. 85 f. Tese (Doutorado) - ESALQ-USP, São Paulo, 1996.

HU, C.H. Effectiveness of breeding short-stature rice cultivars by mutation induction vs. hybridization. In: SEMI-DWARF CEREAL MUTANTS AND THEIR USE IN CROSS-BREEDING, 2., 1984, Vienna. **Proceedings...** Vienna: International Atomic Energy Agency, 1984. p. 261-262.

HURKMAN, W. J. Effect of salt stress on plant gene expression: a review. **Plant and Soil**, the Hague, v.146, n.1-2, p.145-151, 1992.

HUSSIN, G.; HARUN, A.R.; SHAMSUDIN, S. **Study on mutagenesis of Signal grass (*Brachiaria decumbens*) by gamma irradiation.** Institut Haiwan Kluang; Malaysian Institute for Nuclear Technology Research (MINT). Disponível em: <http://agrolink.moa.my/jph/ihk/report1999_2000/penyelidikan/research/ghazali1.htm>. Acesso em: 24 de ago. 2001.

HWANG, S.C.; KO, W.H. Somaclonal variation of bananas and screening for resistance to Fusarium wilt. In: PRESLEY, G. J.; De LANGHE, E.A. **Banana and plantain breeding strategies.** Canberra: Centre for International Agricultural Research, 1986. p. 151-155.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2004. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric>>. Acesso em: 23 dez. 2004.

IDCR – International Development Research Centre. **Soil salinity in Sri Lanka: too much salt in the rice bowl.** 2001. Disponível em: http://www.idrc.ca/reports/pm_report.cfm?article_num=799. Acesso em: 26 dez. 2004.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Research co-ordination meeting on *in vitro* techniques for selection of radiation induced mutants adapted to adverse environmental conditions.** 2. ed. Vienna: IAEA/ FAO, 1997.

ISHIY, T. **Desenvolvimento de genótipos mutantes de arroz (*Oryza sativa* L.) através de irradiação Gama.** 1991. 67 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas do Campus de Botucatu – UNESP, Botucatu, 1991.

ISHIY, T.; ANDO, A. Melhoramento de arroz irrigado, através da mutação induzida. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 17., 1988, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa/CNPAF, 1988. p. 29-34.

JACOB JUNIOR; SCHUCH, L.O.B.; ROSENTHAL, M.D.A.; HÖILBIG, L.S.; LEITZKE, L.N.; CHRIST, R.S. Resposta da germinação e vigor de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L) submetidos a diferentes concentrações de salinidade. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., 2002, Florianópolis. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 293-294. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos 134).

JENNINGS, P.R.; BERRIO, L.E.; TORRES, E.; CORREDOR, E. Una estrategia de mejoramiento para incrementar el potencial de rendimiento en arroz. **FORO ARROCERO LATINOAMERICANO**, v. 8, n. 2, 2002. Disponível em: <<http://www.flar.org/foronov2002.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2003.

JENNINGS, P.R.; COFFMAN, W.R., KAUFFAMAN, H.E. **Mejoramiento de arroz.** Cali: CIAT, 1981. 233 p.

KHAN, A.A.; AKBAR, M.; SESHU, D.V. Ethylene as an indicator of salt tolerance in rice. **Crop Science**, Madison, v. 27, p. 1242-1247, 1987.

KIDO, L.M.H. Seleção “ *in vitro*” de mutantes de banana Maçã tolerantes à toxina de *Fusarium oxysporum f. sp. cubense* (Smith) SN et H. 1995. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1995.

KLUO, D. Induction of useful mutations by gamma irradiation of anther cultures of rice. **Mutation Breeding Newsletter**, Vienna, v. 27, n. 6, 1986.

KOROSI, F.; KRAKKAI, I. Effect of gamma irradiation of *Phaseolus vulgaris* L. seeds on $^{32}\text{PO}_4^{3-}$ uptake of seedlings and its translocation pattern. **Environmental and Experimental Botany**, New York, v. 23, n. 2, p. 149-153, May 1983.

LEVITT, J. **Reponse of plants to environmental stress**. New York: Academic Press, 1980. 91 p.

LIMA, C.O.; BARBOSA, M.P.; LIMA, V.L.A.; SILVA, M.J. Uso de imagens TM/Landsat-5 e termometria na identificação e mapeamento de solos afetados por sais na região de Sousa, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 361-363, 2001.

LIRA, M.A.; FARIS, M.A.; MAFRA, R.C. **Soil fertility and fertilizer use research intercropping system in northeast of Brazil**. Recife: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, 1982. 19 p.

MACÊDO, L.S. **Salinidade em áreas irrigadas**. In: Embrapa/Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (Petrolina, PE.). Petrolina, 1988. p. 1-16 (EMBRAPA-CPATSA. Documentos, 50).

MACÊDO, L.S.; SANTOS, J.B. Efeito da aplicação de água salina sobre os solos irrigados na bacia Sucuru/Sumé, PB. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 6, p. 915-922, jun. 1992.

MALIGA, P. Cell culture procedures for mutant selection and characterization in *Nicotiana plumbaginifolia*. In: VASIL, I. K., ed. **Cell culture and somatic cell genetics of plants**. Orlando: Academic Press, 1984. p. 552-562.

MALUSZYNSKI, M.; MICKE, A.; DONINI, B. Genes for semi-dwarf in rice induced by mutagenesis. In: INTERNATIONAL RICE GENETICS SYMPOSIUM, 1986, Manila. **Proceedings...** Manila: International Rice Research Institute, 1986, p. 729-737.

MARASSI, J.E.; COLLADO, M.; BENAVIDEZ, R.; ARTURI, M.J. Performance of selected rice genotypes in alkaline, saline, and normal soils and their interaction with climate factors. **International Rice Research Newsletter**, Manila, v. 14, n. 6, p. 10-11, Dec.1989.

MELO, P.C.S. **Seleção de genótipos de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado tolerantes à salinidade**. 1997. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1997.

MELO, P.C.S.; ANUNCIÇÃO FILHO, C.J.; UCHÔA, B.F.; TABOSA, J.N.; SANTOS, E.B. Avaliação preliminar de genótipos de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado tolerantes à salinidade. In: ENCONTRO DE GENÉTICA DO NORDESTE, 11., 1995, Natal. **Resumos...** Natal: UFRN - Centro de Biociências, 1995. p. 53.

MICKE, A., MALUSZYNSKI, M.; DINI, B. Plant cultivars derived from mutation induction or the use of induced mutants in cross breeding. **Mutation Breeding Newsletter**, Vienna, n. 3, p. 1-92, 1985.

MIKAELSEN, K.; SAJA, Z.; SIMON, J. An early maturing mutant. In: RICE BREEDING WITH INDUCED MUTATIONS, 3., 1969, Vienna. **Proceedings...** Vienna: International Atomic Energy Agency, 1971. p. 91-96.

MISAL, M.B.; NERKAR, Y.S. "Prabhavati" an iron chlorosis tolerant semi-dwarf variety of rice developed through mutagenesis. **Mutation Breeding Newsletter**, Vienna, n. 28, p. 1-2, 1986.

MISHRA, B.; AKBAR, M.; SESHU, D.V.; SENADHIRA, D. Genetics of salinity tolerance and ionic uptake in rice. **International Rice Research Notes**, Manila, v. 21, n. 1, p. 38, Apr. 1986.

MOELJOPAWIRO, S.; IKEHASHI, H. Inheritance of salt tolerance in rice. **Euphytica**, Dordrecht, v. 30, p. 291-300, 1981.

MONTALVAN, R.; ANDO, A. Effect of gamma-radiation and sodium azide on quantitative characters in rice (*Oryza sativa* L.), **Genetics Molecular Biology**, São Paulo, v. 21, n. 1, Mar. 1998.

MÜLLER, H.J. Artificial transmutation of the gene. **Science**, Washington, n. 66, p. 84-87, 1927.

NEUE, H.U.; QUIJANO, C.; SENADHIRA, D.; SETTER, T. Strategies for dealing with micronutrient disorders and salinity in lowland rice systems. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 56, n. 1-2, p. 139-155, Mar. 1998.

NILLAN, R.A.; KONZAK, C.F. Increasing the efficiency of mutation induction, 1961.

OLIVEIRA, F.A. **Efeito da salinidade da água de irrigação sobre algumas características do solo e da cultura do arroz**. 1983. 139 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 1983.

PADWAR, M.S. Present status of rice breeding by induced mutations in Guyana, S. America. In: RICE BREEDING WITH INDUCED MUTATIONS, 3., 1969, New Delhi. **Proceedings...** Vienna: International Atomic Energy Agency, 1971, p.117-129.

PEREIRA, S.V.; MARTINEZ, C.R.; PORTO, E.R. Microbial activity in a semiarid soil cultivated with *Atriplex nummularia*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 8, p. 757-762, ago. 2004.

PONNAMPERUMA, F.N. **Screening rice for tolerance to mineral stress**. Manila: The International Rice Research Institute, 1977. 21 p. (IRRI Research Paper Series, 6).

PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO, M. La salinidad como condicionamiento del comportamiento de los cultivos. In: JORNADA SOBRE SALINIDAD EN LOS SUELOS: ASPECTOS DE SU INCIDÊNCIA EN REGADIOS DE HUESCA, 1987, Huesca. **Jornada sobre salinidad en los suelos: aspectos de su incidência en regadios de Huesca**: Sociedade Cooperativa Agropecuaria Provincial del Huesca, 1987, p. 51-74.

RAM, M. Genetic improvement of NP9 rice with induced mutations. **Indian Journal Agricola Science**, New Delhi, v. 44, n. 5, p. 278-286, 1974.

REE, J. H. Induced mutations for rice improvement in Korea. In: RICE BREEDINGS WITH INDUCED MUTATIONS, 3., 1969, New Delhi. **Proceedings ...** Vienna: International Atomic Energy Agency, 1971. p.131-147.

RICHARDS, L.A. La calidad del agua para riego. In: RICHARDS, L.A. **Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos**. México: Editorial Limusa, 1974. p. 75-88.

RICHARDS, L.A. Origen y naturaleza de suelos salinos y sódicos. In: RICHARDS, L.A. **Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos**. México: Editorial Limusa, 1974. p. 1-6.

RICHARDS, L.A. Respuesta de las plantas y selección de cultivos para suelo salinos y sódicos. In: RICHARDS, L. A.. **Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos**. México: Editorial Limusa, 1974. p. 59-73.

RICHARDS, R.A. Increasing salinity tolerance of grain crops: is it worthwhile? **Plant and Soil**, The Hague, v. 146, p. 89-98, 1992.

RODRIGUES, L.R.F.; ANDO, A. Uso da sensibilidade à radiação gama na discriminação de variedades de arroz-de-sequeiro dos grupos Indica e Japônica. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 2, p. 179-188, 2003.

RUTGER, J.N. Applications of induced and spontaneous mutation in rice breeding and genetics. **Advance in Agronomy**, New York, v. 36, p. 383-413, 1983.

SALIM, M.; SAXENA, R.C.; AKBAR, M. Salinity stress and varietal resistance in rice: effects on whitebacked planthopper. **Crop Science**, Madison, v. 30, p. 654-659, May/June, 1990.

SCHWARZ, M.; GALE, J. Maintenance respiration and carbon balance of plants at low levels of sodium chloride salinity. **Journal of Experimental Botany**, Oxyford, v.32, p.933-941, 1981.

SHARMA, D.; LAL, G.S.; TAWAR, M.L. EMS induced variation for heading date and the performance of early flowering mutants in rice. **Indian Journal Genetics**, New Delhi, v. 34, n. 2, p. 216-220, 1974.

SHOME, A.; BHADRUI, P.N. Radiosensitivity of the excised rice embryo. **Cytologia**, Tokyo, v. 45, p. 705-713, 1980.

SIDDIQUE-SAJJAD, M. Induction of salt tolerance in Basmati rice (*Oriza sativa* L.) **Pertanika**, v. 13, n. 3, p. 315-320, 1990.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. (Itajaí, SC). **Arroz irrigado; recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Itajaí, 2003.

SOUTO, J.S.; SILVA, A.A.; SANTOS, R.V.; ARIEL, E.F. Efeito do estresse salino no processo germinativo da moringa. In: REUNIÃO DE MANEJO DE CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFC. 1998. p. 40,

STADLER, L.J. Mutations in barley induced by X-rays and radium. **Science**, Washington, n. 186-187, 1928.

STROGNOV, B.P. **Physiological basis of salt tolerance of plants**. Jerusalém: Israel Program Science Translater. 1962.

STUM, C.E.P.; TAKAKI, M.; PEREIRA, M.G. Influência da salinidade em culturas de feijão, milho e milho. In: REUNIÃO DE MANEJO DE CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFC, 1998. p. 40.

SULTANA, N.; IKEDA, T.; ITOH, R. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. **Environmental and Experimental Botany**, Beltsville, v. 42, n. 3, p. 211-220, Dec. 1999.

TANISAKA, T.; MOROE, Y.; YAMAGATA, H. Agronomic characteristics of induced heading-time mutants in rice. **Mutation Breeding Newsletter**, Vienna, n. 35, p. 17, 1990.

TEIXEIRA, I.R.; MOTA, J.H.; MARINHO, J.T.S.; CARVALHO, J.G.; ANDRADE, M. J.B. Efeitos da salinidade sobre a produção de matéria seca na cultivar de feijão “Pérola”. In: REUNIÃO DE MANEJO DE CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFC, 1998. p. 193-194.

TERAISHI, M.; OKUMOTO, Y.; HIROCHIKA, H.; HORIBATA, A.; YAMAGATA, H.; TAMISAKA, T. Identification of a mutable *slender glume* gene in rice (*Oryza sativa* L.). **Molecular and General Genetics**, Kyoto, Japan, v. 261, n. 3, p. 487-494, 1999.

TULMANN NETO, A.; ANDO, A. Experimento preliminar para determinar a radiosensibilidade do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Relatório Científico do Departamento e Instituto de Genética da ESALQ**, Piracicaba, v. 5, p. 182-4, 1971.

TULMANN NETO, A.; BORGONOV, R.A.; ANDO, A.; MENTEN, J.O.M. Sensibilidade a raios gama de linhagens e híbridos simples de sorgo (*Sorghum bicolor*). **Energia Nuclear Agrícola**, Piracicaba, v. 7, n. 1/2, p. 75-88, 1986.

TULMANN NETO, A.; CAMARGO, C.E.O.; ALVES, M.C.; SANTOS, R.R.; FREITAS, J.G. Indução a doenças na cultivar de trigo IAC-24. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 4, p. 497-504, abr. 1995.

TULMANN NETO, A.; MENDES, B.M.J.; ANDO, A. Progressos na indução e uso de mutações *in vitro*. In: TORRES, A.C.; CALDAS, L.S.; BUSO, J.A. **Cultura de tecidos e transformação genética de plantas**. Brasília: EMBRAPA, 1998. v. 1, p. 459-506.

VAN CANEGHEN, L.; LHOEST, J.A. Especific protein is induced in rice cells submitted to NaCl. **Acta Botanica Neelandica**. Amsterdam, v. 36, n. 2, p. 218, 1987.

VIADO, G.B.; SANTOS, J.S.; CADA, E. Induction and utilization of mutations in rice. In: RICE BREEDING WITH INDUCED MUTATIONS, 2., 1968, Vienna. **Proceedings...** Vienna: International Atomic Energy Agency, 1970. p. 85-103.

WILLADINO, L.; CÂMARA, T. J. R.; ANDRADE, A. G.; TABOSA, J. N. Germinação de sementes de milho em diferentes solos salinos. **Revista Nordestina de Biologia**, v.8, n.2, p.113-117, 1995.

WILLADINO, L.; CAMARA, T. Origen y naturaleza de los ambientes salinos. In: ROGER, M. J. R.; BONJOCH, N. P.; MOREIRAS, A. S. **La ecofisiología vegetal**; una ciencia e síntesis. Madrid: Internacional Thomson Editores Spain, 2004. cap. 10, p. 303-330.

YAMAGUCHI, H.; NAGATOMI, S.; MORISHITA, T.; DEGI, K.; TANAKA, A.; SHICAZONO, N.; HASE, Y. Mutation induced with ion beam irradiation in rose. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms**, v. 206, p. 561-564, May 2003.

YAMASAKI, Y.; KAWAI, T. Artificial induction of blast-resistant mutations in rice. In: RICE BREEDING WITH INDUCED MUTATIONS, 3., 1967, Taipei. **Proceedings...** Vienna: International Atomic Energy Agency, 1968. p. 65-73.

YEO, A.R. Salinity resistance: physiology and prices. **Plant Physiology**, Rockville, v. 58, p. 212-222, 1983.

YEO, A.R.; LEE, K.S.; IZARD, P.; BOURSIER, P. J.; FLOWERS, T.J. Short-and-long-term effects of salinity on leaf growth in rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 42, n. 240, p. 881-889, July 1991.

YIN, D. R462 – A new rice strain obtained from irradiated anther *in vitro* culture. **Mutation Breeding Newsletter**, Vienna, v. 27, p. 5, 1986.

YOKOYAMA, L. P. O arroz no Brasil no período de 1985/86 a 1999/00: aspectos conjunturais. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., 2002, Florianópolis. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 96-99. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos 134).

ZAMBRANO, A.Y.; DEMEY, J.R.; FUCHS, M.; GONZÁLEZ, V.; REA, R.; SOUSA, O. de.; GUTIÉRREZ, Z. Selection of sugarcane plants resistant to SCMV. **Plant Science**, Limerick, v. 165, n. 1, p. 221-225, July 2003.

ZENG, L.; SHANNON, M.C. Effects of salinity on grain and yield components of rice at different seeding densities. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, p. 418-423, 2000.

ZENG, L.; SHANNON, M.C.; LESCH, S. M. Timing of salinity stress affects rice growth and yield components. **Agricultural Water Management**, California, v. 48, n. 3, p. 191-206, jun. 2001.

ZHU, G.Y.; KINET, J. M.; BERTIN, P.; BOUHARMONT, J.; LUTTS, S. Crosses between cultivars and tissue culture-selected plants for salt resistance improvement in rice, *Oryza sativa*. **Plant Breeding**, Berlin, v. 119, p. 497-504, 2000.

4 - ARTIGOS

**4.1 - SENSIBILIDADE DE VARIEDADES DE ARROZ (*ORYZA SATIVA* L.) À
RADIAÇÃO GAMA E À SALINIDADE: UM ESTUDO PRELIMINAR NO ESTÁDIO
DE GERMINAÇÃO**

Sensibilidade de variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) à radiação gama e à salinidade: um estudo preliminar no estágio de germinação

Palmira Cabral Sales de Melo¹

Waldeciro Colaço²

Clodoaldo José da Anunciação Filho³

Venézio Felipe dos Santos¹

¹ Av. General San Martin, 1371 – Bongi – Recife – PE (palmira@ipa.br)

² Av. Professor Luiz Freire, 1000 – Cidade Universitária – Recife – PE. CEP.: 50.740-540 (wcolaco@ufpe.br)

³ Rua D. Manuel de Medeiros, s/n – Dois Irmãos – CEP: 52.171-900 - Recife – PE (cjose@ufrpe.br) Telefone: (081) 3302-1245

Resumo

Os efeitos da radiação gama do ⁶⁰Co na germinação de genótipos de arroz sob diferentes níveis de estresse salino (NaCl), foram determinados em um experimento fatorial 5 (variedades) x 6 (doses de radiação) x 3 (potenciais osmóticos), em blocos inteiramente casualizados, com 3 repetições. A germinação foi avaliada aos 5 e 14 dias após semeio. O nível de salinidade de -1,8 MPa impediu a germinação das sementes até os 14 dias e o de -1,2 MPa teve efeito diferencial entre as variedades. A Metica, evidenciou 88,7% de germinação e a São Francisco 78,0%, superaram as demais que atingiram germinação entre 48,7 e 46,4%. As doses de radiação empregadas (120-360 Gy) não interferiram na germinação das sementes de arroz em nenhuma das variedades estudadas.

Termos para indexação: *Oryza sativa*; potencial osmótico; NaCl.

Sensibility of rice (*Oryza sativa* L.) varieties to gama radiation and salinity: a preliminary study at the germination stage

SUMMARY

The radiation effects of ^{60}Co in the germination of rice genotypes under different levels of salinity (NaCl), were determined in a factorial experiment in a randomized complete block with 5 (varieties) x 6 (doses of radiation) x 3 (osmotic potentials), with three repetitions. The germination was evaluated at 5 and 14 days after sowing. The salinity level $-1,8$ MPa impeded the germination until 14 days and the -1.2 MPa had differing effects on these varieties. The Metica evidenced 88.7% germination and the São Francisco 78.0%, were superior to the others, whose germination varied between 48.7 and 46.4%. The seed germination was not affected by any of the irradiation doses adopted (120 - 360 Gy).

Index terms: *Oryza sativa*, osmotic potential, NaCl.

Introdução

A principal fonte de calorias e proteínas de mais da metade da população mundial é o arroz, por isso é considerado o alimento básico mais importante do mundo. Cerca de 10% das terras cultivadas do planeta são cultivadas com esse cereal. Em 2001, a produção mundial do arroz em casca alcançou mais de 500 milhões de toneladas (JENNINGS et al., 2002). O Brasil contribuiu, com 1,5% da produção mundial e com 55% da produção da América do Sul (FAO, 1991). A produção nacional de arroz em casca ultrapassou os 10 milhões de toneladas em 2003 (IBGE, 2004).

O arroz irrigado na região Nordeste desempenha papel de fundamental importância do ponto de vista sócio-econômico. Por ser cultivado nas regiões ribeirinhas do São Francisco, independe das instabilidades climáticas, principalmente das estiagens comuns na região. Com isto, o cultivo do arroz serve de elemento fixador do nordestino a terra, evitando o êxodo rural. Além disso, é plantado por um grande número de famílias de pequenos produtores, como cultura de subsistência, praticamente em todos os estados do Brasil. Sua grande importância social é a satisfação da necessidade alimentar de populações rurais (YOKOYAMA, 2002).

Estudando os efeitos da salinidade na produção e nos componentes da produção do arroz, Zeng; Shannon (2000) concluíram que é aconselhável fazer o melhoramento genético do arroz para a obtenção de materiais tolerantes à salinidade, considerando os custos e a aplicabilidade nas condições de campo.

O melhoramento genético para se obter materiais tolerantes à salinidade pode ser feito utilizando-se a mutação induzida, porque, de acordo com Allard (1971) e Rutger (1983), a indução de mutação mostra-se particularmente útil em situações onde há necessidade de alterações tanto em poucas características de herança simples como em sistemas genéticos altamente desenvolvidos. Maluszynski et al. (1986) relataram que quase todas as características de herança simples ou governadas por sistemas poligênicos podem ser modificadas através de mutação induzida, como demonstra uma série de mutantes que foram lançados como cultivares ou utilizados como fontes de variabilidade genética.

O presente trabalho tem como objetivo estudar os efeitos da radiação gama do ^{60}Co na germinação de genótipos de arroz sob diferentes estresses salinos. Estes genótipos podem posteriormente ser indicados para a região do Submédio São Francisco, PE, onde se concentra

a maior produção do estado. Provavelmente, nesta Região, há problemas de salinização dos solos, especialmente no perímetro irrigado, e o registro de variedades tolerantes a salinidade é inexistente.

Material e Métodos

Um experimento fatorial em blocos inteiramente casualizados, com 3 repetições, foi instalado no Laboratório de Microbiologia do Solo do DEN/UFPE, combinando cinco variedades de arroz irrigado (Metica, Diamante, São Francisco, Jequitibá e Rio Formoso), seis doses de radiação gama (0, 120, 180, 240, 300 e 360 Gy) e três potenciais osmóticos (0, -1,2 e -1,8 MPa). As variedades de arroz irrigado foram provenientes do Centro Nacional de Pesquisa do Arroz e Feijão da Embrapa, em Goiânia, GO. Grupos de sementes secas, viáveis (25 sementes), das cinco variedades estudadas foram expostas à radiação gama de uma fonte de ^{60}Co (Cobalt Irradiator, Radionics Laboratory, Scotch Plains, N. Jersey, USA), com taxa de dose de 20 Gy.hora^{-1} , nas doses informadas. O percentual de umidade das sementes utilizadas era de 13%. As sementes foram postas em sacos de papel (25 sementes por saco) e levadas para a fonte de ^{60}Co , onde permaneceram pelo tempo necessário para atingir a dose de radiação estabelecida nos tratamentos. As amostras das sementes irradiadas e não irradiadas foram postas para germinar sobre papel de filtro embebido com 10 mL de uma solução salina ou água deionizada, em caixas “germbox” (25 sementes por caixa), conforme o tratamento indicado. A solução salina empregada foi preparada conforme Salisbury; Ross (1978). A germinação foi avaliada aos 5 e 14 dias após semeio (DAS), conforme as “Regras para análise de sementes” (BRASIL,1992).

Resultados e Discussão

Até os cinco dias após semeio (5 DAS), nenhuma semente germinou nos tratamentos de -1,2 e -1,8 MPa, indicando que o NaCl inibiu a germinação das sementes. Segundo Fageria (1984), para se conhecer a resposta de variedades de arroz à salinidade, é importante examinar esse efeito em vários estádios de desenvolvimento, inclusive na fase de germinação. No tratamento com 0 MPa (sem adição de sal), não houve diferença significativa entre as doses de

radiação e entre as variedades. Todos os tratamentos apresentaram germinação superior a 89% (Tabela 1).

Aos 14 dias após o semeio, ainda nenhuma semente havia germinado sob $-1,8$ MPa, indicando que este potencial osmótico ultrapassou o nível de tolerância dessas variedades à salinidade. Dionisio-Sese; Tobita (1998); Neue et al. (1998) e Cordeiro (2001) enfatizaram que o NaCl é tóxico na fase de germinação do arroz. No tratamento sem adição de NaCl, os percentuais de germinação que já haviam se mostrado muito altos, aos cinco dias após semeio, não se elevaram mais (dados não apresentados). Já sob o potencial osmótico de $-1,2$ MPa, dos 5 DAS aos 14 DAS, muitas sementes germinaram, evidenciando diferenças significativas entre variedades (Tabela 2). As variedades Metica (com 88,7% de germinação) e São Francisco (com 78,0%), superaram as demais, que atingiram percentuais de germinação abaixo de 48,7%. As porcentagens de germinação não se mostraram estatisticamente diferentes, entre si (Tukey 5%), em resposta às doses de radiação empregadas (bem abaixo da dose letal de 500 Gy estipulada por Hussim et al. (2001), não diferindo, também, das obtidas no tratamento sem radiação (0 Gy).

Com base nestes resultados pode-se afirmar que o nível de salinidade de $-1,2$ MPa poderá ser utilizado para diferenciar as variedades sensíveis das tolerantes à salinidade, nessa fase de desenvolvimento das plântulas de arroz. Resultados similares foram encontrados por Melo (1997), que avaliou o comportamento de 12 genótipos de arroz e concluiu que soluções salinas com potencial osmótico de $-1,2$ MPa podem ser utilizadas para selecionar genótipos sensíveis e tolerantes à salinidade na fase de germinação. Pearson et al. (1966) em estudo com variedades de arroz sob estresse salino com condutividade elétrica de 25 a 30 $\text{dS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ($-0,9$ a $-1,1$ MPa, respectivamente, conforme RICHARDS, 1974) verificaram uma redução de 20% na porcentagem de germinação, aos 14 dias após semeio.

A não determinação de diferenças estatísticas na avaliação da germinação das sementes, em resposta às doses de radiação aplicadas, sugere que a irradiação na faixa de 120 a 360 Gy não afetou a germinação das sementes das variedades de arroz estudadas, até 14 dias após o plantio. Em estudo similar para testar a radiosensibilidade do feijão comum Colaço et al. (1995) que concluíram que as doses de 100 a 150 Gy são as recomendadas para trabalhos de melhoramento com a cultivar de feijão IPA-8. De acordo com Conger et al. (1977) e Gaul (1977), diferenças na radiosensibilidade entre genótipos dentro de uma espécie, tem sido

informadas e, em alguns casos, podem ser relativamente grandes. Contudo, as diferenças em radiosensibilidade entre genótipos numa mesma espécie são geralmente muito menores do que entre espécies são geralmente muito menores do que entre espécies. Daí a importância de se fazer experimentos preliminares.

Conclusões

O potencial osmótico de $-1,8$ MPa não deve ser utilizado em pesquisas sobre tolerância à salinidade das variedades de arroz irrigado, por impedir a germinação. Já o potencial osmótico de $-1,2$ MPa pode ser utilizado por promover um efeito diferencial nestas variedades.

As doses de radiação utilizadas, de 120 a 360 Gy, não interferiram na germinação das sementes de arroz.

Referências bibliográficas

ALLARD, R.W. **Princípios de melhoramento genético das plantas**. São Paulo: Edgard Blücher, 1971. 381 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Departamento Nacional de Defesa Vegetal. (Brasília, D.F.). **Regras para análise de sementes**. Brasília, 1992. 326 p.

COLAÇO, W.; BURITY, H.A.; FIGUEIREDO, M.V.B.; MARTINEZ, C.R. Gamma radiosensitivity of a common bean cultivar. In: ENCONTRO DE APLICAÇÕES NUCLEARES, 3., 1995, Águas de Lindóia. **Anais**. Belo Horizonte: Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear/CNEN, 1995. p. 65-70.

CORDEIRO, G. **Salinidade em áreas irrigadas**. In: Embrapa Semi-Árido, 2001. Disponível em: <<http://www.cpatia.embrapa.br/artigos/salinidade.html>>. Acesso em: 02 jul. 2001.

DIONISIO-SESE, M.L.; TOBITA, S. Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress. **Plant Science**, Limerick, v. 135, n. 1, p. 1-9, June 1998.

FAGERIA, N.K. **Adubação e nutrição mineral da cultura do arroz**. Rio de Janeiro: Campus, 1984. 340 p.

FAO PRODUCTION YEARBOOK. Roma: FAO, v. 44, n. 99, p. 283, 1991.

GAUL, H. Mutagen effects in the first generation after seed treatment. In: IAEA. – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Manual on mutation breeding**. Vienna, 1977. p. 87-98 (IAEA - Technical Reports Series, 119).

HUSSIN, G.; HARUN, A.R.; SHAMSUDIN, S. **Study on mutagenesis of Signal grass (*Brachiaria decumbens*) by gamma irradiation**. Institut Haiwan Kluang; Malaysian Institute for Nuclear Technology Research (MINT). Disponível em: <http://agrolink.moa.my/jph/ihk/report1999_2000/penyelidikan/research/ghazali1.htm>. Acesso em: 24 de ago. 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2004. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric>>. Acesso em: 23 dez. 2004.

JENNINGS, P.R.; BERRIO, L.E.; TORRES, E.; CORREDOR, E. Una estratégia de mejoramiento para incrementar el potencial de rendimiento en arroz. FORO ARROCERO LATINOAMERICANO, v. 8, n. 2, 2002. Disponível em: <<http://www.flar.org/foronov2002.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2003.

MALUSZYNSKI, M.; MICKE, A.; DONINI, B. Genes for semi-dwarf in rice induced by mutagenesis. In: INTERNATIONAL RICE GENETICS SYMPOSIUM, 1986, Manila. **Proceedings...** Manila: International Rice Research Institute, 1986, p. 729-737.

MELO, P.C.S. **Seleção de genótipos de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado tolerantes à salinidade**. 1997. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1997.

NEUE, H.U.; QUIJANO, C.; SENADHIRA, D.; SETTER, T. Strategies for dealing with micronutrient disorders and salinity in lowland rice systems. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 56, n. 1-2, p. 139-155, Mar. 1998.

RICHARDS, L.A. La calidad del agua para riego. In: RICHARDS, L. A. **Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos**. México: Editorial Limusa, 1974. p. 75-88.

RUTGER, J.N. Applications of induced and spontaneous mutation in rice breeding and genetics. **Advance in Agronomy**, New York, v. 36, p. 383-413, 1983.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. Osmosis. In: SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Plant Physiology**. 2^a ed. Belmont: Wadsworth, 1978. p. 18-32.

YOKOYAMA, L.P. O arroz no Brasil no período de 1985/86 a 1999/00: aspectos conjunturais. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., 2002, Florianópolis. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 96-99. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos 134).

ZENG, L.; SHANNON, M.C. Effects of salinity on grain and yield components of rice at different seeding densities. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, p. 418-423, 2000.

Tabela 1 – Percentagem de germinação de sementes de arroz (cinco dias após semeio), submetidas a diferentes doses de radiação e postas sob potencial osmótico de 0 MPa.

Variedades	Doses (Gy)						Média
	0	120	180	240	300	360	
S.	98,7	98,7	96,0	92,0	96,0	100,0	96,9 A
FRANCISCO							
R. Formoso	97,3	98,7	92,0	94,7	98,7	97,3	96,4 A
Metica	98,7	97,3	97,3	92,0	94,7	97,3	96,2 A
Diamante	93,3	97,3	97,3	94,7	96,0	93,3	95,3 A
Jequitibá	93,3	98,7	96,0	97,3	96,0	89,3	95,1 A
Média	96,3 a	98,1 a	95,7 a	94,1 a	96,3 a	95,4 a	
CV (%)	9,4						

Dados transformados em arc sen raiz de % para se realizar a análise de variância. No quadro, dados reais. Médias de 3 repetições. Médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 2 – Percentagem de germinação de sementes de arroz (14 dias após semeio), submetidas a diferentes doses de radiação e postas sob potencial osmótico de $-1,2$ MPa.

Variedades	Doses (Gy)						Média
	0	120	180	240	300	360	
S.	90,7	77,3	84,0	62,7	73,3	80,0	78,0 A
FRANCISCO							
R. Formoso	38,7	50,7	70,7	40,0	48,0	41,3	48,2 B
Metica	88,0	90,7	86,7	89,3	88,0	89,3	88,7 A
Diamante	29,3	56,0	65,3	65,3	40,0	22,7	46,4 B
Jequitibá	66,7	57,3	32,0	37,3	60,0	38,7	48,7 B
Média	62,7 a	66,4 a	67,7 a	58,9 a	61,9 a	54,4 a	
CV (%)	21,7						

Dados transformados em arc sen raiz de % para se realizar a análise de variância. No quadro, dados reais. Médias de 4 repetições. Médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey a 5%.

**4.2 - SENSIBILIDADE DE VARIEDADES DE ARROZ (*ORYZA SATIVA* L.) A
RADIÇÃO GAMA: UM ESTUDO PRELIMINAR NA FASE VEGETATIVA**

Sensibilidade de variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) a radiação gama: um estudo preliminar na fase vegetativa

Palmira Cabral Sales de Melo¹

Waldeciro Colaço²

Clodoaldo José da Anunciação Filho³

Venézio Felipe dos Santos¹

¹ Av. General San Martin, 1371 – Bongi – Recife – PE (palmira@ipa.br)

² Av. Professor Luiz Freire, 1000 – Cidade Universitária – Recife – PE. CEP.: 50.740-540 (wcolaco@ufpe.br)

³ Rua D. Manuel de Medeiros, s/n – Dois Irmãos – CEP: 52.171-900 - Recife – PE (cjose@ufrpe.br) Telefone: (81) 3302-1245

Resumo

Os efeitos de seis doses de radiação gama (0,120, 180, 240, 300 e 360 Gy), sobre cinco variedades de arroz irrigado (Metica, Diamante, São Francisco, Jequitibá e Rio Formoso) foram medidos em um experimento fatorial 5 X 6 em delineamento experimental de blocos completos ao acaso, com três repetições, lançado em telado, no segundo semestre de 2002, na Empresa IPA, em Recife, Pernambuco. A dose de 360 Gy afetou negativamente as variedades de arroz em todos os parâmetros de avaliação utilizados. A dose de radiação de 300 Gy pode ser utilizada na irradiação das variedades de arroz estudadas para se obter materiais com menor porte. As doses de radiação abaixo de 300 Gy não afetaram significativamente as variedades de arroz. A variedade Jequitibá é a menos recomendada para futuros trabalhos de pesquisa, que explorem a germinação e o número de perfilhos.

Palavras-chave: *Oryza sativa*, germinação, porte.

Sensitivity of rice (*Oryza sativa* L.) varieties to gamma irradiation: a preliminary study at the vegetative phase

SUMMARY

The effects of six gamma irradiation doses (0,120, 180, 240, 300 and 360 Gy) on five varieties of irrigated rice (Metica, Diamante, São Francisco, Jequitibá and Rio Formoso) were determined in a randomized complete block design, with three repetitions, under greenhouse conditions, in 2002, at IPA in Recife, Pernambuco. The 360 Gy dose negatively affected the rice varieties in all the parameters of evaluation used. The irradiation dose of 300 Gy can be used on the rice varieties studied to obtain smaller sized materials. The irradiation dose smaller than 300 Gy does not significantly affect the rice varieties. The Jequitibá variety is the least recommended for future research works, that deal with germination and number of seedlings.

Key words: *Oryza sativa*, germination, freight.

Introdução

Segundo Barros; Santos (2002), a rizicultura irrigada no Nordeste destaca-se principalmente em Pernambuco, Ceará e Sergipe, que, juntos, exploram cerca de 40.000 ha sob irrigação. A produção em Pernambuco atingiu 16.950 toneladas no ano de 2003 (IBGE, 2004).

A salinidade dos solos é um dos fatores que impedem o crescimento do arroz nas regiões áridas e semi-áridas (FAGERIA, 1991). A reincorporação de áreas salinizadas tem sido buscada através de métodos tradicionais que nem sempre dão bons resultados, além de terem custos elevados. Como alternativa, a utilização de espécies tolerantes tem se mostrado bastante viável na reutilização dessas áreas, dado o baixo custo e o retorno imediato (FERNANDES et al., 1998).

Ishiy; Ando (1988) conduziram trabalhos na área de melhoramento com arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado, utilizando mutação induzida para verificar a viabilidade e a eficiência do

método na obtenção de genótipos com melhores características agrônômicas. Os trabalhos iniciaram-se com seis genótipos de arroz submetidos a duas doses de radiação gama (120 e 240 Gy) e chegaram até a geração M₃. Os autores concluíram que a utilização da mutação induzida é viável e eficiente na obtenção de novos genótipos de arroz irrigado.

Vários mutantes de arroz induzidos com radiação gama foram relatados na Índia como variedades altamente produtivas da linhagem “PNR”; algumas dessas foram também precoces e tinham pequena estatura (CHAKRABARTI, 1995).

O presente trabalho objetivou estudar os efeitos da radiação gama do ⁶⁰Co em genótipos de arroz irrigado até a fase vegetativa.

Material e Métodos

Um experimento fatorial 5 x 6, envolvendo cinco variedades de arroz (Metica, Diamante, São Francisco, Jequitibá e Rio Formoso), seis doses de radiação gama aplicadas em sementes (120, 180, 240, 300 e 360 Gy, além da testemunha), em delineamento de blocos completos ao acaso, com três repetições, foi lançado sob telado, nas bases físicas da Empresa IPA, Recife, Pernambuco.

Em potes de plástico foram colocados 10 kg da camada superficial do solo classificado como Neossolo flúvico de textura franco arenosa (Tabela 3). O solo foi seco ao ar, peneirado e, de acordo com recomendações do Laboratório de Fertilidade da Empresa IPA, obtidas após prévia análise de fertilidade, recebeu adubação química equivalente a 60 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, 60 kg.ha⁻¹ de K₂O e 60 kg.ha⁻¹ de N. Para os cálculos da adubação, considerou-se a área de cada pote (0,04 m²). Como fontes de fósforo, potássio e nitrogênio foram usados o superfosfato simples, o cloreto de potássio e o sulfato de amônia. Após a adubação, foram semeadas 25 sementes por pote. Sempre que necessário, o solo foi irrigado (irrigação por inundação).

Depois de 22 dias, foi feito o desbaste, deixando-se 11 plantas por pote. A germinação foi notificada aos cinco e aos quatorze dias após semeio, de acordo com o recomendado por Brasil (1992). A cada dez dias foram atribuídas notas de vigor, de acordo com a escala adotada pelo Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), na qual, plantas extra vigorosas valem 1; vigorosas 3; normais 5; menos vigorosas que o normal 7 e raquíticas, doentes ou

mortas 9. A altura das plantas foi medida a cada dez dias, do nível do solo até a extremidade mais alta do conjunto. Aos 52 dias foi feito o corte da parte aérea e o material foi pesado e, em seguida posto em estufa de circulação de ar, à temperatura de 70°C, por três dias, quando foi pesado para obtenção da matéria seca. Também, após o corte, foram contados os perfilhos de cada planta. Além desses parâmetros, foram estimadas as áreas foliares das plantas. Para isto, antes de colocar a massa verde em estufa, foram retiradas três amostras de folhas de 1cm² por pote, pesadas e com a média obtida e a massa total das folhas, calculada a área foliar total. As amostras foram retiradas da base, do meio e da extremidade de cada uma das folhas, por pote, ao acaso.

Resultados e Discussão

Os valores médios obtidos para o número de perfilhos, produção de matéria verde, produção de matéria seca e área foliar, das cinco variedades de arroz estudadas, considerando as doses de radiação gama estudadas, estão apresentados na Tabela 4.

As variedades Metica e Rio Formoso com 46 perfilhos.pote⁻¹, perfilharam mais que a cultivar Jequitibá, com 34 perfilhos.pote⁻¹. A dose de 360 Gy reduziu o número de perfilhos em 36%, em relação à testemunha (0Gy). Este parâmetro de avaliação é um dos principais componentes de rendimento para o arroz. A quantidade de afilhos é um caráter varietal, sendo maior nas cultivares modernas (PEDROSO, 1989). Todas as variedades avaliadas neste trabalho são cultivares modernas, ou seja, foram lançadas após 1989.

Não houve diferenças significativas entre variedades quanto às produções de matéria verde e de matéria seca. No entanto, as doses de radiação apresentaram diferenças altamente significativas e a dose de 360 Gy provocou decréscimos de 46 e 52%, respectivamente, em relação à testemunha. Resultados similares foram encontrados por Rodrigues; Ando (2003) que observaram a radiosensitividade para selecionar variedades de arroz de sequeiro nas dosagens de 300 e 360 Gy.

Não houve diferença significativa entre as variedades, em relação à área foliar. Quanto às doses de radiação empregadas, a de 360 Gy foi a que mais provocou redução da área foliar. Estes resultados indicam que esta dose só deve ser empregada em futuros trabalhos de melhoramento nestas variedades se houver ganhos em relação a outros parâmetros de

avaliação, já que, segundo Pinheiro (1999), o índice de área foliar é uma importante ferramenta para se medir o potencial produtivo das variedades de arroz.

Os números de plantas germinadas das variedades Metica e Jequitibá foram significativamente menores, nas doses de 300 e 360 Gy que na testemunha (Tabela 5). As doses de 120 e 240 Gy não diferiram da testemunha, indicando que não interferiram negativamente na germinação das sementes. É interessante a investigação sobre o efeito da dose da radiação, em relação à germinação, para que não se extrapole a dose suportada pelo material estudado e ele perca sua capacidade de germinação (IAEA, 1997; HUSSIM et al., 2001).

Todas as variedades apresentaram menor vigor, nas doses de 300 e 360 Gy, que na testemunha e comportamento semelhante nas doses de 120 e 360 Gy (Tabela 6). Com a dose de 180 Gy, a variedade São Francisco apresentou-se mais vigorosa que as demais, atingindo nota 1,9, aproximando-se mais da nota 1 que significa plantas extras vigorosas.

A dose de radiação de 360 Gy provocou decréscimo na altura das plantas de 7,9%, 2,8%, 13,5%, 10,2% e 24,0%, em relação à testemunha, nas variedades São Francisco, Metica, Diamante, Rio Formoso e Jequitibá, respectivamente (Tabela 7).

Conclusões

A dose de 360 Gy afetou negativamente as variedades de arroz em todos os parâmetros de avaliação utilizados. A dose de radiação de 300 Gy pode ser utilizada na irradiação das variedades de arroz estudadas para se obter materiais com menor porte, pois ela ocasionou diminuição da altura das plantas não interferindo no número de perfilhos e na produção de matéria verde e seca. As doses de radiação abaixo de 300 Gy não afetaram significativamente as variedades de arroz.

A variedade Jequitibá é a menos recomendada para futuros trabalhos de pesquisa, que explorem a germinação e o número de perfilhos.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Pernambuco, à Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária-IPA e ao CNPq.

Referências Bibliográficas

BARROS, L.C.G.; SANTOS, A.L.C. Formoso, nova cultivar de arroz irrigado para o Baixo São Francisco. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7, 2002, Florianópolis. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 225-227. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos 134).

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Departamento Nacional de Defesa Vegetal. (Brasília, D.F.). **Regras para análise de sementes**. Brasília, 1992. 326 p.

CHAKRABARTI, S.N. Mutation breeding in India with particular reference to PNR rice varieties. **Journal Nuclear Agricola Biological**, New Delhi, v. 24. p. 73-82. 1995.

FAGERIA, N.K. Tolerance of rice cultivars to salinity. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 2, p. 281-288, fev. 1991.

FERNANDES, A.R.; CARVALHO, J.G.; MELO, P.C.; MIRANDA, J.R.P. Efeito de diferentes fontes de sais sódicos sobre a eficiência de utilização, translocação e absorção de K, Ca, Mg e Na em mudas de moringa (*Moringa oleifera*). In: REUNIÃO DE MANEJO DE CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFC, 1998. p.10-11.

HUSSIN, G.; HARUN, A.R.; SHAMSUDIN, S. **Study on mutagenesis of Signal grass (*Brachiaria decumbens*) by gamma irradiation**. Institut Haiwan Kluang; Malaysian Institute for Nuclear Technology Research (MINT). Disponível em: http://agrolink.moa.my/jph/ihk/report1999_2000/penyelidikan/research/ghazali1.htm. Acesso em: 24 de ago. 2001.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2004. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric> >. Acesso em: 23 dez. 2004.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Research co-ordination meeting on *in vitro* techniques for selection of radiation induced mutants adapted to adverse environmental conditions.** 2. ed. Vienna: IAEA/ FAO, 1997.

ISHIY, T.; ANDO, A. Melhoramento de arroz irrigado, através da mutação induzida. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 17., 1988, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa/CNPAP, 1988. p.29-34.

PEDROSO, B.A. **Arroz irrigado: obtenção de cultivares.** Porto Alegre: SAGRA, 1989. 179 p. (SAGRA. Melhoramento, 8).

PINHEIRO, B.S. Características morfofisiológicas da planta relacionadas à produtividade. In: EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, (Santo Antônio de Goiás). **A cultura do arroz no Brasil.** Santo Antônio de Goiás, 1999. p. 116-147.

RODRIGUES, L.R.F.; ANDO, A. Uso da sensibilidade à radiação gama na discriminação de variedades de arroz-de-sequeiro dos grupos Índica e Japônica. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 2, p. 179-188, 2003.

Tabela 3. Atributos químicos do Neossolo flúvico, em estudo.

	Valores
P (mg.dm ⁻³)	7,0
pH	5,0
Ca (molc.dm ⁻³)	3,35
Mg (molc.dm ⁻³)	1,25
Na (molc.dm ⁻³)	0,14
K (molc.dm ⁻³)	0,11
Al (molc.dm ⁻³)	0,35
H (molc.dm ⁻³)	3,36
S (molc.dm ⁻³)	4,9
CTC (molc.dm ⁻³)	8,6
V(%)	57
m(%)	7

Tabela 4. Efeitos da variedade e irradiação de sementes no número de perfilhos (NP), produção de matéria verde (PMV), produção de matéria seca (PMS) e área foliar (AF), do arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado.

TRATAMENTOS	NP⁽¹⁾ planta	PMV touceira (g)	PMS touceira (g)	AF touceira (cm²)
Variedades				
São Francisco	35 ab	76,4 a	20,4 a	774 a
Metica	46 a	70,7 a	18,4 a	714 a
Diamante	43 ab	74,9 a	20,2 a	758 a
Rio Formoso	46 a	76,5 a	20,5 a	770 a
Jequitibá	34 b	76,2 a	20,9 a	778 a
Doses de radiação (Gy)				
0	44 ab	86,7 a	25,1 a	884 a
120	39 ab	77,0 a	21,1 ab	777 a
180	47 a	86,5 a	22,5 ab	875 a
240	52 a	88,4 a	24,8 a	894 a
300	33 ab	64,4 ab	15,2 bc	654 ab
360	28 b	46,6 b	11,8 c	473 b
CV(%)				

Médias seguidas de letras iguais, na mesma coluna e tratamento não diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05). Médias de 3 repetições.

(¹) = Dados previamente transformados em raiz de x, para a análise da variância.

Tabela 5. Efeitos de diferentes doses de radiação gama do ^{60}Co , em sementes de cinco variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado, quanto ao número de plantas germinadas.

Variedades	Doses (Gy)						Média
	0	120	180	240	300	360	
São Francisco	23 ab A	22 ab A	24 a A	23 ab A	18 b AB	19 ab A	21,5
Metica	22 a A	21 a A	21 a AB	20 a A	12 b B	12 b B	18,0
Diamante	22 ab A	23 a A	16 b B	22 ab A	20 ab A	15 bAB	19,7
Rio Formoso	22 a A	19 a A	22 a AB	22 a A	20 a A	16 a AB	20,2
Jequitibá	22 a A	22 a A	18 ab B	20 a A	12 bc B	10 c B	17,3
Média	22,2	21,4	20,2	21,4	16,4	14,4	
CV(%)	11,9						

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Médias de 3 repetições. Letras minúsculas para teste de comparação de médias na horizontal. Letras maiúsculas para comparação de médias na vertical.

Tabela 6. Efeitos de diferentes doses de radiação gama do ^{60}Co , em sementes de cinco variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado, quanto ao vigor das plantas (nota adotada pela Embrapa/CNPAF).

Variedades	Doses (Gy)						Média
	0	120	180	240	300	360	
São Francisco	2,5 c BC	2,8 c A	1,9 c B	2,9 c B	5,2 b AB	6,6 a A	3,6
Metica	3,8 bc A	2,7 c A	3,8 bc A	4,1 b A	6,2 a A	6,9 a A	4,6
Diamante	3,5 c AB	3,5 c A	4,1 bc A	3,7 c AB	5,1 b B	6,6 a A	4,4
R Formoso	2,4 c BC	3,4 bc A	3,7 b A	3,7 b AB	5,2 a AB	6,3 a A	4,1
Jequitibá	2,3 d C	3,4 cd A	3,9 c A	3,4cd	5,4 b AB	7,1 a A	4,2
				AB			
Média	2,9	3,2	3,5	3,6	5,4	6,7	
CV(%)	15,5						

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Médias de 3 repetições. Letras minúsculas para teste de comparação de médias na horizontal. Letras maiúsculas para comparação de médias na vertical.

(¹) Nota variando de 1 a 9, onde nota 1 = plantas extra vigorosas e nota 9 = plantas fracas, doentes ou mortas.

Tabela 7. Efeitos de diferentes doses de radiação gama do ^{60}Co , em sementes de cinco variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado, quanto a altura das plantas (cm).

Variedades	Doses						Média
	(Gy)						
	0	120	180	240	300	360	
S. Francisco	38 ab B	39 ab B	40 a AB	38 ab B	37 ab B	35 b AB	37,8
Metica	36 b B	41 a B	38 ab B	37 ab B	34 b B	35 b AB	36,8
Diamante	37 ab B	39 a B	37 ab B	37 ab B	34 bc B	32 c B	36,0
R. Formoso	39 ab B	39 ab B	40 a AB	39 ab B	36 bc B	35 c AB	38,0
Jequitibá	50 a A	45 bA	43 bcA	47 ab A	40 cd A	38 c A	43,8
Média	40,0	40,6	39,6	39,6	36,2	35,0	
CV(%)	10,0						

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Médias de 3 repetições. Letras minúsculas para teste de comparação de médias na horizontal. Letras maiúsculas para comparação de médias na vertical.

4.3 EFEITOS DA SALINIDADE E DA RADIAÇÃO GAMA EM CULTIVARES DE ARROZ (*ORYZA SATIVA* L.) IRRIGADO

EFEITOS DA SALINIDADE E DA RADIAÇÃO GAMA EM CULTIVARES DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) IRRIGADO

Palmira Cabral Sales de Melo¹

Waldeciro Colaço²

Clodoaldo José da Anunciação Filho³

Venézio Felipe dos Santos¹

¹ Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária – IPA Av. General San Martin, 1371 – Bongi – Recife – PE (palmira@ipa.br; venezio@ipa.br) Telefones: (081) 2122-7318 e 2122-7342

² Universidade Federal de Pernambuco - Departamento de Energia Nuclear. Av. Professor Luiz Freire, 1000 – Cidade Universitária – CEP.: 50.740-540 - Recife – PE. (wcolaco@ufpe.br) Telefone: (081) 2126-8252

³ Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Agronomia. Rua Don Manoel de Medeiros, s/n – Dois Irmãos – CEP: 52.171-900 - Recife – PE (cjose@ufrpe.br) Telefone: (081) 3302-1245

EFEITOS DA SALINIDADE E DA RADIAÇÃO GAMA EM CULTIVARES DE ARROZ (*ORYZA SATIVA* L.) IRRIGADO

Resumo

Os efeitos da radiação gama do ^{60}Co em genótipos de arroz sob diferentes estresses salinos foram testados para selecionar materiais mutantes tolerantes à salinidade. O experimento constou de três variedades de arroz (São Francisco, Diamante e Metica), submetidas a três níveis de condutividade elétrica do extrato saturado do solo (0; 8 e 16 dS.m^{-1}) e três doses de radiação (0; 150 e 300 Gy), em quatro repetições. As variedades estudadas apresentaram comportamentos semelhantes em todos os parâmetros avaliados, exceto, dias para floração. As doses de radiação estudadas só interferiram significativamente nos dias para colheita. Os níveis de salinidade empregados interferiram em todos os parâmetros avaliados.

Palavras-chave: *Oryza sativa*; floração, colheita.

EFFECTS OF SALINITY AND GAMMA RADIATION ON IRRIGATED RICE (*ORYZA SATIVA* L.) CULTIVARS

ABSTRACT

The effects of (^{60}Co) gamma irradiation on rice genotypes, at different salinity levels, for selection of salinity resistant mutable materials were studied. Four replicates of three varieties (São Francisco, Diamante and Metica) were tested, at three levels of saturated soil electrical conductivity (0, 8 and 16 dS.m^{-1}) and three irradiation doses (0; 150 and 300 Gy). The studied cultivars presented analogous behavior in all parameters evaluated, except for flowering days. The dose irradiation studied only interfered at the harvest time. The salinity levels used interfered in all the parameters studied.

Key words : *Oryza sativa*; flowers, harvest.

Introdução

Em regiões áridas e semi-áridas, os solos submetidos à irrigação e desprovidos de uma drenagem adequada podem acumular teores consideráveis de sais e, conseqüentemente, limitar a produtividade dos cultivos (RICHARDS, 1974; CAMPOS; ASSUNÇÃO, 1990). Calcula-se que 23% das terras cultivadas em todo o mundo se encontram salinizadas (TANJI, 1990). Isto ocorre em parte do semi-árido nordestino do Brasil.

Os efeitos adversos da salinidade sobre as plantas constituem um dos fatores limitantes da produção agrícola, devido, principalmente, ao aumento da pressão osmótica do solo e à toxicidade resultante da concentração salina e dos íons específicos (CORDEIRO, 2001). De acordo com Willadino; Câmara (2004), o estresse salino induz uma série de respostas morfológicas, fisiológicas e bioquímicas nas plantas. Estas respostas têm uma grande variação dependendo do genótipo e do estágio de desenvolvimento da planta.

Na tentativa de solucionar os problemas resultantes da salinização dos solos, o desenvolvimento de plantas tolerantes ao excesso de sais é a alternativa que provavelmente poderá oferecer resultados satisfatórios mais adequados, pois os custos para desenvolver genótipos tolerantes são baixos quando comparados com os da recuperação físico-química dos solos. Há plantas que melhor se adaptam a condições de estresse salino que outras. O arroz é uma planta indicada para se fazer melhoramento genético visando a tolerância à salinidade (ZENG; SHANNON, 2000).

O desenvolvimento de plantas tolerantes à salinidade pode ser feito por intermédio da irradiação com raios gama, pois, de acordo com Gangadharan et al., (1976) e Hu (1984), o melhoramento por mutação induzida tem a vantagem de ser rápido e eficiente.

Na orizicultura irrigada no Submédio São Francisco, é onde se concentra a maior produção do estado de Pernambuco. Entretanto, não há registro de variedades de arroz adaptadas à região e que sejam tolerantes à salinidade.

O presente trabalho objetivou estudar os efeitos da radiação gama (^{60}Co) em genótipos de arroz sob diferentes estresses salinos, visando selecionar materiais tolerantes à salinidade.

Material e Métodos

As condutividades elétricas adequadas aos genótipos estudados foram determinadas previamente em um teste de incubação do solo, com o objetivo de ajustar a relação entre os níveis de NaCl a serem adicionados ao solo. O solo utilizado, proveniente da área experimental do Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco, em Recife, PE, foi classificado como Neossolo flúvico de textura franco-arenosa. O teste foi realizado em 2004 no Laboratório de Química da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária – IPA (Recife – PE). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com cinco níveis de salinidade e três repetições. Os potes receberam 300g de solo seco ao ar, destorroado, passado em peneira de 2 mm e misturado com 0; 0,3; 0,6; 0,9 ou 1,2 g de NaCl. Em seguida, acrescentou-se água destilada e procedeu-se a homogeneização, segundo Richards, (1974). Após 9 dias, determinou-se a condutividade elétrica do extrato saturado do solo e, calcularam-se as quantidades de NaCl a serem utilizadas no experimento subsequente.

O experimento, em delineamento experimental de blocos ao acaso, constou de três variedades de arroz (São Francisco, Diamante e Metica), três níveis de condutividade elétrica do extrato saturado do solo (1,2 (sem adição de NaCl); 8 e 16 dS.m⁻¹), e três doses de radiação gama (0, 150 e 300 Gy) em grupos de sementes, com quatro repetições. Foi instalado em telado na Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária – IPA, em Recife, PE. As sementes foram irradiadas no Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco. O solo utilizado como substrato foi o mesmo do teste anterior, seco, destorroado e peneirado. Os potes receberam 10 kg de solo previamente homogeneizado com a quantidade de NaCl correspondente a cada tratamento. As quantidades de NaCl utilizadas, calculadas no teste anterior, foram 22,4 e 47,0 g correspondentes a 8 e 16 dS.m⁻¹.

Após receber as quantidades de NaCl estabelecidos, o solo foi irrigado com água destilada e ficou durante 9 dias em repouso. Em seguida, o solo recebeu adubação química de 0,08g.pote⁻¹ de N como sulfato de amônio; 0,24g.pote⁻¹ de P₂O₅ como superfosfato simples, e 0,16g.pote⁻¹ de K₂O como cloreto de potássio, correspondentes a 60 kg.ha⁻¹ de N, de P₂O₅ e de

K₂O, conforme recomendação do Laboratório de Fertilidade da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária – IPA, obtida após prévia análise de fertilidade do solo em estudo.

Após a adubação, foram semeadas 25 sementes por pote, e após 25 dias, foi feito o desbaste, ou transplantio, deixando-se três plantas por pote. As plantas permaneceram até a fase de colheita (entre 118 e 144 dias) e durante esse período foram feitas as observações. A contagem de germinação foi feita diariamente até os 25 dias. No início da floração atribuíram-se notas de vigor de acordo com a escala adotada pelo Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAPF), na qual, as plantas extra vigorosas valem 1, vigorosas 3, normais 5, menos vigorosas que o normal 7 e raquíticas, doentes ou mortas valem 9. A altura de planta foi medida no início da floração, a partir do nível do solo, nos vasos, até a extremidade mais alta do conjunto. O número de perfilhos foi contado após a colheita. Depois da colheita da parte aérea (quando 80% dos grãos de cada pote estavam em ponto de colheita), os grãos foram separados do resto do material, pesados, colocados em sacos de papel e armazenados. A massa verde também foi pesada. O material foi colocado em estufa com circulação de ar, seco a 70°C, por três dias, quando foi feita a sua pesagem para determinar a produção de matéria seca da parte aérea das plantas de arroz. Além desses parâmetros, foram computados os números dos dias para a floração e para a colheita e determinada a área foliar das variedades estudadas. Para isto, antes de colocar a massa verde em estufa, foram retiradas três amostras de 1cm² de uma folha por pote e o valor médio obtido, correlacionou-se com o peso da matéria verde. As amostras foram retiradas da base, do meio e da extremidade de uma folha por pote, selecionadas ao acaso. Após a colheita das plantas, foram retirados 300 g do solo de cada pote para nova determinação da condutividade elétrica do extrato saturado.

Resultados e Discussão

Não houve diferenças significativas entre variedades para os seguintes parâmetros: percentual de germinação, número de perfilhos, altura de planta aos 90 dias, nota para vigor, produção de matéria verde, produção de matéria seca, número de dias para colheita e área foliar. Para os dias da floração (Figura 1), a variedade Diamante com 100 dias para floração foi um pouco mais tardia que a São Francisco, com 94 dias, e a Metica, com 91 dias. De acordo com Barros et al. (2000), o ciclo da Diamante é de 97 dias, o da São Francisco é de 101

dias e o da Metica, de 100 dias. Portanto, a variedade que mais se distanciou do seu ciclo normal foi a Metica e isto pode ter ocorrido devido às doses de radiação a que as sementes foram submetidas ou aos níveis de salinidades expostos.

Também não houve diferença significativa entre as doses de radiação para os seguintes parâmetros avaliados: percentual de germinação, número de perfilhos, altura de planta aos 90 dias, nota para vigor, produção de matéria verde, produção de matéria seca, dias para floração e área foliar. Para a época de colheita (Figura 2), houve maior atraso, à medida que aumentaram as doses de radiação. Resultados contrários foram obtidos por Montalvan; Ando (1998) que estudaram os efeitos da radiação gama nas doses de 100 e 200 Gy em variedades de arroz, e concluíram que o mutagênico incrementou a variância, sem mudar a média no tempo para a maturação. Esse comportamento contraditório pode ser explicado por que os autores não trabalharam com variações de salinidade do solo, como o presente trabalho.

A salinidade causou efeitos semelhantes quanto a sua interferência no número de dias para a floração e a colheita, tendo havido diferença significativa entre o nível de 8 dS.m^{-1} , que apresentou o maior tempo para a floração, em relação a testemunha com o menor (Tabela 8).

O aumento na concentração de NaCl do solo causou reduções na germinação, no número de perfilhos, na altura de planta aos 90 dias, no vigor, nas produções de matéria verde e seca, e na área foliar das três variedades de arroz, independentes das doses de radiação recebidas pelas sementes (Tabela 8).

O NaCl reduziu significativamente a germinação, acompanhada até os 25 dias após plantio, tendo os níveis de $8,0$ e $16,0 \text{ dS.m}^{-1}$ provocado decréscimos, de 63 e 84%, respectivamente, em relação à testemunha ($1,2 \text{ dS.m}^{-1}$). Estes resultados concordam com os encontrados por Asch; Wopereis (2001), que observaram uma redução de mais de 50% na germinação de três variedades de arroz sob o nível de salinidade de 8 dS.m^{-1} . É importante a investigação do comportamento das variedades de arroz porque diferentes cultivares podem apresentar comportamentos distintos quando submetidas a níveis crescentes de NaCl (JACOB Jr. et al, 2002).

Houve uma redução no número de perfilhos de 73%, para o nível de salinidade de $16,0 \text{ dS.m}^{-1}$, em relação à testemunha. Redução significativa do número de perfilhos também foi observada em variedades de arroz, submetidas à doses crescentes de sais, por outros autores (PORTA; LÓPEZ-ACEVEDO, 1987).

Reduções semelhantes às encontradas neste trabalho, indicando o efeito do sal na altura de plantas de arroz sob estresse salino são amplamente encontradas na literatura (OLIVEIRA, 1983; PORTA; LOPES-ACEVEDO, 1987; SALIM et al. 1990; RICHARDS, 1992; NEUE et al., 1998; TEIXEIRA et al., 1998; ZENG et al, 2001).

As testemunhas receberam notas para vigor próximas de 3 (plantas vigorosas). Aquelas que se submeteram aos níveis de salinidade de 8 dS.m⁻¹ e 16,0 dS.m⁻¹ receberam notas próximas de 7 (plantas menos vigorosas que o normal) e próximo de 9 (plantas doentes, raquíticas ou mortas), respectivamente.

Na produção da matéria verde e seca, os valores obtidos em relação à testemunha, foram de 45% (8 dS.m⁻¹) e 81% (16,0 dS.m⁻¹), respectivamente.

Em relação à testemunha, a elevação da salinidade no solo provocou perda na área foliar de 47% (8 dS.m⁻¹) e 81% (16,0 dS.m⁻¹). Tal resposta está em acordo com estudos anteriores (SALIM et al., 1990; RICHARDS, 1992; BOHRA; DOERFFLING, 1993; NEUE et al., 1998), nos quais o sal também provocou diminuição na área foliar. Considera-se a área foliar como um excelente indicador do efeito da salinidade (ALBERICO; CRAMER, 1993).

A análise de variância da produção de grãos revelou interação significativa entre os níveis de salinidade e as variedades de arroz estudadas (Tabela 9). A variedade São Francisco apresentou-se como a mais tolerante à salinidade, com uma perda de 58% na produtividade, no nível de 8 dS.m⁻¹, em relação à testemunha. A variedade Metica apresentou-se como a mais sensível, com uma perda de 89% na produtividade em relação à testemunha, no mesmo nível de salinidade. Vários estudos comprovam os efeitos da salinidade sobre a produção de grãos (KLUO, 1986; MACÊDO, 1988; SULTANA et al., 1999; IDRC, 2001; ASCH; WOPEREIS, 2001; SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO, 2003).

Conclusões

As variedades apresentaram comportamentos semelhantes, quando submetidas às doses de radiação e aos níveis de salinidade, nos parâmetros: percentual de germinação, número de perfilhos, altura de planta, nota para vigor, produção de matéria verde, produção de matéria seca, número de dias para colheita (NC) e área foliar (AF).

As doses de radiação de 150 e 300 Gy provocaram retardo significativo na colheita de grãos das cultivares estudadas.

Os níveis de salinidade empregados (8 e 16,0 dS.m⁻¹). Interferiram negativamente em todos os parâmetros avaliados.

Referências bibliográficas

ALBERICO, G.J.; CRAMER, G.R. Is the salt tolerance of maize related to sodium exclusion? I. Preliminary screening of seven cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, Athens, v. 6, n. 11, p. 2289-2303, 1993.

ASCH, F.; WOPEREIS, M.C.S. Responses of field-grown irrigated rice cultivars to varying levels of floodwater salinity in a semi-arid environment. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 70, p. 127-137, Apr. 2001.

BARROS, L.C.G.; UCHÔA, B.F.; SANTOS, A.L.C. **São Francisco, nova cultivar de arroz irrigado para o submédio e baixo São Francisco**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2000. 12 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Circular Técnica, 17).

BOHRA, J. S.; DOERFFLING, K. Potassium nutrition of rice (*Oryza sativa* L.) varieties under NaCl salinity. **Plant and Soil**, The Hague, v.152, p. 299-303. 1993.

CAMPOS, I.S.; ASSUNÇÃO, M.V. Estresse salino e hídrico na germinação e vigor de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 6, p. 857-862, jun. 1990.

CORDEIRO, G. **Salinidade em áreas irrigadas**. In: Embrapa Semi-Árido, 2001. Disponível em: <<http://www.cpatia.embrapa.br/artigos/salinidade.html>>. Acesso em: 02 jul. 2001.

GANGADHARAN, C.; MISRA, R.N.; GHOSH, A.K. Improvement of scented rice varieties (Basmati 370) through induced mutations. **Current Science**, Bangalore, v. 45, n. 16, p. 597-598, 1976.

HU, C.H. Effectiveness of breeding short-stature rice cultivars by mutation induction vs. hybridization. In: SEMI-DWARF CEREAL MUTANTS AND THEIR USE IN CROSS-BREEDING, 2, 1984, Vienna. **Proceedings...** Vienna: International Atomic Energy Agency, 1984. p. 261-262.

IDCR – International Development Research Centre. **Soil salinity in Sri Lanka: too much salt in the rice bowl**. 2001. Disponível em: http://www.idrc.ca/reports/pm_report.cfm?article_num=799. Acesso em: 26 dez. 2004.

JACOB JUNIOR; SCHUCH, L.O.B.; ROSENTHAL, M.D.A.; HÖILBIG, L.S.; LEITZKE, L.N.; CHRIST, R.S. Resposta da germinação e vigor de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) submetidos a diferentes concentrações de salinidade. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7, 2002, Florianópolis. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 293-294. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos 134).

KLUO, D. Induction of useful mutations by gamma irradiation of anther cultures of rice. **Mutation Breeding Newsletter**, Vienna, v. 27, n. 6, p. 26. 1986.

MACÊDO, L.S. **Salinidade em áreas irrigadas**. In: Embrapa/Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (Petrolina, PE.). Petrolina, 1988. p. 1-16 (EMBRAPA-CPATSA. Documentos, 50).

MONTALVAN, R.; ANDO, A.. Effect of gamma-radiation and sodium azide on quantitative characters in rice (*Oryza sativa* L.), **Genetics Molecular Biology**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 17. Mar. 1998.

NEUE, H.U.; QUIJANO, C.; SENADHIRA, D.; SETTER, T. Strategies for dealing with micronutrient disorders and salinity in lowland rice systems. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 56, n. 1-2, p. 139-155, Mar. 1998.

OLIVEIRA, F.A. **Efeito da salinidade da água de irrigação sobre algumas características do solo e da cultura do arroz**. 1983. 139 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 1983.

PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO, M. La salinidad como condicionamiento del comportamiento de los cultivos. In: JORNADA SOBRE SALINIDAD EN LOS SUELOS: ASPECTOS DE SU INCIDÊNCIA EN REGADIOS DE HUESCA, 1987, Huesca. Jornada sobre salinidad en los suelos: aspectos de su incidência en regadios de Huesca: Sociedade Cooperativa Agropecuaria Provincial del Huesca, 1987, p. 51-74.

RICHARDS, L.A. La calidad del agua para riego. In: RICHARDS, L. A. **Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos**. México: Editorial Limusa, 1974. p. 75-88.

RICHARDS, R. A. Increasing salinity tolerance of grain crops: is it worthwhile? **Plant and Soil**, The Hague, v. 146, p. 89-98, 1992.

SALIM, M.; SAXENA, R.C.; AKBAR, M. Salinity stress and varietal resistance in rice: effects on whitebacked planthopper. **Crop Science**, Madison, v. 30, p. 654-659, May/June, 1990.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. (Itajaí, SC). **Arroz irrigado; recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Itajaí, 2003.

SULTANA, N.; IKEDA, T.; ITOH, R. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. **Environmental and Experimental Botany**, Beltsville, v. 42, n. 3, p. 211-220, Dec. 1999.

TANJI, K.K. Nature and extent of agricultural salinity. In: TANJI, K. K. **Agricultural salinity assessment and management**. New York: American Society of Civil Engineers, 1990. p. 1-17.

TEIXEIRA, I.R.; MOTA, J.H.; MARINHO, J.T.S.; CARVALHO, J.G.; ANDRADE, M.J.B. Efeitos da salinidade sobre a produção de matéria seca na cultivar de feijão “Pérola”. In: REUNIÃO DE MANEJO DE CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFC, 1998. p. 193-194.

WILLADINO, L.; CAMARA, T. Origen y naturaleza de los ambientes salinos. In: ROGER, M.J.R.; BONJOCH, N.P.; MOREIRAS, A.S. **La ecofisiología vegetal**; una ciencia e síntesis. Madrid: Internacional Thomson Editores Spain, 2004. cap. 10, p. 303-330.

ZENG, L.; SHANNON, M. C. Effects of salinity on grain and yield components of rice at different seeding densities. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, p. 418-423, 2000.

ZENG, L.; SHANNON, M.C.; LESCH, S.M. Timing of salinity stress affects rice growth and yield components. **Agricultural Water Management**, California, v. 48, n. 3, p. 191-206, jun. 2001.

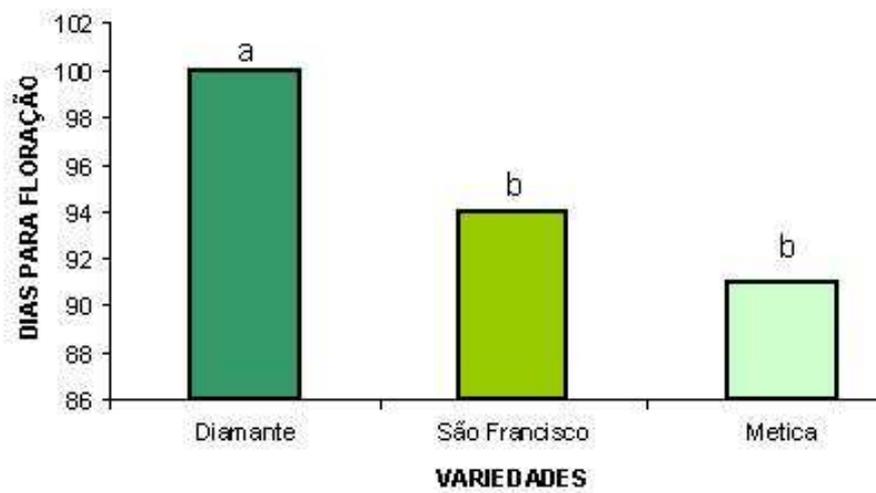


Figura 1. Efeito da variedade na floração do arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Médias de 4 repetições.

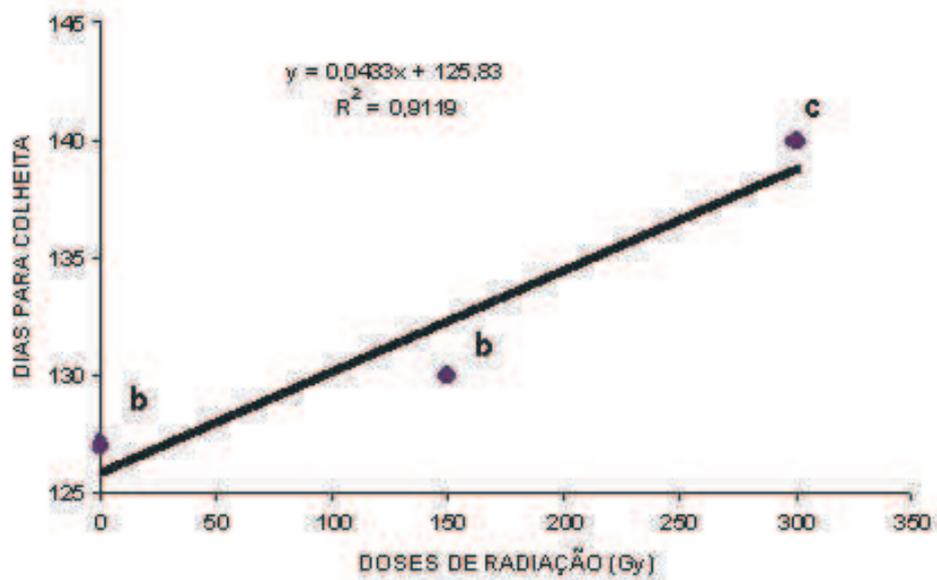


Figura 2. Efeito da radiação das sementes na época de colheita (dias) do arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Médias de 4 repetições.

Tabela 8. Efeitos da salinidade na germinação (%G), número de perfilhos (NP), altura de planta aos 90 dias (AP), nota para vigor (NV), produção de matéria verde (PMV), produção de matéria seca (PMS), número de dias para floração (NF), número de dias para colheita (NC) e área foliar (AF), do arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado.

SALINIDA DE(DS.M ¹)	%G*	NºP* planta	AP * (cm)	NV*	PMV (G) TOUCE IRA	PMS* (g) Touceira	NºF	NºC	AF** (cm ²) Touceira
1,2⁽¹⁾	37,2 a	6,8 a	74,4 a	3,9 c	73,5 a	29,2 a	90 b	130 b	742 a
8,0	13,6 b	6,5 a	30,8 b	7,4 b	39,9 b	17,4 b	104 a	138 a	388 b
16,0	5,9 c	1,8 b	8,2 c	8,5 a	13,8 c	5,3 c	98 ab	131 ab	139 c
CV%	39,8	56,6	47,7	13,0	58,1	54,0	7,6	5,4	63,4

(*) = Dados previamente transformados em raiz (X+0,5), para análise de variância. No quadro, médias originais.

(**)= Dados previamente transformados em log (X+1). No quadro, médias originais.

Médias na coluna, seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

(NV) = Nota de vigor adotada pelo CMPAF, onde 1= plantas extra vigorosas e 9= plantas fracas, doentes ou mortas.

Tabela 9. Efeitos da salinidade (dS.m^{-1}), na produção de grãos (g) do arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado.

Salinidade (dS.m^{-1})	Variedades		
	São Francisco	Diamante	Metica
1,2	15,4 b A	15,8 b A	22,1 a A
8	6,4 a B	6,0 a B	2,5 a B
16	3,3 a B	0,9 a C	2,0 a B
CV(%) 40,8			

Dados transformados em raiz de $(x + 0,5)$ para se realizar análise. No quadro, dados reais. Médias de 4 repetições. Médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Letras minúsculas, para teste de comparação de médias na linha. Letras maiúsculas, para teste de comparação de médias na coluna.