UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE AGRONOMIA ELISEU MACIEL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Dissertação

Caracterização de mutantes M_3 de arroz derivadas da cultivar BRS Pampeira sob déficit hídrico

Raymond Joseph

Pelotas, 2021

Raymond Joseph

Caracterização de mutantes M_3 de arroz derivadas da cultivar BRS Pampeira sob déficit hídrico

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), como requisito parcial à obtenção do título de mestre em ciências (área do conhecimento: em Fitomelhoramento).

Orientador: *Ph.D.* Antonio Costa de Oliveira- FAEM/UFPel
Coorientadores: Dr. Eduardo Venske- FAEM/UFPel
Drª.Viviane Kopp da Luz- FAEM/UFPel

Pelotas, 2021

Raymond Joseph

Caracterização de mutantes M_3 de arroz derivadas da cultivar BRS Pampeira sob déficit hídrico

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Ciências área do conhecimento: Fitomelhoramento, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 09 de agosto de 2021
Banca Examinadora:

Prof. *Ph.D*. Antonio Costa de Oliveira – (Orientador)
Ph.D. pela Universidade da Geórgia

Prof. Dr. Ariano Martins de Magalhães Júnior
Doutor em Melhoramento Genético de Arroz pela Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Luciano Carlos da Maia
Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

Prof.ª Dr.ª Adriana Pires Soares Bresolin
Doutora em Genética, Biotecnologia e Melhoramento Vegetal pela Universidade Federal de Pelotas

Dr.ª Renata Juliana Ahlert
Doutora em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

Prof.ª Dr.ª Solange Ferreira da Silveira Silveira (Suplente)
Doutora em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

Aos meus pais, Damoclès e Lizette
Por todos amor e apoio durantes todos os anos de minha vida

A minhas irmãs Charlina, Louiza, Louizanne, Mirlande

Aos meus sobrinhos, LucknaÏdine, Loudjana,
Ruthlove, Jefferson

Dedico

Agradecimentos

Primeiramente a minhas queridas famílias, por todo amor, apoio, acreditação, compreensão e ensinamentos. Agradeço também por todos apoios econômicos durante toda minha trajetória acadêmica.

Ao Programa de pós-graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, da Universidade Federal de Pelotas- FAEM-UFPel, pela oportunidade de realização do curso.

Ao meu Orientador Antonio Costa de Oliveira orientador deste trabalho, pelo incentivo e amizade e apoio durante essa longa trajetória.

A Dra. Camila Pegoraro e Dr. Rogério O. Sousa, pelas sugestões dadas por ocasião da pré-banca.

Aos Coorientadores: Dr. Eduardo Venske, Drª. Viviane Kopp da Luz, quero agradecer pela amizade, apoio, confiança, paciência, respeito, pelos compartilhamentos de seus conhecimentos, pelo tempo dedicado para esclarecer dúvidas.

Aos colegas e amigos do centro de Genômica e Fitomelhoramento: Mauricio Horbach Barbosa, Cintia Garcia, Vitoria Freitas de Oliveira, Luís Hermínio Chairez Tejeda,Diana, Josiane, Amanda , Jennifer, Cezar, Valéria, Ruth, Latóia, Jordan, Carlos, Vívian, Nicolas, Silvana, Andrés, Winder.

Quero agradecer todos amigos de Haiti, África, Chile e República Dominicana, especialmente Agame Joseph, Frisner Ulysse, Mathieu Widly Joseph, Wandy Alcina, Mackenson Jean, Jackson Joseph, Kesnel e Mathias Houvessou,Mirlene, Chjedelyne Alcius, Nadege.

Ao Centro Nacional de Pesquisa Embrapa Clima Temperado e todos funcionários, por estarem sempre dispostos a colaborar com os experimentos.

Aos colegas e amigos do Centro de Genômica e Fitomelhoramento pela troca de ideias, risos e por toda a ajuda fornecida em cada experimento e trabalho realizado.

Ao programa de bolsas Brasil PAEC OEA-GCUB, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da Bolsa.

A Organização das Nações Unidas para Alimentação/Agricultura Agência Internacional de Energia Atômica (FAO/IAEA), pelo financiamento do projeto.

“The dream is undoubtedly the first of the paths, which lead to freedom. To dream is already to be free. A single minute in the life of a human being is denser and richer than any library around the World”.

(FRANKÉTIENNE 2017)

RESUMO

JOSEPH, Raymond. **Caracterização de mutantes M_3 de arroz derivadas da cultivar BRS Pampeira sob déficit hídrico.** Orientador: Antonio Costa de Oliveira. 2021. 138f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

O arroz é uma das culturas mais produzidas e consumidas no mundo, apresentando no Brasil uma produção de 12 a 13 milhões de toneladas ano^{-1}. No país, grande parte do cereal é produzido na região sul. O sistema de cultivo predominante nessa região e no mundo, é de irrigação por inundação, no qual existe um grande uso de água. Esse uso de água traz problemas ambientais, eleva o custo da produção e, considerando as atuais mudanças climáticas, há riscos para a contínua disponibilidade desta para a agricultura. Deste modo, é extremamente necessário esforço da pesquisa em melhoramento genético de arroz para o cultivo sob sequeiro, no qual podem existir riscos de déficit hídrico. O presente trabalho teve como objetivos: 1) Desenvolver um protocolo para avaliação de genótipos de arroz quanto a tolerância a seca a campo, para as condições do sul do Brasil; 2) caracterizar famílias mutantes de arroz quanto a tolerância ao estresse por déficit hídrico, assim como para o desempenho agronômico; e, 3) avaliar linhagens mutantes M_3 de arroz quanto aos índices de clorofila em condições de estresse hídrico no período reprodutivo, visando relacionar com componentes de produção e selecionar linhagens superiores. Os experimentos foram conduzidos a campo, sob uma cobertura (*Shelter*) visando permitir a simulação de seca, na Estação Experimental Terras Baixas, pertencente à Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão/RS. Os mutantes estudados, oriundos da cultivar BRS Pampeira, se encontram na geração M_3 e foram obtidos por meio de radiação gama (^{60}Co a partir da dose de 250 Grays e 300 Grays). Para o protocolo de avaliação de tolerância a seca, quatro cultivares contrastantes foram submetidas ao o estresse hídrico (-50kPa) nos períodos vegetativo e reprodutivo, e diferentes caracteres de crescimento, desenvolvimento e produtividade foram avaliados. Para caracterização das famílias mutantes e avaliação dos índices de clorofila, o déficit hídrico (100 kPa à 10 e 15 cm) teve início a partir do estádio R_2 até 10 dias após R_4. As plantas foram avaliadas durante e ao final do ciclo reprodutivo, quanto a parâmetros de fotossíntese e caracteres agronômicos e de rendimento. Os resultados do estudo de protocolo demonstram que os genótipos contrastantes estudados não apresentaram diferenças significativas sob o estresse por seca aplicado (-50kPa) no período reprodutivo. A população mutante estudada apresenta uma ampla variabilidade genética para tolerância a seca e foram identificadas linhagens promissoras para o desenvolvimento de cultivares melhoradas para os diferentes caracteres agronômicos estudados. Também se observou uma baixa correlação entre os caracteres agronômicos e os índices de clorofila nas populações avaliadas sob condições de estresse por seca.

Palavras-Chave: Mudanças climáticas. Estresse abiótico. Mutagênico físico. Distribuição de frequências. Fotossíntese.

ABSTRACT

JOSEPH, Raymond. **Characterization of rice M_3 mutants derived from cultivar BRS Pampeira under water deficit**. Advisor: Antonio Costa de Oliveira. 2021. 138f. Master Degree Dissertation – Graduate Program in Agronomy (Concentration area: Plant Breeding). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS, 2021.

Rice is one of the most grown and consumed crops worldwide, and Brazil produces 12 to 13 million tons every year. In this country, the largest part of the cereal production takes place in the Southern region. Paddy system predominates at this region and also around the globe, however it requires a large use of water. High using of water brings environmental issues, increases the production cost and, taking into account the current climate change, there is a concern that the availability of this resource for agriculture may be under risk. Thus, efforts towards breeding rice for rainfed system are needed. However, this system shows risk for water deficit. This study aimed to 1) develop a protocol for evaluating rice genotypes for tolerance to drought in the field, for conditions in southern Brazil; 2) characterize mutant rice families in terms of tolerance to stress due to water deficit, as well as to agronomic performance; 3) evaluate a population of rice mutant lines regarding chlorophyll indexes under drought conditions, associating these traits with yield, and selecting promising lines. The experiments were carried out at field (under a rainout *shelter*), at the Estação Experimental Terras Baixas, belonging to Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão / RS, during the 2019/2020 crop season. The mutant families assayed were at M_3 generation and were obtained from the elite cultivar BRS Pampeira, through the seed treatment with gamma rays (^{60}Co) (148 and 146 families obtained from the doses of 250 and 300 grays, respectively). For the drought tolerance assessment protocol, four contrasting cultivars were subjected to water stress (-50kPa) in the vegetative and reproductive periods, and different traits of growth, development and productivity were evaluated. To characterize the mutant families and evaluate the chlorophyll indices, the water deficit (100 kPa at 10 and 15 cm) started from the R_2 stage until 10 days after R_4. Plants were evaluated during and at the end of the reproductive cycle for photosynthesis parameters and agronomic and yield traits. The results of protocol testing demonstrate that the contrasting genotypes studied did not show significant differences under the applied drought stress (-50kPa) at the reproductive periods. The studied population has a wide genetic variability for drought tolerance and promising mutants were identified for the development of improved cultivars for the different agronomic traits studied. There was also a low correlation magnitude between agronomic traits and chlorophyll indices in populations evaluated under drought stress conditions.

Keywords: Climate change. Abiotic stress. Physical mutagen. Frequency distribution. Photosynthesis.

Lista de Figuras

Figura 1 Descrição morfológica dos estádios de desenvolvimento vegetativo do arroz. 30

Figura 2 Descrição morfológica dos estádios de desenvolvimento reprodutivo do arroz. 31

Figura 3 Estrutura química da clorofila a & b..... 35

Figura 4 A – Estrutura pronta, aguardando o estádio das plantas para iniciar o estresse; B – Cobertura fechada indicando o estresse por seca em curso;C-Tensiômetros instalados a 10 cm ; D- Tensiômetros instalados a 15 cm de profundidade. CGF/UFPEL, 2020. 56

Figura 5 Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B) , derivadas da cultivar BRS Pampeira, para o caráter nota de sintoma de estresse (NE), submetidas ao estresse por deficiência hídrica no período reprodutivo (R2) . PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC=Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020..... 63

Figura 6 Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B) , derivadas da cultivar BRS Pampeira, para o caráter número de afilhos, submetidas ao estresse por deficiência hídrica no período reprodutivo. PE = Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC=Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020. 64

Figura 7 Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B), derivadas da cultivar BRS

Pampeira, para os caráter dias para o florescimento, submetidas ao estresse por deficiência hídrica no período reprodutivo.PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse ; PC=Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020. 65

Figura 8 Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B) , derivadas da cultivar BRS Pampeira, para o caráter altura de planta, submetidas ao estresse por deficiência hídrica no período reprodutivo. PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020. 67

Figura 9 Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B), derivadas da cultivar BRS Pampeira, para o caráter comprimento de panicula, submetidas ao estresse por deficiência hídrica no período reprodutivo. PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020. 68

Figura 10 Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B) , derivadas da cultivar BRS Pampeira, para o caráter número de paniculas por linha, submetidas ao estresse por deficiência hídrica no período reprodutivo. PE = Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC = Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020. 70

Figura 11 Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B), derivadas da cultivar BRS Pampeira, para o caráter peso de paniculas, submetidas ao estresse por deficiência hídrica no período reprodutivo. PE = Média da cultivar BRS

Pampeira com estresse; PC = Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020. 71

Figura 12 Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B) , derivadas da cultivar BRS Pampeira, para o caráter número de espiguetas estéreis por panicula, submetidas ao estresse por deficiência hídrica no período reprodutivo. PE = Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020. 72

Figura 13 Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com doses de 250Gy (A) e 300Gy (B), derivadas da cultivar BRS Pampeira, para os caráter número espiquetas férteis por panicula, submetidas ao estresse por deficiência hídrica no período reprodutivo. PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020. 73

Figura 14 Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B), derivadas da cultivar BRS Pampeira, para o caráter produtividade, submetidas ao estresse por deficiência hídrica no período reprodutivo. PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020. 74

Figura 15 Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B), submetidas ao estresse por deficiência hídrica no estádio reprodutivo R2 (início do estresse), para o caráter índice de clorofila a (Cl a1). PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020. 84

Figura 16 Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B) , derivadas da cultivar BRS Pampeira, para o caráter índice de clorofila b (Cl b1), submetidas ao estresse por deficiência hídrica no estádio reprodutivo R2 (início do estresse). PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020. 85

Figura 17 Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B) , derivadas da cultivar BRS Pampeira, para o caráter relação entre os índices de clorofila a e b (Cl a1/b1),submetidas ao estresse por deficiência hídrica no estádio reprodutivo R2 (início do estresse). PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC=Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle).CGF/UFPEL, 2019/2020. 86

Figura 18 Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B) para o caráter índice de clorofila total1, submetidas ao estresse por deficiência hídrica no estádio reprodutivo R2 (início do estresse). PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020. 87

Figura 19 Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B) , submetidas ao estresse por deficiência hídrica no estádio reprodutivo R2 (período intermediário do estresse), para o caráter índice de clorofila a (Cl a2). PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020. 88

Figura 20 Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B) submetidas ao estresse por deficiência hídrica no estádio reprodutivo (período intermediário do estresse) para o caráter índice de clorofila b (Cl b2). PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020. 89

Figura 21 Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B) submetidas ao estresse por deficiência hídrica no estádio reprodutivo (período intermediário do estresse) para o caráter relação entre os índices de clorofila a/b (Cl a2/b2). PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020. 90

Figura 22 Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B) submetidas ao estresse por deficiência hídrica no estádio reprodutivo (período intermediário do estresse) para o caráter índice de clorofila total (Cl total2). PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC=Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle) CGF/UFPEL, 2019/2020. 91

Figura 23 Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B), após o fim do estresse por deficiência hídrica, (período final do estresse) para o caráter índice de clorofila a (Cl a3). PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020. 92

Figura 24 Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B), após o fim do estresse por

deficiência hídrica (período final do estresse) para o caráter índice de clorofila b (Cl b3). PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC=Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020. 93

Figura 25 Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B), após o fim do estresse por deficiência hídrica (período final do estresse) para o caráter relacao entre índice de clorofila a/b (Cl b3). PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse;PC=Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle).CGF/UFPEL, 2019/2020. 94

Figura 26 Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B), após o fim do estresse por deficiência hídrica (período final do estresse) para o caráter relação entre índice de clorofila total. PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle).CGF/UFPEL, 2019/2020. 95

Lista de Tabelas

Tabela 1 Análise de variância para o desempenho relativo dos caracteres comprimento de raiz (CR), comprimento de parte aérea (CPA), número de folhas (NFOL), número afilhos (NAFIL), massa seca de parte aérea (MSAR) e massa seca de raiz (MSRA) de quarto genótipos de arroz sob condições de deficiência hídrica no período vegetativo. CGF/UFPEL, 2018/2019. 46

Tabela 2 Médias de desempenho relativo (DR) de quatro genótipos de arroz sob condições de deficiência hídrica no período vegetativo. CGF/UFPEL, 2018/2019. 48

Tabela 3 Análise de variância para o desempenho relativo (DR) para os caracteres índice de clorofila (CHLO), índice de balanço do nitrogênio (NBI), flavonoides (FLAV), altura de planta (ALT), comprimento de panícula (CPAN), peso de panícula (PPAN), número de panículas (NPAN), número grãos cheios (NGCH), peso de 1000 grãos (PMG) de quatro genótipos de arroz submetidos ao estresse por seca no estádio reprodutivo. CGF/UFPEL, 2018/2019..... 50

Tabela 4 Estatística descritiva dos caracteres agronômicos avaliados em famílias mutantes de arroz M_3 (Dose 250 Grays) e a média da cultivar BRS Pampeira. CGF/UFPEL, 2019/2020. 60

Tabela 5 Estatística descritiva dos caracteres agronômicos avaliados em famílias mutantes de arroz M_3 (Dose 300 Grays) e a média da cultivar BRS Pampeira. CGF/UFPEL, 2019/2020. 61

Tabela 6 Estatística descritiva dos índices de clorofila avaliados em diferentes períodos durante o estresse por seca, em famílias mutantes arroz M_3, dose (250 Grays) e a média da cultivar BRS Pampeira. CGF/UFPEL, 2019/2020. 81

Tabela 7 Estatística descritiva dos índices de clorofila avaliados em diferentes períodos durante o estresse por seca, em famílias mutantes arroz M_3, dose (300 Grays) e a média da cultivar BRS Pampeira. CGF/UFPEL, 2019/2020. 82

Tabela 8 Estimativas das correlações entre os caracteres avaliados em famílias mutantes de arroz M_3 (250 grays). CGF/UFPEL, 2019/2020. 97

Tabela 9 Estimativas das correlações entre os caracteres avaliados em famílias mutantes de arroz M_3 (300 grays). CGF/UFPEL, 2019/2020. 100

Sumário

1 Introdução.....21
2 Revisão bibliográfica..... 25
2.1 Origem e classificação botânica do arroz.....26
2.2 Importância econômica do arroz.....26
2.3 Desenvolvimento morfológico da planta arroz: Estádio vegetativo.....27
2.4 Desenvolvimento morfológico da planta arroz: Estádio reprodutivo.....28
2.5 Conceito estresse sob déficit hídrico.....32
2.6 Estresse por seca, fotossíntese e clorofila.....34
2.7 Aplicação de mutação induzida no melhoramento genético vegetal.....36
2.8 Limitações da produção de arroz de sequeiro.....38
2.9 Melhoramento genético do arroz no Brasil.....39
3 **Protocolo de avaliação da tolerância a seca em genótipos de arroz nos períodos vegetativo e reprodutivo em ambiente protegido *(Shelter)*.....40**
3.1 Introdução..... 41
3.2 Material e métodos.....42
3.3 Resultados e discussão.....45
3.4 Conclusão..... 51
4 Caracterização de famílias mutantes M_3 de arroz para tolerância ao estresse por seca.....52
4.1 Introdução.....53
4.2 Material e métodos.....54
4.2.1 Obtenção dos mutantes.....54
4.2.2 Avanço de geração.....54
4.2.3 Experimento de campo.....55
4.2.4 Caracteres morfológicos avaliados..... 57
4.2.5 Análise estatística.....58
4.3 Resultados e discussão.....58
4.4 Conclusões 74

5 Índices de clorofila em famílias mutantes de arroz M_3 submetidas ao estresse por seca no período reprodutivo.....75
5.1 Introdução..... 76
5.2 Material e métodos.....77
5.3 Resultados e discussão.....79
5.3.1 Estatísticas univariadas e distribuição de frequências.....79
5.4 Análise de correlação entre caracteres avaliados em famílias mutantes de arroz M_3 sob estresse por deficiência hídrica.....96
5.5 Conclusões 102
6 Considerações finais e perspectivas futuras.....103
Referências bibliográficas 104
Apêndices.....117

1 Introdução geral

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais consumidos ao redor do mundo, sendo uma das principais fontes de alimento para mais da metade da população mundial (Ll *et al*., 2008). Desempenha um papel importante como alimento básico, fornecendo de 50% a 80% das calorias diárias (FAO, 2004, PANDEY *et al*., 2010).

É o segundo cereal mais cultivado no mundo, ocupando uma área aproximada de 161 milhões de hectares (CONAB, 2018). A produção de cerca de 756,5 milhões de toneladas de grãos em casca, corresponde a 29% do total de grãos usados na alimentação humana (SOSBAI, 2018). A maior parte da produção mundial de arroz é destinada para uso alimentar humano, embora seja também utilizada na produção etanol ou ração animal (MAGALHÃES *et al.,* 2017).

O Brasil se insere neste contexto como o maior produtor e consumidor de arroz fora do continente asiático (SOSBAI, 2018). A produção de arroz no Brasil está estimada em 11 a 13 milhões de toneladas, dessas, 1,19 milhões de toneladas são oriundas de cultivo em sequeiro e 10,20 milhões de toneladas são advindas de áreas com plantio irrigado, majoritariamente por inundação (CONAB, 2018). A maior produção brasileira de arroz está localizada na região Sul, com destaque para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, contribuindo com mais de 80% da área colhida. No Rio Grande do Sul, o arroz ocupa um total de 129 municípios localizados na metade do estado e Santa Catarina com 83 municípios (SOSBAI, 2018; CONAB, 2018; IBGE, 2018).

A crescimento populacional mundial se eleva de forma quase exponencial contribuindo para o aumento da demanda por alimentos, sendo esse aumento cada dia mais relevante, pressionando os diferentes sistemas agrícolas a aumentar a sua produção. No entanto, esta encontra-se ameaçada pela redução da disponibilidade de recursos naturais (RAY *et al.,* 2013; SABESP, 2011). Assim, a presente e a futura segurança alimentar no mundo depende em grande parte do sistema de produção de arroz irrigado (LUO *et al*., 2001). No entanto, como já mencionado, o cultivo de arroz demanda grande quantidade de água em todo o mundo (ANDRADE, 2007;

IRRI, 2002), sendo que, o cultivo de arroz irrigado pode sofrer escassez de água até 2050 (FAO, 2018). Para auxiliar a segurança alimentar, proteger e preservar os recursos hídricos é preciso cuidar e explorar maneiras de usar menor quantidade de água no cultivo do arroz. Vários estudos estão direcionados para o desenvolvimento de tecnologias que permitam economizar água na produção de arroz (IRRI, 2002). Nesse mesmo sentido, um dos principais objetivos do melhoramento genético é o aumento do potencial produtivo e o desenvolvimento de cultivares para diferentes sistemas de cultivo (PIETERS *et al*., 2011).

O incremento de estresses devido a problemas de mudanças climáticas, associado com uma maior demanda de alimentos no mundo decorrente do constante crescimento populacional mundial, a escassez de água e terras férteis para expansão dos cultivos do arroz , vem ameaçando a segurança alimentar, gerando uma demanda por cultivares de arroz mais produtivas, mais resistentes e mais tolerantes às condições adversas (WANG *et al*., 2015; BITA, 2013). Até o momento existem poucos trabalhos de melhoramento genético de arroz para a tolerância ao estresse por falta de água no Brasil, porque é um proceso complexo no desenvolvimento da planta, envolvendo muitos genes nos processos físico-bioquímicos na célula (TRIPATHY *et al*., 2000).

Uma planta entrará em um estado de déficit hídrico quando sua demanda por água não corresponder ao seu abastecimento (PORTELA *et al*., 2015). A tolerância à seca é definida como a capacidade de um dado genótipo germinar, crescer, desenvolver-se e reproduzir-se normalmente com um suprimento limitado de água (HEINEMANN *et al*., 2008). A produção de plantas sob déficit hídrico enfrenta muitas dificuldades, já que vários tipos de estresse abiótico tais como altas e baixas temperaturas, alta irradiação solar e toxicidade ou deficiência de elementos nutricionais, podem influenciar as plantas cultivadas simultaneamente. Um estresse abiótico é um evento complexo, que pode provocar muitos danos em distintos estádios de desenvolvimento da cultura, a qual responde através de diversos mecanismos e combinações para tolerar a condição adversa a qual está submetida. O estresse déficit hídrico não ocorre só quando há pouca água no ambiente, mas também em baixas temperaturas e por alta salinidade do solo. Estas condições são

capazes de induzir uma diminuição da água disponível no citoplasma das células, fenômeno também conhecido como estresse osmótico (CATTIVELLI *et al*., 2008; CASTRO, 2018). Nessa situação o melhorista tem que identificar as plantas tolerantes a seca, sendo um trabalho muito complexo,constituindo-se em um grande desafio (FLEURY *et al*., 2010; REYNOLDS, 2018).

O estresse hídrico é provavelmente um dos estresses ambientais mais comuns que pode afetar vários aspectos fisiológicos da cultura do arroz, como: taxa fotossintética, aumento da fotorrespiração, dias de florescimento e outros componentes agronômicos (JONGDEE *et al*., 2006; JAGADISH *et al*., 2007, CASTRO, 2018).

A escala fenológica do arroz consiste em várias etapas de desenvolvimento como germinação, crescimento, afilhamento, alongamento do colmo, iniciação da panícula, polinização, fertilização, formação dos grãos (COUNCE *et al*., 2000). O estresse causado por deficiência hídrica é prejudicial em qualquer fase da cultura, mas os danos são mais severos nas duas semanas anteriores e durante a fase de florescimento. A falta de água durante essa etapa pode provocar aumento na esterilidade do grão de pólen, redução dos grãos, com grandes perdas na produtividade (JIN *et al*., 2013).

A mutação induzida é uma das estratégias utilizadas em programas de melhoramento genético para gerar variabilidade genética e aumentar a produtividade, podendo ser utilizada para gerar variabilidade em populações não adaptadas a determinadas características ambientais. A indução de mutação é considerada como uma técnica útil para o programa de melhoramento genético quando se pretende melhorar uma ou poucas características sem modificar significativamente o genótipo original (ZIMMER *et al*., 2003; GÓMEZ *et al*., 2010). Em função dos avanços na prospecção de genes e novos genótipos, a geração de mutantes M_3, seguida da sua caracterização agronômica e utilização desses mutantes se constitui em ótima possibilidade para aumentar a produtividade e adaptabilidade.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho agronômico de famílias mutantes de arroz quanto a tolerância ao estresse por déficit hídrico e identificar mutantes superiores tolerantes ao estresse.

Revisão Bibliográfica

2.1 Origem e classificação botânica do arroz

O arroz (*Oryza sativa* L.) pertence ao reino: Plantae, subreino: Tracheobionta, divisão: Magnoliophyta, classe: Liliopsida, subclasse: Commelinidae, ordem: Poales, família: Poaceae, subfamília: Bambusoideae, tribo: Oryzeae, gênero: *Oryza*, espécie: *Oryza sativa*. Quanto a sua morfologia, a planta de arroz pode ser dividida em órgãos vegetativos, compreendendo raízes, colmos e folhas, e órgãos reprodutivos, constituídos pelas flores e frutos (sementes) (MAGALHÃES *et al.*, 2004).

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma planta monocotiledônea, pertencente à família das gramíneas (Poaceae), cujos frutos são comestíveis, classificada no grupo de plantas com sistema fotossintético C3 e adaptada ao ambiente aquático. O cultivo do cereal começou há aproximadamente 10 mil anos, na Ásia tropical e subtropical úmida. A tribo *Oryzae*, que contém o gênero *Oryza*, é composta por 24 espécies, distribuídas em diferentes partes do mundo: Ásia, África, América Central, América do Sul e Austrália. São distribuídas em 10 grupos genômicos, quatro grupos tetraploides (BBCC, CCDD, HHJJ e HHKK) e seis grupos diploides (AA, BB, CC, EE, FF e GG) (revisado por PEGORARO *et al*., 2018; DE OLIVEIRA *et al.*, 2018). Destas espécies, apenas duas são cultivadas, *Oryza glaberrima* Steud, de origem na África e *Oryza sativa* Linneaus, asiática, ambas autógamas e diplóides, com 2n = 24 cromossomos (IRRI, 2002; VAUGHAN *et al*., 2003; MAGALHÃES, 2003).

2.2 Importância econômica do arroz

De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), o continente asiático é responsável por mais de 90% da produção mundial, através da China, Índia, Indonésia, Bangladesh, Vietnã, Tailândia, Mianmar e Filipinas. O consumo médio desses países é elevado, de 78 kg pessoa^{-1} ano^{-1}, enquanto que em países situados na América do Sul o consumo médio fica em torno de 29 kg pessoa^{-1} ano^{-1}, ressaltando o Brasil, que é considerado um

grande produtor e consumidor de arroz, com a média de 32 kg pessoa^{-1} ano^{-1} (SOSBAI, 2018).

O arroz é uma cultura que proporciona muitos empregos aos setores da economia rural dos países onde é cultivado. De fato, é de grande importância, levando-se em conta a quantidade de pessoas que dependem de sua colheita em todo o mundo e a extensão da superfície em que é cultivado (SUAREZ, 2012).

2.3 Desenvolvimento morfológico da planta arroz: estádio vegetativo

Segundo escala fenológica de Counce *et al.* (2000), o desenvolvimento da planta é dividido em três estádios fenológicos: estádio de plântula, que vai da semeadura à emergência da planta; a fase vegetativa, que vai da emergência ao aparecimento da folha bandeira e a fase reprodutiva, que vai da diferenciação da panícula à maturidade fisiológica. O subperíodo vegetativo possui 13 estádios, denominados pela letra V (Vegetativo), que vai da iniciação (V_1) a completa formação da folha bandeira. A escala dos estádios de desenvolvimento é descrita (Figura 1) e aplicada para cultura de arroz irrigado no sul do Brasil (SOSBAI, 2018; COUNCE *et al*., 2000).

Após o estabelecimento, a planta de arroz começa a diferenciar a sua estrutura foliar, formando uma folha em cada nó, de forma alternada no colmo, durante as primeiras quatro a cinco semanas de desenvolvimento, todas as folhas já estão diferenciadas, mas não visíveis externamente, sendo que os números totais de folhas por planta variam com o ciclo da cultivar e a época de semeadura.

A planta começa a emissão de perfilho quando a quarta folha do colmo principal está com o colar formado, correspondendo aproximadamente a três semanas após emergência, podendo o processo de afilhamento durar de quatro a seis semanas, dependendo da época de semeadura e do ciclo da cultivar. Os perfilhos surgem dos nós do colmo em ordem alternada. Essa capacidade de perfilhamento faz com que o arroz tenha resposta elástica a densidade de plantas, podendo compensar baixas densidades pela maior emissão de perfilhos. Essa

capacidade de perfilhamento faz com que o arroz tenha resposta elástica a densidade de plantas, podendo compensar baixas densidades pela maior emissão de perfilhos. A capacidade de perfilhamento depende da cultivar, da densidade de semeadura, da temperatura do solo, da disponibilidade de nitrogênio no solo e da altura da lâmina de água de irrigação, dentre outros fatores (SOSBAI, 2018; COUNCE *et al.,* 2000).

2.4 Desenvolvimento morfológico da planta arroz: estádio reprodutivo

A escala fenológica da planta do arroz juntamente com o número de dias é uma técnica que permite um melhor manejo cultural. Essa escala exige a determinação precisa do momento em que a planta inicia ou atinge um estádio. Para isso, Counce *et al*. (2000), propuseram o subperíodo reprodutivo em 10 estádios, identificados pela letra R (reprodutivo). Esse subperíodo inicia-se quando o meristema apical no primórdio da panícula (R_0) e termina quando os grãos estão completamente formados (R_9) (Figura 2).

A partir da iniciação da panícula, os entre-nós do colmo se alongam rapidamente, a planta cresce a taxas muito elevadas e começa a ser definido o número de espiguetas por panícula. No estádio R_1 ocorre a diferenciação das ramificações da panícula e começa a se expandir dentro do colmo, atingindo seu máximo no emborrachamento da planta, estádio R_2. A ocorrência de condições favoráveis ao desenvolvimento da planta durante os estádios R_0 a R_4 (antese) determina baixa esterilidade de espiguetas, o que resulta em maior número de grãos por panícula. A planta de arroz é autofecundada, com a polinização, ocorrendo primeiro nas flores nas espiguetas situadas na extremidade superior da panícula, seguindo para a base. Na antese, estádio (R_4), a planta atinge sua máxima estatura e área foliar. Condições de luminosidade adequadas no período compreendido entre 20 dias antes e 20 dias após o florescimento, aumenta a taxa fotossintética e consequentemente a produtividade (SOSBAI, 2018).

A duração do subperíodo de formação e enchimento de grãos varia entre 30 e 40 dias, dependendo, principalmente, da variação da temperatura do ar, havendo

pouca influência do ciclo da cultivar. Após a fecundação, os grãos passam pelas fases de grãos leitosos, grãos pastosos e grãos em massa que dura até atingirem a maturação fisiológica. Considera-se maturação fisiológica quando os grãos estão com o máximo acúmulo de massa seca, estando a umidade ao redor de 30%. Durante esse subperíodo está sendo definido o peso do grão.

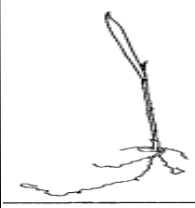
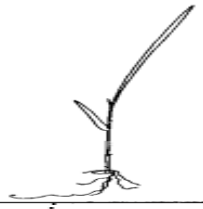
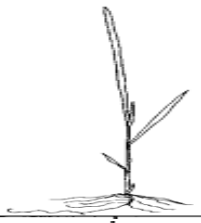
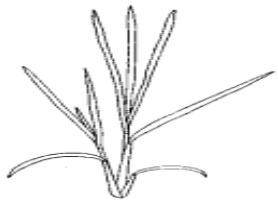
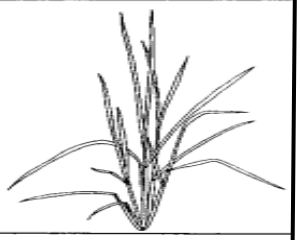
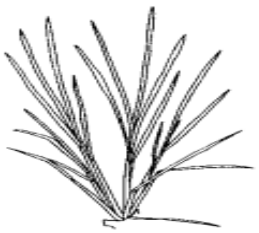
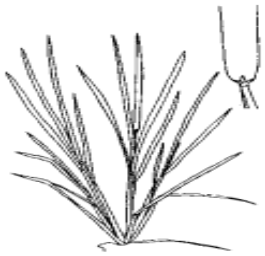
V1	V2	V3	V4	V5
Colar formado na 1ª folha do colmo principal	Colar formado na 2ª folha do colmo principal	Colar formado na 3ª folha do colmo	Colar formado na 4ª folha do colmo principal	Colar formado na 5ª folha do colmo principal
				
V6	**V7**	**V8**	**V9 (V_{F-4})**	
Colar formado na 6ª folha do colmo principal	Colar formado na 7ª folha do colmo principal	Colar formado na 8ª folha do colmo principal	Colar formado na 9ª folha do colmo principal.Faltam 4 folhas para surgir a folha bandeira	
				
V10 (V_{F-3})	**V11 (V_{F-2})**	**V12 (V_{F-1})**	**V13 (V_F)**	
Colar formado na 10ª folha do colmo principal. Faltam 3 folhas para surgir a folha bandeira	Colar formado na 11ª folha do colmo principal. Faltam 2 folhas para surgir a folha bandeira	Colar formado na 12ª folha do colmo principal. Falta 1 folha para surgir a folha bandeira	Colar formado na folha bandeira	
				

Figura 1- Descrição morfológica dos estádios de desenvolvimento vegetativo do arroz.
Fonte: Counce *et al*. (2000).

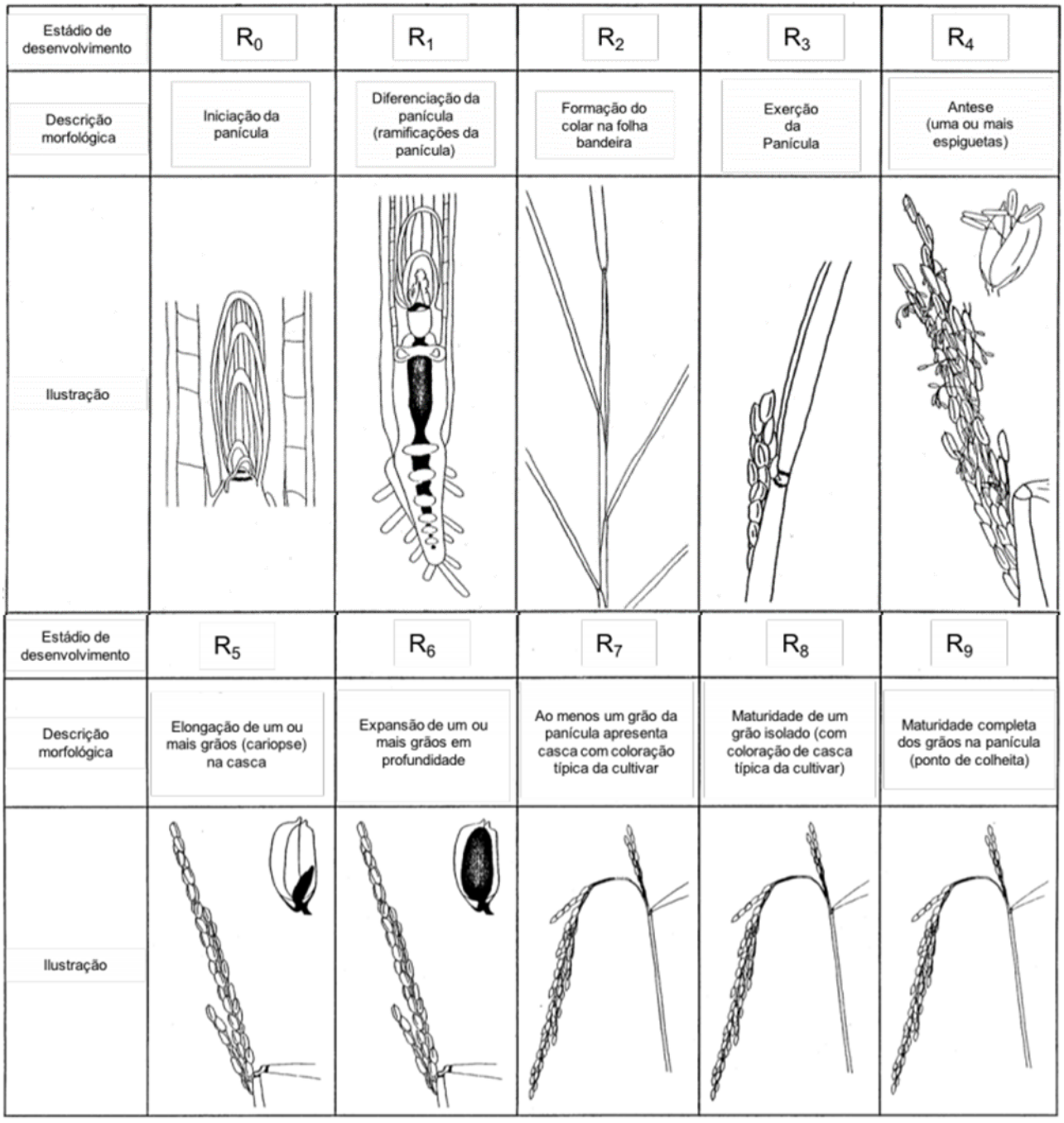


Figura 2- Descrição morfológica dos estádios de desenvolvimento reprodutivo do arroz.
Fonte: Counce *et al*. (2000).

2.5 Conceito estresse sob déficit hídrico

O conceito de estresse nas plantas possui várias interpretações e tem sido definido e discutido há mais de 80 anos na literatura por varios autores (LEVITT, 1980; LICHTENTHALER, 1996, 1988; SELYE, 1936; BUCHANAN *et al.,* 2000; SMITH *et al.,* 2010)

Denomina-se estresse a todas as condições que restrinjam a produção, tais como, deficiência ou excesso de água, luz ou umidade em um curto espaço de tempo, nutrientes ou ação de temperaturas extra-ótimas (LANZA *et al*., 2021; XIE *et al*., 2019). Esses mesmos autores citados consideram o estresse como uma perturbação aplicada ao sistema, estranha ao sistema, ou característica do sistema e aplicada em um nível excessivo. Nesse caso, o estresse é caracterizado, não por seus efeitos de diminuição da produção, mas por sua origem ou intensidade. O estresse é definido como todo fator externo ao indivíduo capaz de induzir uma tensão ou deformação potencialmente danosa no organismo vivo (ANDRADE *et al*., 2018; ARIF *et al*., 2020).

A produção de plantas sob deficit hídrico é um processo complexo, já que vários tipos de estresses abióticos podem ocorrer juntos com a seca e prejudicar ainda mais o desenvolvimento e produção (VOLTAIRE, 2003; JITHESH *et al*., 2006; GAO *et al*., 2007, KATO *et al*., 2008). Altas temperaturas, alta irradiação solar, falta de água e deficiências nutricionais são comumente encontrados em condições normais de crescimento e podem não ser passíveis de manejo por meio de práticas agrícolas convencionais. Certas propriedades do solo, tais como sua composição e estrutura também podem afetar ou desequilibrar fisiologicamente as plantas, em um contexto da relação solo-água-planta (WHITMORE *et al*., 2009).

As plantas têm a capacidade de responder ao estresse por deficit hídrico através de mecanismos celulares e moleculares (SHINOZAKI *et al*., 2007). Produtos gênicos desencadeiam uma sequência de mudanças bioquímicas, fisiológicas e morfológicas (LEI *et al.*, 2013; SCAFARO *et al*., 2011). Um dos principais mecanismos de resposta ao estresse hídrico é a modificação da expressão gênica, relacionada à produção de enzimas-chave na via da síntese de osmólitos, proteínas

com função protetora, enzimas antioxidantes, fatores de transcrição e outras proteínas envolvidas nas respostas ao estresse hídrico (ZHU *et al*., 2002). Osmólitos, principalmente compostos orgânicos de baixo peso molecular, permitem o ajuste osmótico e facilitam a entrada de água na planta (CUSHMAN, 2001).

O deficit hídrico nos tecidos das plantas pode ocorrer com combinações muito variadas de: disponibilidade de água no solo, demanda de vapor da atmosfera e condições estruturais e funcionais da própria planta. Os três grupos de fatores agem de maneira integrada. É necessário ter em mente que a resistência da planta controla o fluxo da água e, portanto, a relação entre absorção e transpiração, intervindo na gênese, manutenção e declínio do deficit. Com igual suprimento de água no solo, o fluxo de transpiração varia, regulado pela resistência estomática, quando a demanda por vapor o determina (ZENG *et al*., 2015; WARAICH *et al*., 2012).Se a disponibilidade de água no solo e a demanda por vapor na atmosfera permanecem essencialmente constantes, o conteúdo de água na planta, que é a sua água em potencial, fica sujeito à resistência das membranas celulares, nos tecidos da raiz. Essa resistência varia sob o efeito de vários fatores, entre os quais, como dito, a temperatura.

Uma vez que o deficit hídrico teve um impacto real em alguma parte da planta, as alterações que serão suportadas por ela começam a ocorrer de acordo com o seu grau de tolerância. Esse grau varia não apenas com o genótipo, mas também com a intensidade e duração do estresse e com o momento em que ele ocorre, dentro dos estádios ontogeneticos do organismo em questão. É muito interessante identificar a natureza dessas alterações, principalmente as que ocorrem imediatamente, pois em períodos mais longos há, em geral, um efeito cascata que amplifica o fenômeno abrangendo praticamente todos os processos fisiológicos (VIDAL *et al.*, 2005; CASTRO *et al*., 2016; LICHTENTHALER, 1996)

O estresse por deficiência hídrica causa vários problemas que afetam de maneira significativa o desenvolvimento da planta e a produtividade. Algumas consequências diretas no cultivos do arroz são o atraso do florescimento e aumento de ciclo, redução da altura das plantas, esterilidade de espiguetas, má emissão de panículas, má formação dos grãos, menor porcentagem de grãos cheios, redução

do peso médio dos grãos, morte de tecidos foliares e redução da produtividade (CASTRO, 2018, FISHER *et al*., 2003, NDJIONDJOP *et al*., 2012).

2.6 Estresse por seca, fotossíntese e clorofila

As clorofilas são pigmentos naturais verdes abundantes, muito comuns em todas as células fotossintéticas e ocorrem nos cloroplastos das folhas e em outros tecidos das plantas, desenvolvendo um papel fundamental na fotossíntese (TAIZ *et al*., 2004; ELBE, 2000). Esses pigmentos respondem à luz, porém se deve salientar que outros fatores do ambiente podem afetá-los (MURCHIE *et al.,* 2005). Dentre esses fatores, está a disponibilidade de água. Nas plantas de arroz, como em praticamente todas as plantas fotossintetizantes, os pigmentos fotossintéticos, incluindo clorofilas a e b, são componentes vitais para a taxa de absorção de CO_2 (PENG *et al*., 2008). A clorofila a é o pigmento verde fotossintético mais abundante presente nas plantas, geralmente usado na fase fotoquímica, enquanto os demais pigmentos são acessórios, como o caso da clorofila b (STREIT *et al*., 2005; MORO *et al*., 2015). As clorofilas a e b apresentam a mesma estrutura química e diferem no carbono C-3, em uma proporção de 3:1, respectivamente. Um grupo metil (-CH3) no carbono três na clorofila a e, na clorofila b um grupo aldeído (-CHO), que substitui o grupo metil-CH3 existente na clorofila a (VON ELBE, 2000).

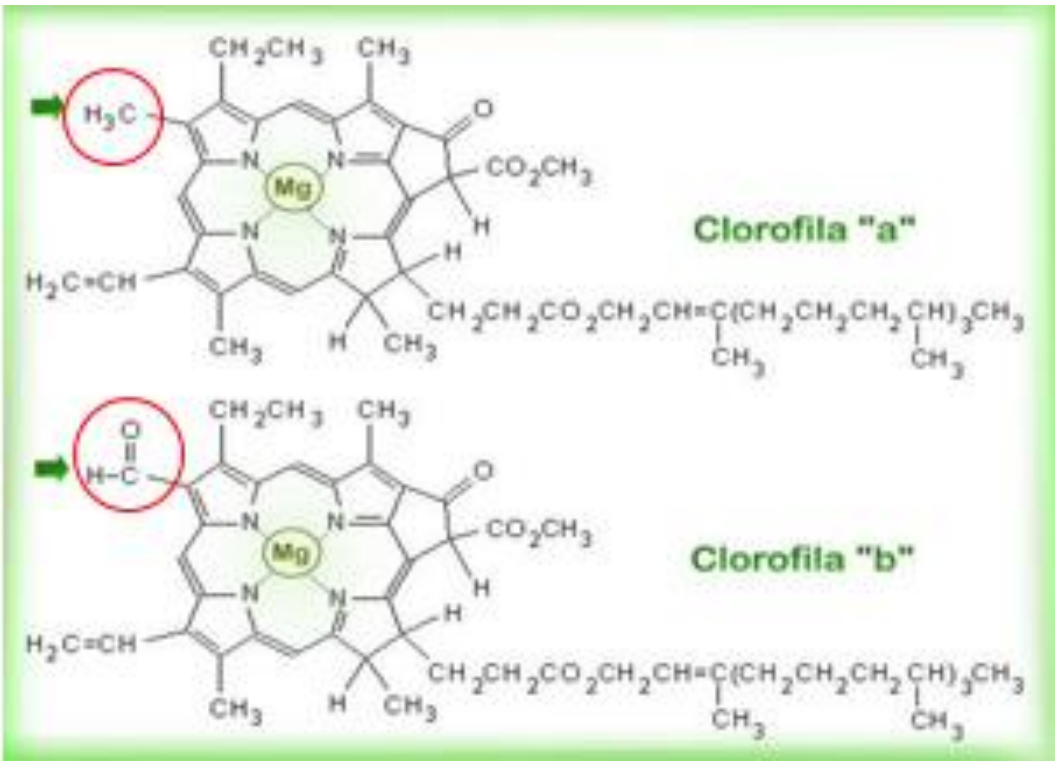


Figura 3- Estrutura química da clorofila a & b
Fonte: TAIZ *et al*. (2004)

Os valores das clorofilas são calculados através da utilização de um equipamento, clorofilômetro, com base na quantidade de luz transmitida pela folha, em dois comprimentos de ondas, com diferentes absorbâncias de clorofila (YAMAMOTO *et al.*, 2002; ZHOU *et al.,* 2003). As regiões de picos de absorbâncias da clorofila apresentam cores azul e vermelho. Absorbâncias baixas localizam-se na região do verde e as absorbâncias extremamente baixas na região infravermelha (HENDRY, 1993).

A planta de arroz realiza fotossíntese durante a exposição solar, logo a absorção de energia é alta e os estômatos estão abertos para captação de CO_2. Estes processos permitem que as folhas percam água em forma de vapor pelos estômatos(WIDODO *et al*., 2003; AZIZ *et al*., 2018).

O estresse por deficiência hídrica é um dos estresses abióticos que pode influenciar as plantas em vários aspectos, tais como, potencial osmótico celular e

propriedades da parede celular, condutividade hídrica dos tecidos. A resposta estomática depende da severidade do estresse nas plantas. As plantas em condições de deficiência hídrica, ou a prévia exposição a período curtos de estresse, podem afetar as relações osmóticas e o comportamento estomático (ARIF *et al*., 2020). Além disso, os estômatos das plantas de arroz têm menor grau de sensibilidade em condições de decréscimo dos potenciais hídricos das folhas, comparado a outros cereais. Isso significa que a seca afeta fortemente a fotossíntese, especialmente em genótipos mais sensíveis ao estresse.

2.7 Aplicação de mutação induzida no melhoramento genético vegetal

O botânico holandês VRIES (1901), define que mutação é qualquer transformação que produza mudanças hereditárias e que reflitam em alterações morfológicas. As mutações podem ocorrer tanto nas células somáticas quanto nas germinativas e podem ser classificadas quanto à origem, em espontâneas e induzidas. Mutações espontâneas ocorrem aleatoriamente em qualquer alelo do DNA de qualquer célula do organismo, sem que ocorra qualquer influência externa ou induzida (TAI, 2001). A ocorrência de mutações espontâneas na natureza é relativamente rara e de difícil identificação por serem na sua maioria recessivas e deletérias (COIMBRA *et al*., 1999). De fato, os mecanismos de proteção do genoma e de reparo de danos ao DNA que as plantas desenvolveram ao longo da evolução fazem com que a frequência de mutações espontâneas seja baixa e aleatória (KIMURA, 2006). A frequência da ocorrência de mutações pode ser aumentada pelo uso agentes mutagênicos, que causam alterações no DNA (SATOH *et al*., 2010; GREENE *et al*., 2003). A mutação induzida pode ser realizada por agente físicos, tais como: raios x, raios gama, ultravioleta, nêutrons, prótons, partículas alfa e beta, iônicos e laser; por agentes químicos, que incluem uma série de substâncias químicas capazes de produzirem mutações, tais como: antibióticos, agentes alquilantes, hidroxilaminas, ácido nitroso, acridinas e por agentes biológicos, como alguns vírus o bactérias.

Os agentes mutagênicos químicos, como metilmetanosulfonato (MMS) e o etilmetanosulfonato (EMS) são intitulados agentes alquilantes, pois adicionam grupos alquil nas bases de Ácido desoxirribonucleico (DNA), mudando a capacidade de pareamento entre elas. Estes agentes provocam um aumento na frequência de substituições de nucleotídeos, pela transferência de radicais alquil para as bases guanina (G) no DNA dando origem a O6-metilguanina, que provoca erro no pareamento. A presença do radical alquil induz o pareamento de Tiamina (T) com Guanina (G), resultando em mutações do tipo transição de Guanina/Citosina para Adenina (A)/Timina (T) (ROGOZIN *et al*., 2001; LUZ, 2011). O produto químico etilmetanosulfonato (EMS) é um agente mutagênico de alta eficiência sendo muito empregado em plantas para indução de mutações,tanto em poliplóides quanto diplóides (LI *et al*., 2019, 2020; MBA *et al*., 2010).

A mutação não é um tema recente, vem sendo estudada há quase um século e o primeiro cultivo comercial obtido através do uso de agentes mutagênicos foi no ano de 1930 (GOMEZ *et al*., 2010). Na Indonésia, por volta de 1936, foi obtido um mutante de tabaco (*Nicotiana tabacum*) que produziu uma folha clara de alta qualidade e rendimento (GOMEZ *et al*., 2010). Desde 1970, várias metodologias de mutações induzidas utilizando raios gama vem sendo desenvolvidas, com o objetivo de modificar o material vegetal, permitindo expandir enormemente a variabilidade genética das espécies cultivadas e o desenvolvimento de variedades com características agronômicas de interesse como: tolerância à condições de estresse, precocidade, resistência às enfermidades, maior capacidade de rendimento e qualidade (GOMEZ *et al*., 2010).

A estratégia de mutação induzida é muito útil em programas de melhoramento genético quando se pretende melhorar uma ou duas características escassas em variabilidade em algum dado germoplasma. Em vários genótipos, a indução de mutações permitiu melhorar diversos atributos como altura, precocidade, produtividade e resistência a determinadas doenças, sem alterar significativamente as principais características do genótipo original (MALUSZYNSKI *et al*., 2000). No caso da cultura do arroz, até o final de abril de 2021, na base de dados da Agência Internacional de Energia Atômica (FAO / IAEA), foi relatado um

total de 853 variedades mutantes, sendo que desse total, 14 cultivares de arroz já foram registradas como apresentando tolerância a seca.

O Brasil possui um total de quatro cultivares mutantes registradas na base de dados da Agência Internacional de Energia Atômica (FAO / IAEA). Dentre essas pode-se citar, IRAT 177, que foi oficialmente aprovada em 1988, sendo um mutante espontâneo selecionado da variedade IRAT 79, obtida por irradiação de sementes com raios gama (250-300 Gy). Dentre os principais atributos melhorados dessa cultivar mutante está o maior perfilhamento. A cultivar mutante SCS114 Andosan foi oficialmente aprovada em 2005. Foi desenvolvida por irradiação de sementes com raios gama (150 Gy). Os seus principais atributos melhorados são rendimento, precocidade e qualidade de grãos. A cultivar de arroz, SCS118 Marques, obtida por irradiação gama a partir da cultivar SCSBRS Tio Taka, foi oficialmente aprovada em 2013. SCS118 Marques apresenta arquitetura moderna, resistência ao acamamento, ciclo de maturação tardio, moderada resistência à brusone, alto potencial produtivo, grãos longos e altíssima qualidade de cozimento. Outra cultivar mutante é o SCS121 CL, que apresenta a tecnologia Clearfield de segunda geração com resistência a herbicidas do grupo das imidazolinonas. A cultivar, que possui tipo de planta moderno, resistência ao acamamento, ciclo de maturação tardia, alto potencial produtivo, grãos longos e boa qualidade de cocção, foi oficialmente aprovada em 2014 (FAO/IAEA, 2020).

2.8 Limitações da produção de arroz de sequeiro

Em todos os países produtores de arroz de sequeiro, são identificadas várias restrições à produção tais como : problemas de manejo agronômico, como o controle de plantas daninhas e arroz vermelho, o período e os manejos de fertilizantes, as épocas e os métodos de semeadura e a época e métodos de preparo do solo; a falta de tolerância estável e duradoura das cultivares disponíveis ao deficit hídrico, causando redução da taxa de crescimento, modificação da taxa fotossintética, redução da produtividade; presença de doenças, como a brusone, que causa grandes perdas em locais específicos, como o branqueamento da folha,

coloração ou descoloração do grão (causada por vários patógenos), o vírus da folha branca e presença de pragas, como *Tagosodes oryzicolus*, a cigarrinha-do-arroz. Essas restrições encontradas no cultivo de arroz de sequeiro, não diferem muito do cultivo em condição irrigada (CIAT, 2010).

2.9 Melhoramento genético do arroz no Brasil

No Brasil, o arroz foi inicialmente cultivado nas Capitanias do Maranhão e Pará. Somente no início do século XX chegou ao sul do Brasil, tendo encontrado a mão de obra dos imigrantes europeus e asiáticos que já cultivavam seus grãos. Nesses estados, especialmente Rio Grande do Sul e Santa Catarina, primeiramente foi priorizado o cultivo de arroz em sequeiro, sendo posteriormente, quase que exclusivo o cultivo da cultura em sistema de irrigação por inundação (MORAIS *et al*., 2006).

Os programas de melhoramento genético da cultura do arroz iniciaram, oficialmente, no Brasil em 1937, tendo como principal objetivo aumentar a produtividade através do desenvolvimento de cultivares superiores, a partir de métodos que possibilitaram a introdução de alelos de resistência à doenças e pragas e tolerância às condições adversas de clima e solo, sempre levando em conta o incremento econômico no cultivo (RAMALHO *et al*., 2012; SILVA, 2016).

Na década de 1980, investiu-se ainda mais no aumento de produtividade do arroz através dos programas de melhoramento genético. Nesse sentido, um grande salto foi dado pela substituição das variedades tradicionais de porte alto, pelas variedades mais baixas e com maior capacidade de produção em curto espaço de tempo, a fim de satisfazer a demanda dos consumidores (BORGES *et al*., 2009).O trabalho de melhoramento genético baseia-se na essência dos processos evolutivos, sendo imprescindível a presença de mutações para a seleção natural e artificial (MARTINS *et al*., 2005).

Protocolo de avaliação da tolerância a seca em genótipos de arroz nos períodos vegetativo e reprodutivo em ambiente protegido *(Shelter)*

3.1 Introdução

No Brasil, o arroz é cultivado em dois ecossistemas predominantes de produção: arroz de sequeiro e irrigado, sendo o último, o mais difundido territorialmente. O sistema irrigado corresponde a 88 % da área total de arroz, sendo apenas 12% cultivada com arroz de sequeiro (CONAB; SOSBAI, 2018).

A segurança alimentar mundial é ameaçada pelas mudanças climáticas, constituindo um dos grandes desafios e mais importantes, do século XXI para o fornecimento de alimentos suficientes para a crescente população (RAY *et al*., 2009). Além disso, a disponibilidade de água será um dos fatores limitantes para a produção agrícola, principalmente a cultura do arroz que é um dos cultivos que requer grande quantidade de água (DESOUZART, 2011; ANDRADE, 2007). De fato, atualmente uma grande parte do total global de água de irrigação é usada na produção de arroz (LUO *et al*., 2001).

Uma das preocupações dos melhoristas é a busca por estratégias mais eficientes para mitigar a insegurança alimentar causada pela escassez de água (HUANG *et al*., 2007). Nesse sentido, dentre os objetivos de um programa melhoramento está o desenvolvimento de variedades que tenham características favoráveis, como bom potencial de rendimento frente a uma ampla gama de fatores adversos que estressam a cultura, como patógenos, insetos, plantas daninhas e outros fatores ambientais, tais como, baixa radiação solar, altas e baixas temperaturas. Uma alternativa para a escassez de água, é o cultivo de arroz em sequeiro, o qual, entretanto, predispõe as plantas ao estresse causado pela ocorrência de deficit hídrico. Nesse sentido a avaliação de genótipos de arroz para tolerância à seca é de grande importância para contornar o problema. A investigação de plantas de arroz em resposta ao estresse hídrico e identificação de mecanismos de tolerância à seca para o desenvolvimento de cultivares adaptadas à seca pode ser considerada como uma alternativa para o futuro (DEGENKOLBE *et al*., 2009).

Recentemente, vários sistemas de cultivo de arroz foram desenvolvidos com o objetivo de reduzir a quantidade de água fornecida em sistemas convencionais de produção de arroz de terras baixas. Dentre esses estão a irrigação controlada ou irrigação em solo úmido, na qual o conteúdo de água no solo é mantido alto, mas sem manter uma camada de água parada (LIU *et al*., 2000). É importante destacar que a tolerância à deficiência hídrica é uma característica cujo controle genético é complexo e de difícil avaliação. No arroz, existe variabilidade genética para diferentes mecanismos de tolerância ao estresse por deficiência hídrica (PINHEIRO *et al*., 2006). O programa de melhoramento genético de arroz de terras baixas pode contribuir para o incremento da tolerância e minimizar os impactos ambientais. O desenvolvimento de cultivares de arroz tolerantes com ampla adaptação a diversidade local e temporal, através de programas de melhoramento, é uma das estratégias mais promissoras para a minimização do problema e representa um dos desafios dos programas de melhoramento de arroz de terras baixas do Brasil e no mundo. Entretanto, apesar dos progressos já alcançados, existe a contínua necessidade do desenvolvimento de novos genótipos promissores. O objetivo deste trabalho foi estudar, sob regime de deficit hídrico, o desempenho relativo de cultivares de arroz contrastantes quanto a tolerância ao estresse visando estabelecer um protocolo de avaliação para estudos de tolerância a seca.

3.2 Material e métodos

Inicialmente, deve ser mencionado que o presente estudo é resultado de um projeto de pesquisa gerido pela FAO/IAEA. Assim, muitos dos métodos aplicados se tratam de protocolos previamente estabelecidos em reuniões técnico-científicas do comitê gestor.

O presente trabalho foi conduzido à campo, safra 2018/2019, na Estação Experimental Terras baixas, pertencente à Embrapa Clima Temperado, localizada no município de Capão do Leão/RS (Latitude: $31^{0}48'59''$, Longitude: $52^{0}27'48''$, Altitude: 13,24 metros). O local é caracterizada por um Planossolo Háplico Eutrófico

solódico. O experimento foi conduzido utilizando o delineamento de blocos ao acaso, com três repetições, sendo que cada repetição foi constituída por uma linha de 0,5 m, espaçada em 0,20 m. A densidade de semeadura foi de 60 sementes por linha. Foram utilizadas quatro (4) cultivares de arroz, duas irrigadas (BRS Pampeira e IRGA 424). A cultivar BRS Pampeira foi lançada no ano 2016, originou-se de cruzamento simples, envolvendo a variedade IR 22 (genitor feminino) e a linhagem CNA 8502.Possui ciclo biológico ao redor de 133 dias da emergência à maturação,sendo classificada como cultivar de ciclo médio para o RS.Apresenta estatura de 95 cm. As plantas são do tipo moderno,de alta capacidade de perfilhamento e folha pilosas. Os grãos são longo-fino,do tipo “agulhinha”,com rendimento de inteiros superior a 62%,baixa incidência de centro-branco e textura solta e macia após a cocção. Destaca-se quando à produtividade de grãos com potencial acima de 10 ton/ha,tolerância ao acamamento e resistência à doenças.Apresenta excelente qualidade de grãos no que tange às caracteristicas industriais e culinárias (SOSBAI,2018). A cultivar IRGA 424 com ciclo ao redor 103 dias de florescimento, com alto potencial produtivo e boa qualidade industrial e de cocção dos grãos, exceto o índice de centro branco, que é considerado intermediário. Apresenta ciclo médio, porte baixo e folhas pilosas. Possui tolerância à toxidez por excesso de ferro e é resistente à brusone. Essa cultivar é especialmente indicada para cultivo nas regiões da zona sul e campanha, onde apresenta boa adaptação às condições de temperatura média baixa, porém mostra excelente desempenho também nas demais regiões do Estado do RS (SOSBAI,2018).Duas tolerantes (BRSGO Serra Dourada e BRS Esmeralda) ao estresse por seca. BRSGO Serra Dourada resultou de um cruzamento biparental que foi feito em 1995 na Embrapa Arroz e Feijão, envolvendo Katy, uma linha americana de arroz irrigado, como genitora feminina, e Confiança, uma cultivar brasileira de arroz de terras altas, como genitor masculino. O Confiança resultou do cruzamento do IAC 164 e do Rio Verde. BRSGO Serra Dourada conhecida por seu alto nível de tolerância à seca, possui ciclo biológico ao redor de 77 dias da emergência até a floração e cultivar BRS Esmeralda é oriunda de um cruzamento simples, envolvendo a linhagem CNA 4909-68-MM2-PY2 e a cultivar BRS

Primavera. O cruzamento foi realizado em 1997 e recebeu a denominação de CNAx 7100. BRS Esmeralda apresenta maior tolerância ao estresse hídrico, com presença de *stay green* (senescência tardia), que reduz o risco de acamamento. O ciclo médio da emergência à maturação, varia de 105 a 110 dias. Esses genótipos foram avaliados na condição de estresse por deficiência hídrica no período vegetativo e reprodutivo, assim como, na condição controle (sem restrição de água), com o objetivo de estudar as variáveis resposta em termos de desempenho relativo.

A adubação de plantio foi aplicada um total de 300 Kg ha^{-1} com fórmula N-P-K nas proporções de 5-20-20 de N, P_2O_5, K_2O, respectivamente . As adubações de N em cobertura foram feitas a lanço, aos 23 e 60 dias após de emergências, tendo-se utilizado 180 kg ha^{-1} e 90 Kg ha^{-1} na proporção de 45% de N, na forma de ureia, conforme as recomendações técnicas para cultura do arroz irrigado (SOSBAI, 2018).

Durante o desenvolvimento da cultura, nos diferentes estádios, as plantas foram mantidas em um ambiente protegido das precipitações (shelter), com a finalidade de proteger as plantas da chuva e permitir o tratamento de restrição hídrica. Para o monitoramento da tensão de água do solo foram utilizados tensiômetros instalados a 0,10 e 0,15 m de profundidade. No período vegetativo, o estresse por deficit hídrico foi iniciado no estádio V_3 (COUNCE *et al*., 2000), através da suspensão da irrigação, até a tensão do solo atingir 50kPa e continuado por um período de 10 dias. As caraterísticas avaliadas no estadio vegetativo (V_3) foram: comprimento de raiz (CR), comprimento de parte aérea (CPA), número de folhas (NFOL), número de afilhos (NAFIL), massa seca de parte aérea (MSAR), massa seca de raiz (MSRA).

No estádio reprodutivo, a avaliação da resposta das plantas ao estresse por deficit hídrico foi realizada no estádio R_0 (Iniciação da panícula) (COUNCE *et al*., 2000), através da suspensão da irrigação, até a tensão do solo atingir 50kPa e continuado por um período de 10 dias, sendo que após esse período as plantas foram submetidas novamente ao sistema de irrigação por inundação. Foram avaliadas as seguintes variáveis: altura de planta (ALT), índice de clorofila (CLO),

flavonoides (FLAV), índice de balanço de nitrogênio (IBN), número de colmos (NC), número de panículas (NPAN), peso de panícula (PPAN), comprimento de panícula (CPAN), número de grãos cheios (NGC), número de grãos vazios (NGV) e peso de 1000 grãos (PG).

As medições de clorofila foram realizadas na área central da folha bandeira de cinco plantas ao acaso. As leituras foram feitas utilizando clorofilômetro (modelo Dualex FORCE-A, Orsay, France).

Para a comparação de médias das variáveis analisadas, foi feito o desempenho relativo (DR) comparando as plantas sob estresse por seca em relação as plantas sem estresse (controle), de acordo com a equação:

DR= (X estresse por seca / X controle).100, onde x, representa o valor observado. Atendidos os pressupostos da análise de variância, os dados foram submetidos à análise de variância e a comparação entre as médias foi realizada pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas com a utilização do programa computacional SAS (SAS INSTITUTE INC, 1999).

3.3 Resultados e discussão

Os resultados da análise de variância (Tabela 1) para o desempenho relativo demonstraram diferenças significativas pelo teste F ($p \leq 0,05$) entre as cultivares, para as variáveis avaliadas no estadio vegetativo, exceto para a variável número de folhas (NFOL), massa seca de parte aérea (MSAR) e massa seca de raiz (MSRA).

Tabela 1- Análise de variância para o desempenho relativo dos caracteres comprimento de raiz (CR), comprimento de parte aérea (CPA), número de folhas (NFOL), número afilhos (NAFIL), massa seca de parte aérea (MSAR) e massa seca de raiz (MSRA) de quarto genótipos de arroz sob condições de deficiência hídrica no período vegetativo. CGF/UFPEL, 2018/2019.

F.V.	**GL**.	**Quadrado Médio**					
		CR	**CPA**	**NFOL**	**NAFIL**	**MSAR**	**MSRA**
Genótipos	3	867,20*	475,95*	507,07	229,61*	813,82	779,521
Blocos	2	627,8	26,89	207,6	28,27	565,34	842,6
CV%	-	18,47	14,55	20,92	15,5	72,85	68,96

*Valores significativos (p≤0,05) pelo teste F; FV=Fonte de Variação; GL= Graus de Liberdade; CV%= Coeficiente de Variação.

As médias de desempenho relativo dos genótipos para as variáveis de comprimento de raiz, comprimento de parte aérea e número afilhos demonstraram respostas distintas frente ao estresse por seca (Tabela 2). Para variável comprimento de raíz o genótipo IRGA 424 apresentou um desempenho superior aos demais genótipos. Já para a variável comprimento de parte aérea, o genótipo BRS Esmeralda apresentou maior média, porém não diferindo do genótipo IRGA 424. Finalmente, para a variável número de afilhos o genótipo BRS Pampeira apresentou desempenho superior comparado aos demais genótipos. Assim, tomando esses resultados em conjunto, não é possível diferenciar claramente as cultivares irrigadas e tolerantes ao estresse por seca nas condições estudadas. Nesse trabalho os genótipos sensíveis apresentaram um desempenho superior ou igual aos tolerantes. Isto permite inferir que o estresse por 10 dias não foi suficiente para discriminar adequadamente as melhores cultivares.

Tabela 2- Médias de desempenho relativo (DR) de quatro genótipos de arroz sob condições de deficiência hídrica no período vegetativo. CGF/UFPEL, 2018/2019.

Genótipos	CR	CPA	NFOL	NAFIL	MSAR	MSRA
BRS Pampeira	62,00* AB	57,56 AB	45,73 A	46,09 A	44,42 A	55,64 A
IRGA 424	83,75 A	53,80 AB	61,01 A	29,49 B	45,17 A	51,96 A
BRSGO Serra Dourada	46,04 B	45,72 B	38,15 A	26,19 B	12,60 A	21,41 A
BRS Esmeralda	78,09 AB	75,53 A	66,03 A	35,55 AB	46,84 A	52,88 A
Média geral	**67,47**	**58,15**	**52,73**	**34,33**	**37,25**	**45,47**

***** Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Os resultados da análise de variância permitem evidenciar que não ocorreram diferenças significativas entre as médias de desempenho dos genótipos para todos os caracteres avaliados no estádio reprodutivo (Tabela 3).

A ocorrência de deficit hídrico é prejudicial em todas as fases, e o período mais crítico é na fase reprodutiva, sendo o período do florescimento o mais prejudicial. A falta de água nessa época provoca esterilidade ou má formação das espiguetas, com grande reflexo na produtividade (MOREIRA *et al.,* 1999; ANDRADE *et al*., 2018). Esses resultados podem estar relacionados ao curto período de tempo no qual as plantas foram submetidas ao estresse por seca, e/ou também a tensão de água no solo pode ter sido insuficiente para causar estresse nas plantas. Ainda, a variação de resposta causada por este estresse num fator tão essencial como a água foi grande para o nível de precisão experimental aplicado, devendo ser utilizado um maior número de repetições.

Tabela 3-Análise de variância para o desempenho relativo (DR) para os caracteres índice de clorofila (CHLO), índice de balanço do nitrogênio (NBI), flavonoides (FLAV), altura de planta (ALT), comprimento de panícula (CPAN), peso de panícula (PPAN), número de panículas (NPAN), número grãos cheios (NGCH), peso de 1000 grãos (PMG) de quatro genótipos de arroz submetidos ao estresse por seca no estádio reprodutivo. CGF/UFPEL, 2018/2019.

F.V	GL.	Quadrado Médio								
		CHLO	**NBI**	**FLAV**	**ALT**	**CPAN**	**PPAN**	**NPAN**	**NGCH**	**PMG**
Genótipos	3	109,07	226,19	24,48	105,26	8446	2235,46	478,87	1195,74	30,83
Blocos	2	437,12	161,9	249,73*	163,17	6891	1500,66	1134,71	207,88	12,59
CV%		**11,67**	**10,36**	**7,42**	**6,47**	**5,35**	**25,75**	**25,02**	**18,92**	**3,26**

*Valores significativos (p≤0,05) pelo teste F; FV=Fonte de Variação;GL= Graus de Liberdade; CV%= Coeficiente de Variação.

Apesar da tensão de 50 Kpa já ter sido utilizada em diversos estudos de tolerância à seca em arroz, sugere-se que para as demais condições aqui estudadas, isto é tipo de solo, clima (neste caso, excluindo-se precipitações, das quais as parcelas foram protegidas, mas incluindo temperatura, umidade relativa do ar e nebulosidade), esta tensão de água no solo tenha sido insuficiente para causar estresse significativo nas plantas que permitisse distinguir os genótipos. Ou ainda, o período de somente 10 dias de estresse pode ter sido insuficiente.

Diversos avanços foram alcançados em diferentes instituições de pesquisa em termos de ferramentas e métodos na busca para compreender os mecanismos genéticos da tolerância à seca nas plantas cultivadas (MIR *et al*., 2012). Entretanto, é inegável que o primeiro passo é o desenvolvimento de métodos simples e precisos para a identificação de genótipos tolerantes.

Os longos anos de cultivo, em condições de sequeiro, das variedades tradicionais de arroz no Brasil,muitas delas introduzidas na época do descobrimento do País (RANGEL *et al*., 2013), levaram a sua adaptação a este ambiente, com acúmulo de alelos que as permitem suportar esse estresse hídrico. Dessa maneira com o suporte de várias instituições de pesquisa de programas de melhoramento genético no Brasil é possível a obtenção de variedades com capacidade de adaptação as condições estresse por deficiência hídrica.

3.4 Conclusão

Não foi possível identificar diferenças entre os genótipos contrastantes quanto a tolerância a seca tanto no período vegetativo quanto no período reprodutivo, dessa maneira o protocolo estabelecido no trabalho, com a precisão experimental utilizada, é ineficiente para distinguir genótipos de arroz tolerantes e sensíveis ao deficit hídrico .

Caracterização de famílias mutantes M_3 de arroz para tolerância ao estresse por seca

4.1 Introdução

A mutação é a matéria-prima para a evolução e também um elemento fundamental para o avanço de programas de melhoramento genético, podendo ocorrer espontaneamente na natureza ou ser induzida por agentes mutagênicos (FAO/IAEA, 2018). No Brasil, a mutação induzida tem sido utilizada com grande sucesso por diferentes programas de melhoramento para produzir novas cultivares. De fato, é uma técnica importante, gerando centenas de cultivares no mundo. O mecanismo mais usado para promover a mutação induzida em arroz é o tratamento de sementes com raios gama e radiações ionizantes (TULMAN *et al*., 2011; QOSIM *et al*., 2011).

A seleção de linhagens mutantes de arroz tolerantes à seca é reconhecida como uma das estratégias mais eficientes para mitigar a insegurança alimentar causada pela escassez de água no mundo (HUANG *et al*., 2007). A melhoria na estabilidade da produção em ambientes propensos ao deficit hídrico é de grande importância e pode ser feita por meio da identificação das características que possam contribuir para a tolerância à seca (BABU *et al*., 2003). Características responsáveis pela tolerância à seca em arroz estão relacionadas à capacidade de uso moderado de água pelas plantas, à redução na área foliar e à habilidade das raízes em explorar camadas mais profundas do solo (UGA *et al*., 2013), dentre outras.

A tolerância a seca tem sido um alvo em programas de melhoramento de arroz ao redor do mundo, especialmente, arroz de sequeiro. Nesses programas, além da tolerância a este estresse, busca-se o melhoramento para outros caracteres, incluindo o potencial produtivo. Dentre as diversas abordagens possíveis de serem aplicadas com este fim, está a indução de mutação, a qual pode ser realizada de diversas formas (AHLOOWALIA *et al*., 2004). Nesse sentido, em programas de melhoramento que utilizam a indução de mutação, a caracterização das linhagens mutantes obtidas é essencial, visando a seleção de indivíduos superiores. Estudos tem sugerido a possibilidade de utilizar alguns indicadores simples, como a avaliação da germinação e crescimento inicial, assim como o

desempenho produtivo para identificação de linhagens com tolerância ao estresse (CRISTO *et al*., 2017).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade genética e identificar famílias mutantes de arroz tolerantes ao estresse por seca em Em ambiente protejido.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Obtenção dos mutantes

A obtenção das famílias mutantes teve início através do tratamento de sementes da cultivar elite brasileira BRS Pampeira (Embrapa Clima Temperado). Para tanto, uma amostra de sementes foi enviada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura - Universidade de São Paulo (CENA / USP) para a irradiação com raios gama (60Co). O tratamento foi constituído de duas amostras de 500 gramas tratadas com duas doses de raios gama: 250 e 300 Grays (Gy).

As sementes tratadas (250 e 300 Gy) foram semeadas em novembro de 2017, para avanço de geração em campo experimental da Estação Terras Baixas/Embrapa Clima Temperado.

4.2.2 Avanço de geração

Para o avanço de geração, a panícula primária, de 1000 plantas, em M_1, de cada dose de radiação, foi identificada e colhida separadamente. Assim sendo, 2.000 plantas foram amostradas em M_1. Após a colheita, as panículas foram colocadas para secar a 35°C em estufa com circulação forçada de ar e posteriormente foi realizada a trilha, preparo e identificação das sementes para o avanço de nova geração. Desse modo, em novembro de 2018, foi realizada a semeadura de 2000 linhas mutantes da geração M_2 ($M_{1:2}$) referentes às doses de 250 e 300 Gy. Posteriormente foi realizada a colheita e trilha de aproximadamente 4.700 plantas mutantes (250 e 300Gy), as quais foram, em seguida, novamente cultivadas em linha na sequência do projeto à campo. Desse grupo maior, foram

selecionadas, aleatoriamente, 294 linhagens em geração M_3, para compôr esse trabalho.

4.2.3 Experimento de campo

O experimento foi conduzido à campo em ambiente controlado, de dezembro de 2019 a junho de 2020, na estação experimental Embrapa Terras Baixas, da Embrapa Clima Temperado, localizada no município de Capão do Leão-RS. Já a avaliação das plantas colhidas foi realizada na sala de avaliação de caracteres agronômicos do Centro de Genômica e Fitomelhoramento (CGF), da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), também localizada no município de Capão do Leão - RS. Foram avaliados no experimento um total de 294 famílias mutantes, em geração M_3, sendo 148 obtidas utilizando a dose de 250 Gy e 146 obtidas através da dose de 300 Gy.

A unidade experimental se constituiu em uma linha de 0,5 metro de comprimento, as quais foram espaçadas em 0,20 m, em uma densidade de 60 sementes por linha (ajuste da germinação das sementes para a obtenção de uma densidade recomendada de aproximadamente 300 plantas m^{-2}). O delineamento experimental utilizado foi de blocos aumentados de Federer, utilizando como testemunha intercalar a cultivar BRS Pampeira, disposta a cada 15 famílias mutantes. As adubações de cobertura foram feitas a lanço, aos 23 e 60 dias após a emergência, tendo-se utilizado 180 kg ha^{-1} e 90 Kg ha^{-1} na proporção de 45% de N, na forma de ureia. A adubação, assim como todo o manejo agronômico, seguiram as recomendações técnicas para cultura do arroz irrigado (SOSBAI, 2018).

Durante o desenvolvimento da cultura, no estádio reprodutivo, as plantas foram mantidas em um ambiente protegido (*rainout shelter*) com a finalidade de proteger as plantas da chuva e permitir o tratamento de restrição hídrica (Figura 4). Para o monitoramento da tensão de água do solo foram utilizados tensiômetros instalados a 0,10 m e 0,15 m de profundidade . O estresse por deficit hídrico foi inicio do estádio reprodutivo R_2 (emborrachamento) até dez dias após R_4 (antese) (escala de desenvolvimento de COUNCE *et al*., 2000), através da suspensão da

irrigação, utilizando tensão do solo a 100 kPa. Esse período foi determinado através de reuniões técnicas com o Comitê que gere o projeto (FAO / IAEA). Antes e após esse período de estresse hídrico, a irrigação se deu por inundação, como recomendado para a região sul do Brasil. A testemunha BRS Pampeira foi cultivada tanto na condição de estresse por seca, como na condição controle, sob irrigação por inundação (e mesmo assim, sob o *shelter*, evitando erros de comparação por outros fatores, como temperatura).

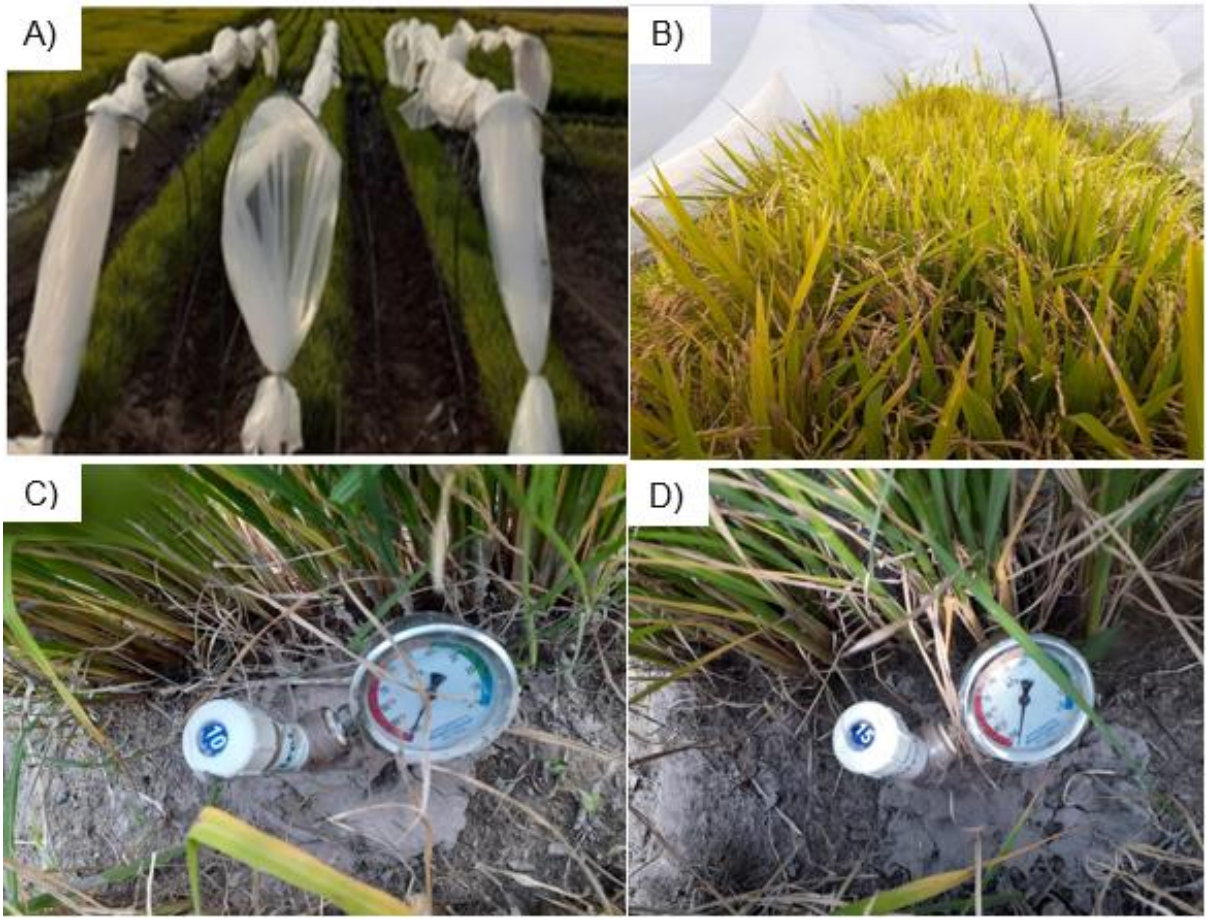


Figura 4- A – Estrutura pronta, aguardando o estádio das plantas para iniciar o estresse; B – Cobertura fechada indicando o estresse por seca em curso;C-Tensiômetros instalados a 10 cm ;D-Tensiômetros instalados a 15 cm de profundidade. CGF/UFPEL, 2020.

4.2.4 Caracteres morfológicos avaliados

Foram avaliados os seguintes caracteres nas famílias mutantes de arroz:

Nota de sintoma de estresse (NE): obtida através da observação das plantas durante o período de estresse por deficiência hídrica. Os sintomas de estresse foram determinados por meio de escala de notas, escala de zero a nove, sendo zero, correspondente a ausência de murcha ou estresse; dois, para folhas ligeiramente enroladas; três e quarto, para folhas enroladas em forma V; cinco e seis, para folhas enroladas em forma U; sete e oito para folhas enroladas em forma O; e nove para folhas altamente enroladas com aspecto de palha seca (IRRI, 2002).

Número de afilhos (NA): obtido através da contagem do número de afilhos por linha de 0,5 m, sendo o resultados expresso em unidades (uni).

Dias para o florescimento (DFL): número de dias ocorridos da emergência até o florescimento de 50% das panículas, sendo o resultado expresso em dias.

Altura de planta (ALT): medida da superfície do solo até a extremidade da panícula, obtida através de uma régua graduada, no período de enchimento dos grãos, sendo os resultados expressos em centímetros (cm).

Comprimento da panícula (CPA): obtido através da distância da base da panícula à ponta da última espigueta, obtida através de uma régua graduada,medindo-se 10 panículas de cada linha,sendo os resultados expressos em centímetros (cm).

Número de panículas por linha (NPL): obtido através da contagem do número de panículas viáveis por linha, sendo os resultados expressos em unidades (uni).

Peso de panícula (PPAN): obtidas através da pesagem 10 panículas de cada linha com uma balança de precisão, sendo os resultados expressos em gramas (g).

Número espiguetas férteis por panícula (NEF): obtidos através a contagem manual de número de espiguetas férteis em cada panícula, desconsiderando as epiguetas estéreis, sendo os resultados expresso em unidades(uni).

Número de espiguetas estéreis por panícula (NEE): obtidos através do cálculo após a trilhagem manual do número de espiguetas estéreis em cada panícula, considerando o total dos mesmos, sendo os resultados expressos em unidades (uni).

Produtividade de grãos (PROD): foi calculada a partir dos componentes de número de panículas por linha, número de grãos cheios por panícula e peso de 100 grãos. A seguir o valor foi convertido à quilos por hectare. Algumas linhagens apresentaram esterilidade total e para outras a produtividade não pôde ser estimada, ao passo que a variável peso de 100 grãos não pode ser avaliada pela escassez de grãos. Essas linhagens foram classificadas como produzindo pequena quantidade, porém não totalmente estéreis, cuja distinção foi considerada importante, dentro do escopo da pesquisa.

4.2.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a uma análise descritiva e obteve-se a distribuição de frequências para cada caráter, média da população (POP); média da testemunha BRS Pampeira com estresse (PE); média da cv. BRS Pampeira sem estresse (controle) (PC); Valor mínimo (V.min.); Valor máximo (V.máx.); Desvio padrão (DP); Coeficiente de assimetria (S); Curtose (K) e Coeficiente de variação (CV %).

Todas as análises foram realizadas através da adoção do pacote estatístico SAS V.8 (SAS SOFTWARE, 1999) e para a plotagem das figuras foi utilizado o programa Microsoft® Office Excel 2013.

4.3 Resultados e discussão

Neste trabalho foram realizadas análises estatísticas descritivas como ferramenta para elucidar o comportamento geral das linhagens mutantes em termos de variabilidade genética, identificando também, linhagens superiores, com tolerância a seca. Diante disso, os coeficientes de assimetria (S) e curtose (K) são

utilizados como ferramenta em análises descritivas de distribuição de frequências, e permitem classificar as distribuições conforme a disposição das observações perante a curva normal. Já o uso do coeficiente de variação permite conferir a existência de variabilidade genética em populações, representado pela disposição das observações em torno da média (CARVALHO *et al*., 2004).

Os valores de referência adotados para o coeficiente de assimetria foram: S =0, (distribuição simétrica,média,mediana no centro),S < 0, (distribuição assimétrica à esquerda) e S > 0 (distribuição assimétrica à direita). Quanto ao coeficiente de curtose, os valores de referência foram: K= 0 (distribuição mesocúrtica), K> 0 (distribuição leptocúrtica) e K< 0 (distribuição platicúrtica), segundo a metodologia proposta por CRUZ (2006).

Diversas classificações foram sugeridas para culturas como pimenta (SILVA *et al*., 2011), mamoeiro (FERREIRA *et al*., 2016), milho pipoca (ARNHOLD *et al*.,2011), milho comum (SCAPIM *et al*., 1995), entre outros. No entanto, a classificação mais usual em programas de melhoramento, ainda segue sendo a proposta por Gomes (1990), considerado coeficente de variação baixo, quando inferior a 10%; médio, entre 10 e 20%; alto, entre 20 e 30%; e muito alto, quando superior a 30%.

Nas Tabelas 4 e 5 são apresentados os resultados da análise estatística descritiva de 148 famílias mutantes M_3 na dose de 250 Gys e de 146 famílias na dose de 300 Gys, derivadas da cultivar BRS Pampeira, para os caracteres: nota de sintoma de estresse (NE), número de afilhos (NA), dias para o florescimento (DFL), altura de planta (ALT), comprimento de panícula (CPA), número de panículas por linha (NPL), peso de panícula (PPAN), número espiguetas férteis por panícula (NEF), número de espiguetas estéreis por panícula (NEE) e produtividade (PROD) submetidas ao estresse por deficiência hídrica no período reprodutivo. No presente estudo, o coeficiente de variação é outra medida de variabilidade, e não de precisão experimental, devido ao delineamento utilizado. Pode-se observar a única variável que apresentou coeficiente de variação alto foi nota de sintoma de estresse. Cabe salientar que as famílias mutantes na dose de 250 grays apresentaram alta homogeneidade entre as variáveis estudadas (Tabela 4).

Tabela 4-Estatística descritiva dos caracteres agronômicos avaliados em famílias mutantes de arroz M_3 (Dose 250 Grays) e a média da cultivar BRS Pampeira. CGF/UFPEL, 2019/2020.

Famílias mutantes (Dose 250 Grays)									
Caracteres	**POP**	**PE**	**PC**	**V.mín.**	**V.max.**	**DP**	**S**	**K**	**CV (%)**
NE	3,93	5,77	1,00	1.00	9.00	2,34	0,21	-1,03	59,60
NA	96,55	97,24	167,28	54.00	167,28	21,04	0,39	0,10	21,79
DFL	117,66	120.00	97.00	97,00	143.00	7,78	1,90	4,46	6,61
ALT	68,32	66,57	71,06	46,10	82,90	6,81	-0,75	1,18	9,98
CPA	22,85	22,38	25,83	14,26	26,70	1,98	-1,86	8,14	7,38
NPL	91,43	96,78	142,33	43,00	142,33	16,74	-0,04	0,31	18,31
PPAN	0,74	0,64	1,27	0,27	1,61	0,25	1,40	2,54	33,83
NEE	81,69	88,44	72,16	25,70	129,50	21,27	-0,63	-0,02	26,04
NEF	13,64	12,63	36,10	1,34	43,90	11,57	0,93	-0,15	84,80
PROD	1166,60	2469,10	12845,30	0,00	12845,00	2405,98	2,19	4,69	206,23

POP= Média da população; PE= Média de cv. BRS Pampeira com estresse; PC=. Média da cv. BRS Pampeira sem estresse (controle); V.min. = Valor mínimo; V.máx.= Valor máximo; DP=Desvio padrão; S=Coeficiente de assimetria; k=Curtose; CV (%)=Coeficiente de variação; NE=Nota de sintoma de estresse (visual); NA= Número de afilhos; DFL= Dias para o florescimento (dias); ALT=Altura de planta (cm); CPA= Comprimento de panícula (cm); NPL=Número de panículas por linha, PPAN=Peso de panícula (g); NEE=Número de espiguetas estéreis por panícula (uni);NEF=Número de espiguetas férteis por panícula (uni) ;PROD = Produtividade.

Tabela 5-Estatística descritiva dos caracteres agronômicos avaliados em famílias mutantes de arroz M_3 (Dose 300 Grays) e a média da cultivar BRS Pampeira. CGF/UFPEL, 2019/2020.

Famílias mutantes (Dose 300 Grays)									
Caracteres	**POP**	**PE**	**PC**	**V.mín.**	**V.max.**	**DP**	**S**	**K**	**CV (%)**
NE	5,14	6,80	1,00	1.00	9.00	1,64	0,08	0,07	32,04
NA	102,25	107,50	167,28	67.00	167,28	17,33	0,56	0,91	16,24
DFL	124,9	123.00	97.00	112.00	143.00	11,52	0,79	-0,89	9,22
ALT	58,88	59,83	71,06	33,60	79,90	8,70	-0,41	0,16	14,78
CPA	21,62	21,50	25,83	13,80	25,83	2,00	-1,65	3,66	9,29
NPL	93,51	94,40	142,33	43.00	142,33	16,99	-0,12	0,36	18,17
PPAN	0,58	0,61	1,27	0,15	4,46	0,23	1,57	2,76	39,94
NEE	82,29	83,87	72,16	32,30	141,20	18,18	-0,12	0,55	22,10
NEF	10,34	9,70	36,10	1,00	44,20	10,65	1,61	1,74	103,02
PROD	704,60	2051,10	12845,30	0,00	12845,00	2188,60	3,72	14,35	310,60

POP= Média da população; PE= Média de cv. BRS Pampeira com estresse; PC=. Média da cv. BRS Pampeira sem estresse (controle); V.min. = Valor mínimo; V.máx.= Valor máximo; DP=Desvio padrão; S=Coeficiente de assimetria; k=Curtose; CV (%)=Coeficiente de variação; NE= Nota de sintoma de estresse (visual); NA= Número de afilhos; DFL= Dias para o florescimento (dias); ALT= Altura de planta (cm); CPA= Comprimento de panícula (cm); NPL= Número de panículas por linha, PPAN= Peso de panícula (g); NEE= Número de espiguetas estéreis por panícula (uni);NEF= Número espiguetas férteis por panícula (uni); PROD = Produtividade.

O enrolamento foliar, ou mesmo a morte dos brotos e/ou das folhas, são sintomas que demostram a presença de deficiência hídrica . Estes são critérios para avaliação da resistência a seca de variedades de arroz.

A distribuição de frequências da variável de nota de sintoma de estresse (NE) (Figura 5A) para dose de 250 grays, demonstrou a formação de nove classes fenotípicas com amplitude compreendendo de 1 a 9. A distribuição foi classificada como assimétrica positiva (S=0,21) e um coeficiente de curtose (K=-1,03). Pode-se observar também um coeficiente de variação de 59,60%, considerado alto, enquadrando a distribuição dos dados como platicúrtica onde K>0 (Tabela 5). De forma relativa 75,17% das famílias foram sofreram menos estresse que a testemunha BRS Pampeira na condição de estresse (PE) e 25,50% das famílias apresentaram mesma condição estresse do que o genótipo BRS Pampeira na condição irrigado.

Na Tabela 6, pode-se observar para nota de sintoma de estresse por seca, que as famílias mutantes na dose de 300 grays mostaram um coeficiente de curtose cujo valor foi positivo (K=0,07) enquadrando a distribuição de dados como leptocúrtica. A frequência das famílias apresentou distribuição assimétrica negativa (S=-0,08) (Figura 5B) e demonstrou a formação de 9 classes com amplitude compreendendo de 1 a 9. A variável nota de sintoma de estresse apresentou um coeficiente de variação alto, de 37,11%. De forma relativa 14,28% das famílias foram superiores a testemunha BRS Pampeira na condição estresse (PE) e 1,36% das famílias mostraram as mesmas características que testemunha (BRS Pampeira) na condição controle (PC).

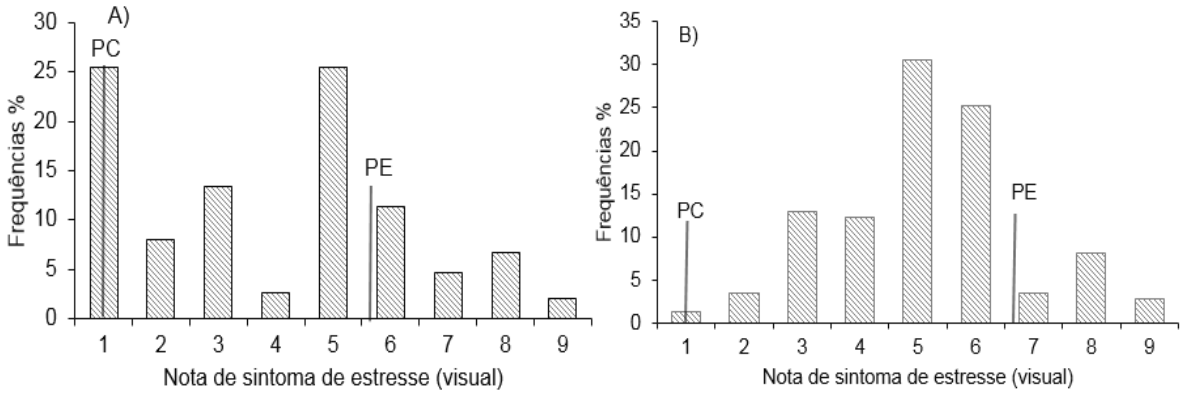


Figura 5-Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B) , derivadas da cultivar BRS Pampeira, para o caráter nota de sintoma de estresse (NE), submetidas ao estresse por deficiência hídrica no período reprodutivo (R_2) . PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC=Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL,2019/2020.

O número afilhos está intimamente relacionado à produtividade de grãos (FAGERIA *et al*., 2000), pode ser utilizado como estratégia para a seleção de linhas superiores (ABREU *et al*., 2016).

Os resultados da distribuição de frequências das famílias (250 grays) para o caráter número de afilhos por linha (Figura 6A), demonstraram a formação de nove classes fenotípicas onde a classe de 90 unidades compreendeu 31 famílias, com amplitude de 54 a 167,28 unidades por linha.Os dados mostraram uma curtose positiva de (K=0,10), assimétrica positiva (S=0,39), apresentando uma distribuição de frequências classificada como leptocúrtica. Observou-se que 40% das famílias foram superiores ao genótipo parental BRS Pampeira na condição com estresse de deficit hidrico. A maior concentração das famílias foi à esquerda da média geral das famílias. A distribuição de frequências das famílias mutantes (Figura 6B) na dose de 300 grays para o caráter número de afilhos por linha, evidenciou a formação de nove classes fenotípicas onde a classe de 90 unidades compreendeu 31 famílias, com amplitude de 67 a 167,28 unidades por linha. A distribuição foi classificada como assimétrica positiva (S=0,56). Quanto ao coeficiente de curtose, foi positivo (K=0,91) representando uma distribuição gráfica leptocúrtica onde, K>0. Assim, 20,27% das famílias foram superiores a cultivar BRS Pampeira na condição de estresse, em contrapartida, 1,35% das famílias foram superiores a cultivar BRS Pampeira na condição controle.

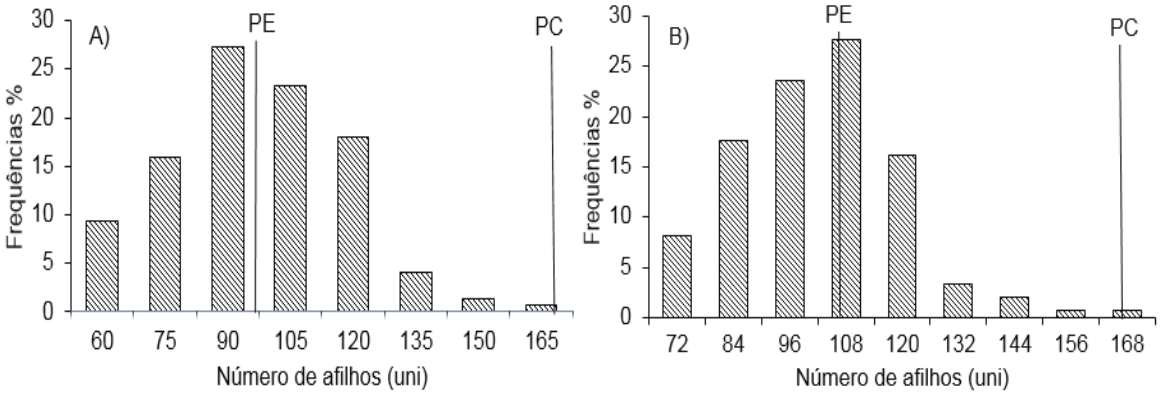


Figura 6- Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B) , derivadas da cultivar BRS Pampeira, para o caráter número de afilhos, submetidas ao estresse por deficiência hídrica no período reprodutivo. PE = Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC=Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL,2019/2020.

Em programas de melhoramento genético é muito importante definir o período total de cultivo e duração do ciclo vegetativo (STRECK *et al*., 2006). Além disso, o estresse por falta de água pode aumentar os dias para o florescimento e reduzir a produtividade (ARF *et al*., 2001). Neste trabalho, os resultados relacionados com caráter dias para o florescimento (DFL) na dose de 250 gy, demonstram que a amplitude que existe entre os pontos mínimos e máximos foi de 97 até 143 dias, evidenciando a formação de oito classes fenotípicas. Na Figura 7A, pode-se observar a formação de duas classes com 0 famílias em cada uma delas, e a classe de 111 dias responsável por agrupar 40 famílias. Os resultados demonstraram um coeficiente de variação baixo (6,61 %) e um desvio padrão baixo (7,78), o caráter de dias florescimento apontou os coeficientes de curtose (K= 4,46), e assimetria positiva (S= 1,90) (Tabela 5). Isto indica uma distribuição leptocúrtica, sendo que a maior concentração das familias estão situadas a esquerda da média geral da testemunha. Onde 0,67% da população apresentou menor número de dias para o florescimento em relação testemunha BRS Pampeira na condição controle, por outro lado 32,66% das famílias precisam maior número de dias para o florescimento em comparação com a testemunha BRS Pampeira na condição de estresse por falta de água. A distribuição de frequências das famílias para o caráter dias para o florescimento (DFL) na dose de 300 grays, evidenciou a formação de

oito classes fenotípicas, com amplitude variando de 112 até 143 dias. Sendo, a classe de 123 dias responsável por agrupar 35 famílias. Estes resultados demonstram variabilidade genética das famílias mutantes para o caráter DFL. A análise descritiva evidenciou um coeficiente de variação de 9,22%, e uma média da população de 124,9 dias, sendo que a cultivar BRS Pampeira na condição de estresse hídrico apresentou uma média de123 dias e na condição controle 97 dias (Figura 7B). A distribuição foi assimétrica positiva (S=0,79), apresentando curtose negativa (K=-0,89) classificando a distribuição como platicúrtica. O período de florescimento pode ser usado como alternativa, no manejo das linhas para escape à seca. Um total de 37,17% das famílias apresentaram menor número de dias para o florescimento em comparação com a testemunha BRS Pampeira na condição de estresse por seca, por outro lado 0,68 % das famílias demonstraram menos dias para o florescimento que a cultivar BRS Pampeira na condição controle. Porém, no presente experimento, as famílias apresentaram um aumento médio de 25 dias para FLO comparando com o testemunha na condição controle. Este resultado pode ser devido ao número de dias de estresse e a tensão do solo, que são fatores que podem causar aumento dos dias para o florescimento para o cultivo de arroz (JONGDEE *et al*., 2006; JIN *et al*., 2013; JAGADISH *et al*., 2007).

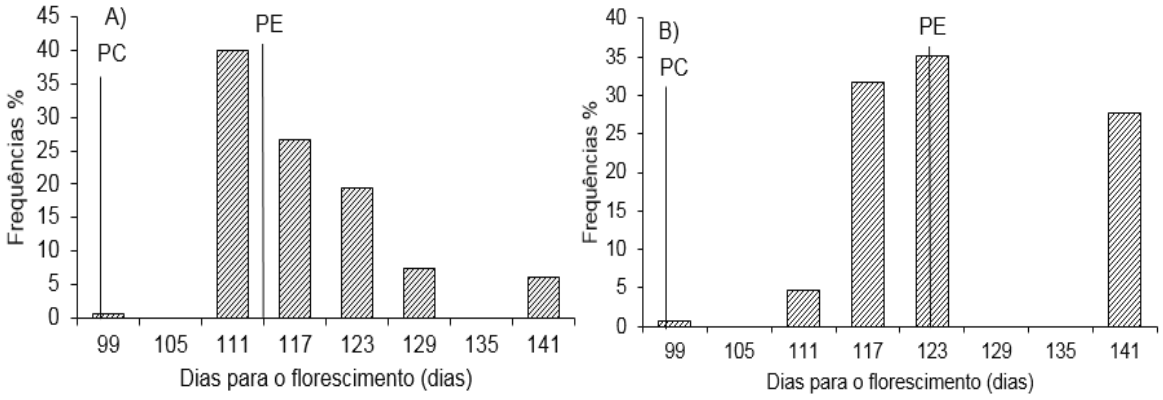


Figura 7- Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B), derivadas da cultivar BRS Pampeira, para os caráter dias para o florescimento,submetidas ao estresse por deficiência hídrica no período reprodutivo.PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse ; PC=Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL,2019/2020.

A altura da planta (ALT) é um dos caracteres importantes para programas de melhoramento vegetal. A altura de planta é uma das variáveis responsáveis pela regulação de genes de herança quantitativa e está relacionada ao rendimento de grãos. Neste contexto, as plantas mais altas possuem grande capacidade para acumulação de biomassa sendo mais competitivas pela luz (SHEN *et al*., 2014). Por outro lado, o estresse hídrico pode provocar uma redução da altura da planta devido à menor turgescência das células, a qual causa redução da expansão celular e do fornecimento de substâncias reguladoras do crescimento, provocando um atraso no alongamento dos entre-nós devido à menor taxa de alongamento do colmo (ANDRADE *et al*., 2018).

Para a variável altura de planta, na dose de 250 Gy (Figura 8A) houve a formação de oito classes fenotípicas com amplitude de 46,10 a 82,90 cm. Obteve-se duas classes (67,5 e 72,5 cm) no qual cada uma delas conteve 29 famílias. A distribuição apresentou valor de curtose positiva (K=1,18) e foi assimétrica negativa (S=-0,75), classificada como leptocúrtica. De acordo com os resultados, as maiores concentrações das famílias estão contidas à direita da média. Observou-se que 27,52% familias apresentaram altura inferior comparadas a testemunha BRS Pampeira na condição de estresse, por outro lado 56,38% familias foram inferiores a cultivar BRS Pampeira na condição controle para o caráter.

Para o caráter altura das plantas na dose de 300 gray (Figura 8B), pode-se observar a formação de oitos classes fenotípicas e distribuição foi classificada como leptocúrtica, com um coeficiente de curtose positivo (K=0,16) e, assimétrica negativa (S=-0,41). A maior concentração das famílias estão contidas à direita da média obtendo às maiores estaturas das plantas. Assim, 40,13 % das famílias apresentaram menor estatura comparado a testemunha BRS Pampeira na condição estresse por deficit hídrico, em contrapartida, 89,12% destas famílias apresentaram estatura inferiores em comparação a cultivar BRS Pampeira na condição controle. Porém, a altura de planta quando excessiva pode levar ao incremento do acamamento no final do ciclo do arroz, ocasionando perdas de grãos e dificuldades na colheita com máquina (VAUBAM *et al*., 2010; NASCIMENTO *et al*., 2009).

Segundo estudos realizados por KHUSH *et al* (2009), a altura ideal para maximizar a produtividade da cultivares de arroz está entre 90 e 100 cm.

Segundo os resultados, a análise demonstrou uma redução significava da estatura das famílias para as doses de 250 e 300 grays. Isto permite dizer que o estresse por seca é um dos principais estresses que trazem consequências diretas ao crescimento e desenvolvimento, causando a redução da altura de plantas (FISHER *et al*., 2003; NDJIONDJOP *et al*., 2012). Por outro lado essa variabilidade genética permite selecionar linhas de interesse para o caráter em programas de melhoramento para tolerância a seca.

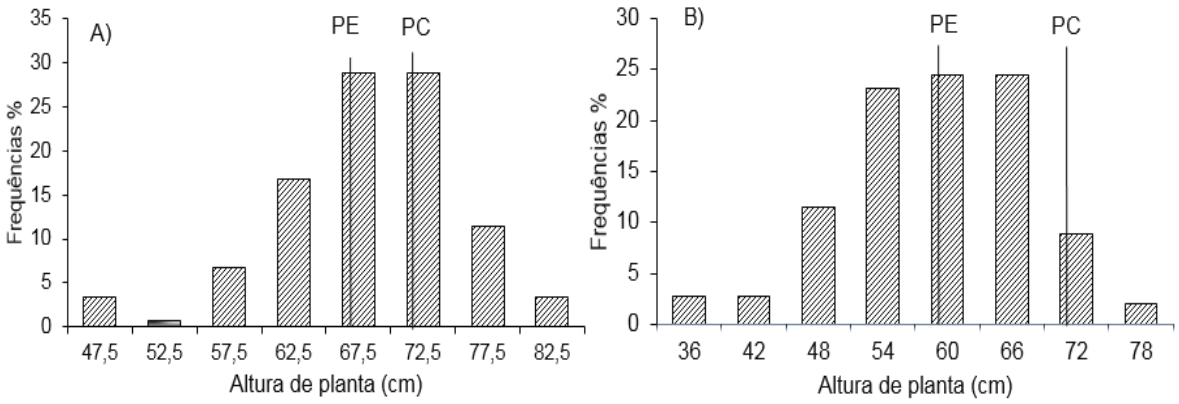


Figura 8- Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B) , derivadas da cultivar BRS Pampeira, para o caráter altura de planta, submetidas ao estresse por deficiência hídrica no período reprodutivo.PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC=Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL,2019/2020.

Em relação ao caráter comprimento da panícula (CPA), este caráter está diretamente relacionado com a produtividade de grãos (DUAN *et al*., 2015), podendo ser utilizado em programas de melhoramento genétio como indicador para incrementar o rendimento de grãos. O caráter CPA na dose de 250 grays (Figura 9A) demonstrou a formação de nove classes fenotípicas,sendo que a classe de 23,25 cm agrupou 51 famílias mutantes. A distribuição foi classificada como assimétrica negativa (S=-1,86) e o coeficiente de curtose apresentou um valor de (K=8,14), o qual caracterizou a população como de tipo leptocúrtica. Os dados

expressaram que a maior concentração das famílias está à direita da média. Nota-se que, 69,34 % das famílias apresentaram maior comprimento da panícula em relação a testemunha BRS Pampeira na condição de estresse por deficit hidrico, já na condição controle foi possível observar que, 2,67% das familias apresentaram maior CPA comparado com a testemunha BRS Pampeira.

A distribuição de frequências das famílias para o caráter CPA na dose de 300 Gy (Figura 9B) apresentou a formação de 9 classes fenotípicas, com intervalo entre os pontos mínimos e máximos de 13,80 a 25,83 cm, sendo que a classe de 22,5 cm agrupou 43 famílias mutantes. A distribuição foi classificada como assimétrica negativa (S=-1,65), leptocúrtica (K=3,66), apresentando alta homogeneidade. Assim, 60,81 % das famílias apresentaram comprimento da panícula superior a testemunha BRS Pampeira na condição de estresse por deficit hídrico (PE), no entanto, em relação a testemunha BRS Pampeira na condição controle nenhuma família apresentou comprimento de panícula superior.

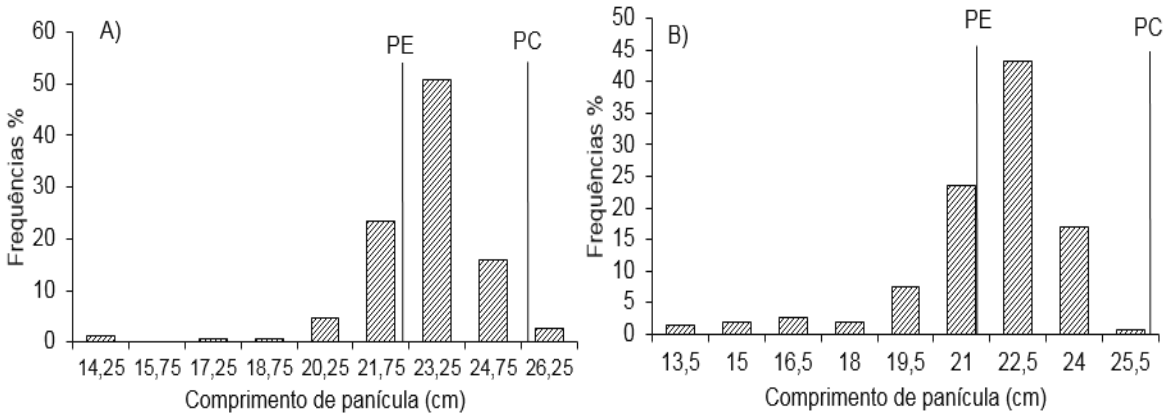


Figura 9- Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B), derivadas da cultivar BRS Pampeira, para o caráter comprimento de panicula, submetidas ao estresse por deficiência hídrica no período reprodutivo. PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL,2019/2020.

A variável o número de panículas por linha pode ser consideranda como uma variável estratégica para a seleção de famílias mutantes superiores (ABREU *et al*., 2016; FAGERIA *et al*., 2000). Além disso, as plantas de arroz sob condição de deficit por estresse hídrico podem apresentar um menor número de panículas e queda de produção em relação as plantas que não sofreram deficit hídrico (ARF *et al*., 2001). Neste contexto, neste experimento, pode-se observar, através da ilustração

(Figura 10A) que o caráter NPL na dose de 250 grays, apresentou a formação de nove classes fenotípicas, sendo que a classe de 90 unidades agrupou 30 familias mutantes. A distribuição foi classificada como assimétrica negativa (S=-0,04), e apresentou um coeficiente de curtose positivo baixo, assim mesmo, foi classificada como o leptocúrtica por apresentar valores superior a zero (K=0,31). O coeficiente de variação para este caráter foi de 18,31% considerado médio e o desvio padrão foi de 16,74. Além disso, 40% das famílias apresentaram maior quantidade de panículas por linhas em comparação a testemunha BRS Pampeira na condição estresse por deficit hidrico, em contrapartida, nenhuma família apresentou maior quantidade de paniculas por linha que a cultivar BRS Pampeira na condição irrigada (controle).

O número de panículas por linha na dose de 300 grays (Figura 10B) a análise de distribuição de frequências demonstrou a formação de 9 classes fenotipicas. Obteve-se a classe de 90 unidades de panículas no qual ficaram contidas 30 familias mutantes. A distribuição foi classificada como assimétrica negativa (S=-0,12) e leptocúrtica (K=0,36). A maior concentração das famílias estão contidas à direita da média. Assim, 43,92 % das famílias apresentaram maior quantidade de panículas por linha em relação a testemunha BRS Pampeira na condição estresse por deficit hídrico, em contrapartida, nenhuma família apresentou quantidade superior de paniculas por linha em relação a cultivar BRS Pampeira na condição controle.

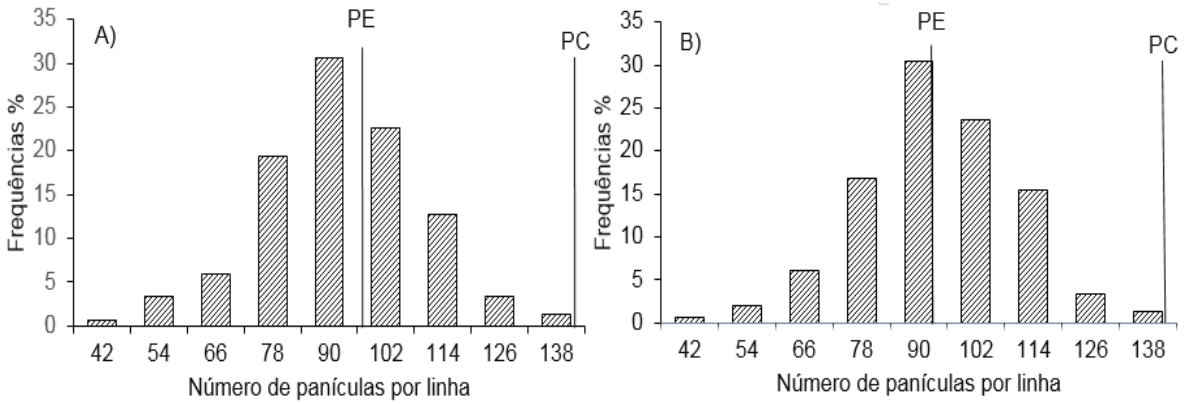


Figura 10- Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B) , derivadas da cultivar BRS Pampeira, para o caráter número de paniculas por linha, submetidas ao estresse por deficiência hídrica no período reprodutivo. PE = Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC = Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL,2019/2020.

O caráter peso de panícula enquadra-se como componente do rendimento.Estudos demonstraram que o estresse causado por condições de deficiência hídrica em plantas de arroz promoveu uma redução do peso por panícula, porém não houve efeito no número de plantas por área (FAROOQ *et al*., 2008; 2009).

Para o caráter peso de panícula, pode-se observar a formação dez classes fenotípicas. Obteve-se a classe de três, no qual ficaram contidas 39 famílias. A distribuição foi classificada como assimétrica positiva (S=1,40) e leptocúrtica (K=2,54) (Figura 11A). A maior concentração das famílias ocorreu à direita da média. Um total de 51,34% das famílias apresentaram um maior valor de peso de panícula em relação a testemunha BRS Pampeira na condição sob estresse por falta de água, em contrapartida, 5,34% das famílias apresentaram maior peso de panículas por linha em relação a cultivar BRS Pampeira na condição controle. Em quanto a dose de 300 grays (Figura 11B), a distribução foi classificada como leptocúrtica (K=2,76) e assimetrica positiva (S=1,57). Um total de 30,61% das famílias apresentaram maior peso de panículas em relação a testemunha BRS Pampeira na condição de estresse por falta de água e 0,68% na condição controle (irrigado por água).

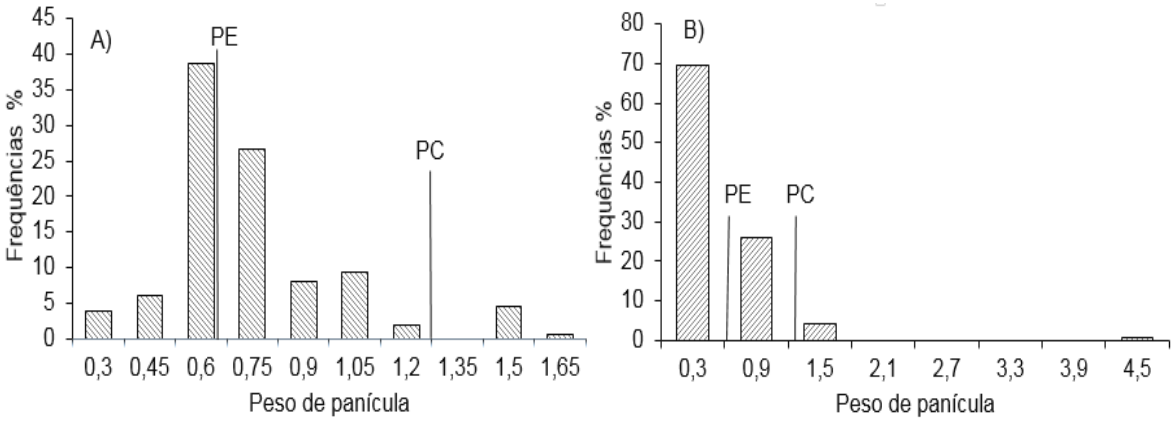


Figura 11- Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B), derivadas da cultivar BRS Pampeira, para o caráter peso de paniculas, submetidas ao estresse por deficiência hídrica no período reprodutivo. PE = Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC = Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL,2019/2020.

O caráter número de espiguetas estéreis por panícula (NEE) (Figura 12A) a formação de 9 classes fenotípicas. A distribuição foi classificada como assimétrica negativa (S=-0,63) e platicúrtica (K=-0,02) concentrando as famílias de maior NEE à direita da média. Plantas de arroz sob condições de estresse hídrico,podem sofrer consequências diretas sobre o aumento da taxa de esterilidade de espiguetas por panícula e outros componentes da reprodutividade (FISHER *et al*., 2003, NDJIONDJOP *et al*., 2012). Segundo a análise de distribução de frequências, o experimento evidenciou um total de 56% famílias com maior taxa esterilidade de espiguetas em comparação com a testemunha BRS Pampeira em condição estresse por deficit hídrico, em contrapartida um total de 70,67 das famílias foram superiores a BRS Pampeira na condição controle. Na a dose 300 grays (Figura 12B) oito classes fenotípicas com coeficiente de variação 22,10% foram formadas. A distribuição foi classificada como leptocúrtica (K=0,55) e assimétrica negativa (S=-0,12), sendo que maior concentração das famílias estão contidas a direita da média. Um total de 34,01% famílias com maior quantidade de espiguetas estéreis por panícula foi observado.

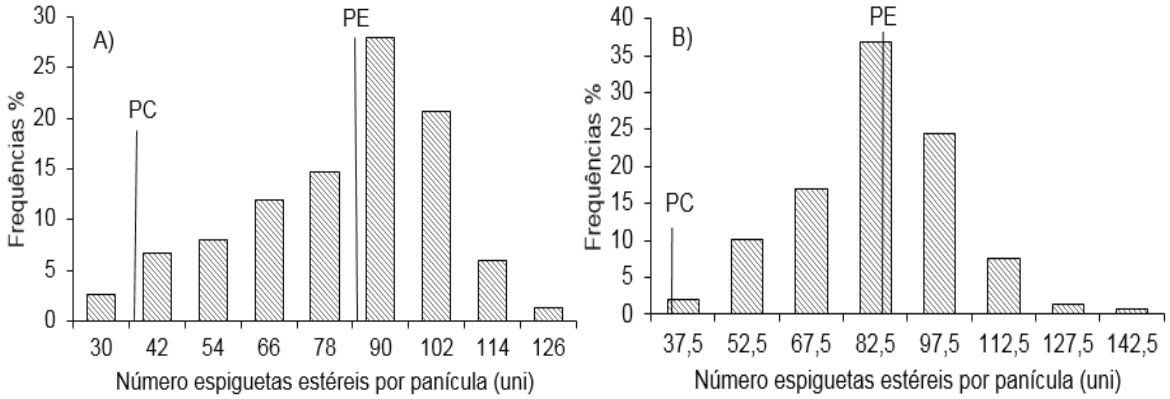


Figura 12- Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B) , derivadas da cultivar BRS Pampeira, para o caráter número de espiguetas estéreis por panicula, submetidas ao estresse por deficiência hídrica no período reprodutivo. PE = Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL,2019/2020.

Estresses por deficiência hídrica tais como: baixas e altas temperaturas ocorridas no desenvolvimento da cultura, podem prejudicar o desenvolvimento dos grãos de pólen, reduzindo número de espiguetas férteis por panícula (KUMAR *et al*., 2006).

Com relação ao número de espiguetas férteis por panícula (Figura 13A), evidenciou a formação de oito classes fenotípicas. A distribuição foi assimétrica positiva (S=0,93) e platicúrtica (K=-0,15). Observou-se que 44,12% famílias apresentaram maior número de espiguetas férteis por panícula em relação à testemunha BRS Pampeira na condição de estresse por deficiência hídrica, em contrapartida, em comparação com a BRS Pampeira na condição controle verificou-se que 4,41% das famílias foram superiores. Para a dose 300 grays (Figura 13B) observou-se a formação de 6 classes fenotípicas. Nota-se que a classe 4 formou um total de 53% das famílias. A distribuição foi classificada como leptocúrtica, onde (K=1,74), com assimetria positiva (S=1,61), tendo-se maior concentração das famílias a esquerda da média geral das famílias com menor NEF. Um total de 41% das famílias apresentou maior número espiguetas férteis por panícula que a testemunha BRS Pampeira na condição de estresse por deficiência hídrica, enquanto que 1,64% das famílias foram superiores a cultivar BRS Pampeira na condição controle.

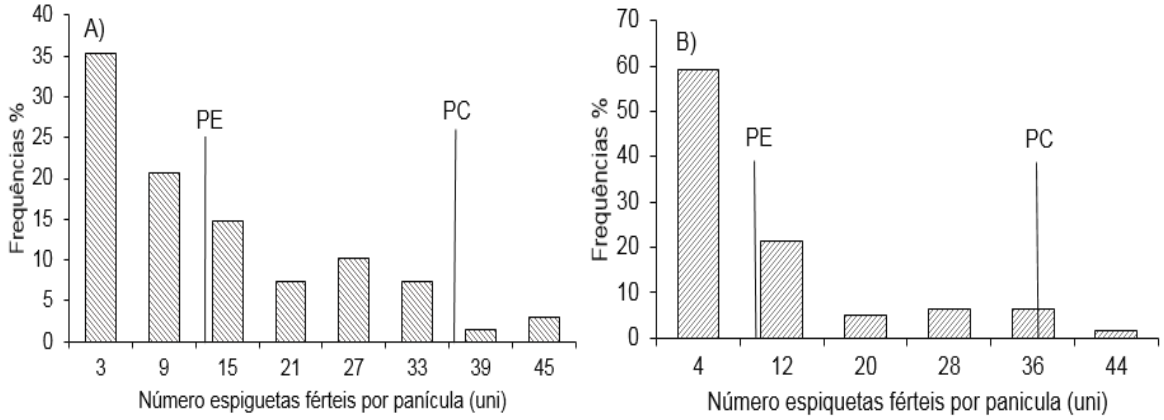


Figure 13- Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com doses de 250Gy (A) e 300Gy (B), derivadas da cultivar BRS Pampeira, para os caráter número espiquetas férteis por panicula,submetidas ao estresse por deficiência hídrica no período reprodutivo. PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020.

A produtividade da cultura do arroz depende de vários fatores agroclimáticos, que influenciam os componentes do rendimento. O estresse no cultivo do arroz, pode provocar aumento da esterilidade das espiguetas e diminuir o peso dos grãos, podendo causar uma perda de mais 50% no número de grãos por panícula, além de afetar outros componentes e a produtividade (BRAY *et al*., 2000; WANG *et al*., 2003).

Quanto ao caráter produtividade no presente estudo, a análise de distribuição permitiu a formação de nove classes fenotípicas para a dose de 250 Gy, (Figura 14A) sendo que 8,12% das famílias apresentaram maior produtividade em relação a testemunha BRS Pampeira na condição de estresse por deficiência hídrica, e 11,48% apresentaram produtividade menor que essa testemunha. Já 39,86% das famílias foram estéreis, e 40,54% das linhas, ainda que não totalmente estéreis, produziram somente poucas sementes. Na outra dose, 300 Gy, (Figura 14B) apresentaram-se nove classes fenotípicas, onde 57,79% das linhas foram estéreis e 17,80% destas produziram poucas sementes. Um total de 22,66% das famílias apresentaram maiores produtividades que a testemunha em condição de estresse hídrico.

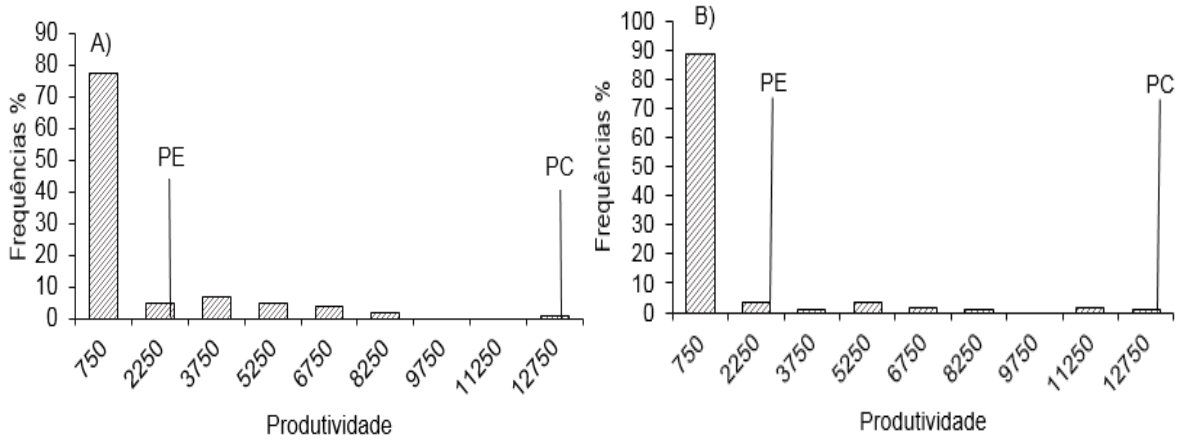


Figura 14- Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B), derivadas da cultivar BRS Pampeira, para o caráter produtividade, submetidas ao estresse por deficiência hídrica no período reprodutivo. PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020.

4.4 Conclusões

Há ampla variabilidade genética nas populações mutantes de arroz estudadas para a tolerância à seca.

As famílias 12,166, 408 e 709 (250 Gy) e 507, 537 e 703 (300 Gy) são as mais promissoras para integrarem programas de melhoramento, pelo seu desempenho superior em vários caracteres, especialmente produtividade, sob défice hídrico.

Índices de clorofila em famílias mutantes de arroz M_3 submetidas ao estresse por seca no período reprodutivo

5.1 Introdução

O desenvolvimento e a produção do arroz, assim como de todas as plantas, depende de várias condições ambientais (GUIMARÃES *et al*., 2006). A disponibilidade de água é, provavelmente, o fator mais importante ao desenvolvimento da maioria dos vegetais cultivados (GUIMARÃES *et al*., 2006; WREGER *et al*., 2001). Cada vez mais, programas de melhoramento genético estão se esforçando na busca por genótipos adaptados para a condição de sequeiro e com tolerância à seca, problema comum nesse sistema. Esse processo de melhoramento e adaptação envolve diversos caracteres, como aqueles ligados à fotossíntese. Esses caracteres precisam ser devidamente avaliados em programas de melhoramento.

O cultivo do arroz é altamente exigente na demanda de água,com o sistema radicular superficial,dessa maneira o cultivo apresenta pouca tolerância a longos períodos de déficit hídrico (WREGER *et al*., 2001). Assim, indiscutivelmente, o estresse por falta de água é aquele mais diretamente ligado a baixa produtividade dessa cultura.Sendo a produção do arroz extremamente depende de irrigação na fase reprodutiva ,a falta de água regularmente nessa fase pode representar um alto risco. Estudo realizados por ANJUM *et al*. (2003) mostraram que a deficiência hídrica afeta os pigmentos e componente fotossintéticos.

No cultivo do arroz a tolerância ao déficit hídrico pode ser um importante mecanismo de resistência para a manutenção do processo produtivo em condições baixa disponibilidade de água nas plantas (SOUSA, 2008).

Avaliação da taxa fotossintética é necessária para analisar a condição nutritiva das plantas cultivadas, estado da luminosidade ambiental, além de outros fatores, para que seja utilizada de maneira mais eficiente possível (PINHEIRO, 2006). As clorofilas são os pigmentos naturais mais abundantes presentes nas plantas, capazes de transformar energia luminosa em energia química, tendo uma função vital na reação de fotossíntese, que ocorrem nos cloroplastos das folhas, caules e em outros tecidos vegetais (TAIZ *et al*., 2004). Clorofila foi um termo utilizado, pela primeira vez em 1818 por Pelletier e Caventou, para designar a substância verde que se podia extrair das folhas com o auxílio do álcool (STREIT *et*

al., 2005). As clorofilas são tidas como os pigmentos da fotossíntese, mas algumas diferenças aparentes na cor do vegetal são devidas à presença e distribuição variável de outros pigmentos associados, como os carotenoides, os quais sempre acompanham as clorofilas (ELBE, 2000).

Uma maneira conveniente de avaliar do teor de clorofila nas folhas, é através de um medidor portátil de clorofila, nomeado clorofilômetro ou, com propósito similar, leitor SPAD, o que tem sido considerado uma alternativa para avaliar nível de fotossíntese no tecido de plantas de arroz (PRADO *et al*., 2008; LIN *et al*., 2010). Assim, a avaliação do teor relativo de clorofila por meio desses equipamentos portáteis pode ser considerada importante estratégia visando a identificação de genótipos tolerantes à seca e consequente seleção em programas de melhoramento.

Neste contexto, esse trabalho teve como objetivo avaliar uma população de linhagens mutantes de arroz quanto aos índices de clorofila quando em condições de estresse por seca no período reprodutivo, relacionando esses valores com caracteres agronômicos, almejando selecionar linhagens tolerantes.

5.2 Material e métodos

Foram avaliadas um total de 294 linhagens mutantes de arroz na geração M_3, obtidas a partir da cultivar BRS Pampeira, por meio de radiação gama (^{60}Co) na dose de 250 grays (148 linhagens) e 300 grays (146 linhagens). O trabalho foi conduzido à campo, na Estação Experimental Terras Baixas, pertencente à Embrapa Clima Temperado, localizada no município de Capão do Leão/RS, na safra 2019/2020. A unidade experimental se constituiu em uma linha de 0,5 metros de comprimento, as quais foram espaçadas em 0,20 m, em uma densidade aproximada de 400 plantas por metro quadrado. O delineamento experimental utilizado foi de blocos aumentados de Federer, utilizando como testemunha intercalar a cultivar BRS Pampeira. A testemunha foi disposta a cada 15 famílias mutantes. A adubação e todo o manejo fitotécnico e fitossanitário seguiram as recomendações técnicas para a cultura, à exceção do manejo de irrigação, objeto do estudo (SOSBAI, 2018).

A partir do começo do período reprodutivo foi montado um ambiente protegido móvel (*shelter*) visando a simulação de seca. Para o monitoramento da tensão de água do solo foram utilizados tensiômetros instalados a 0,10 m e 0,15 m de profundidade. O estresse por deficit hídrico teve início no estádio reprodutivo R_2 (emborrachamento) até dez dias após R_4 (antese) (COUNCE *et al*., 2000), através da suspensão da irrigação, até a tensão do solo atingir aproximadamente 100kPa.

Foram avaliados em campo experimental os seguintes caracteres: índice de clorofila a (Cl a); índice de clorofila b (Cl b); relação entre os índices de clorofila a e b, obtidos através da divisão do índice de clorofila a pelo índice de clorofila b (Cl a/ Cl b); e e índice de clorofila total (Cl a + Cl b) obtidos através da soma do indice de clorofila a e b (a+b). As leituras do clorofilômetro foram realizadas em três folhas bandeira provenientes de três plantas diferentes a cada linha, sendo considerado no centro do limbo de cada folha. Foram realizadas leituras em três períodos, sendo a primeira leitura feita uma semana após o início do estresse hídrico (período inicial do estresse hídrico) na fase reprodutiva R_2 (COUNCE *et al*., 2000), sendo que a primeira e a segunda leitura foram realizadas quando a tensão do solo atingiu 100kPa através da suspensão da irrigação. A segunda leitura do índice de clorofila foi realizada no período intermediário do estresse e a terceira leitura do índice de clorofila nas plantas foi realizado 10 dias após o fim do estresse por deficiência hídrica (período final do estresse hídrico). Para as leituras dos índices de clorofila utilizou-se um clorofilômetro da marca comercial ClorofiLOG modelo CFL 1030, produzido pela Falker Automação Agrícola. Este equipamento permite identificar o estado das lavouras de forma simples e direta. O teor de clorofila é proporcional a quantidade de nutrientes fundamentais, como o nitrogênio. Com o uso do ClorofiLOG é possível identificar e corrigir deficiências de maneira rápida e diretamente na lavoura. O clorofilômetro possui diodos que emitem luz, e esta passa através da amostra da folha atingindo um receptor (fotodiodo de silício) que converte a luz transmitida em sinais elétricos analógicos. A partir desse dado, o aparelho fornece valores de leitura proporcionais à absorbância das clorofilas a, b e total (a+b) (FALKER, 2008). Estes períodos de avaliação foram, também, determinados pelo comitê técnico internacional do projeto.

Foram realizadas análises de estatística univariada, de distribuição de frequências e correlação de Pearson ($p<0,05$). As análises foram realizadas através da adoção do pacote estatístico SAS V.8 (SAS SOFTWARE, 1999) e para a plotagem das figuras foi utilizado o programa Microsoft® Office Excel 2013.

Quanto às análises univariadas, os valores de referência adotados para o coeficiente de assimetria foram: S = 0: distribuição simétrica, média e mediana no centro, S < 0: distribuição assimétrica à esquerda, e S > 0: distribuição assimétrica à direita. Quanto ao coeficiente de curtose, os valores de referência foram: K = 0: distribuição mesocúrtica, K > 0: distribuição leptocúrtica e K < 0: distribuição platicúrtica, segundo a metodologia proposta por CRUZ (2006).

5.3 Resultados e discussão

5.3.1. Estatísticas univariadas e distribuição de frequências

Neste trabalho foram realizadas análises de estatísticas descritivas como uma primeira abordagem para elucidar o comportamento geral das linhagens mutantes estudadas em termos de variabilidade genética, identificando também, linhagens superiores, com tolerância a seca, com ênfase nos índices de clorofila. Diante disso, os coeficientes de assimetria (S) e curtose (K) são utilizados como parâmetros que permitem classificar as distribuições conforme a disposição das observações perante a curva normal. Já o coeficiente de variação, considerando o delineamento experimental aplicado, permite inferir sobre a existência de variabilidade genética nas populações e não possui o clássico atributo de ser um parâmetro de confiabilidade dos resultados obtidos.

Os resultados da análise descritiva para os caracteres, índice de clorofila a (Cl a), índice de clorofila b (Cl b), relação entre os índices de clorofila a e b (Rcl a/b), índice de clorofila total (Cl total) e produtividade avaliados nos períodos do início de estresse, intermediário e após 10 dias de estresse hídrico no período reprodutivo, avaliados em famílias mutantes de arroz M_3, são apresentados nas Tabelas 1 e 2

(populações de 250 e 300 Gy, respectivamente). Visando fluidez no texto, e evitar redundâncias, cada variável é apresentada ao mesmo tempo em relação aos seus valores nas tabelas e também baseado nas figuras de distribuição de frequências.

Tabela 6- Estatística descritiva dos índices de clorofila avaliados em diferentes períodos durante o estresse por seca, em famílias mutantes arroz M_3, dose (250 Grays) e a média da cultivar BRS Pampeira. CGF/UFPEL, 2019/2020.

Índices de clorofila em famílias mutantes (250 Gy)									
Caracteres	**POP**	**PE**	**PC**	**V.mín.**	**V.max.**	**SD**	**S**	**K**	**CV (%)**
Período inicial do estresse hídrico									
Cl a1	30,58	31,22	31,01	23,34	39,91	2,19	0,37	3,75	7,17
Cl b1	10,62	10,90	10,01	7,45	13,46	0,88	-0,21	1,86	8,37
RCl a1/b1	2,89	2,86	3,10	2,12	3,67	0,25	0,00	0,54	8,91
Cl total1	41,21	42,16	41,14	31,88	51,31	2,62	-0,01	2,78	6,37
Período intermediário do estresse hídrico									
Cl a2	30,03	30,58	32,21	23,66	35,53	2,14	-0,06	0,73	7,15
Cl b2	9,87	9,73	11,79	6,28	12,65	1,04	-0,22	0,69	10,58
RCl a2/b2	3,06	3,14	2,73	2,41	4,11	0,28	0,80	1,52	9,38
Cl total2	39,90	40,41	44,01	30,85	47,33	2,84	-0,31	0,73	7,14
Período final do estresse hídrico									
Cl a3	24,39	24,39	24,45	18,32	34,28	2,57	0,00	0,84	10,56
Cl b3	7,03	6,61	7,44	4,68	9,40	0,99	-0,10	-0,41	14,08
RCl a3/b3	3,50	3,69	3,29	2,80	4,79	0,33	1,26	3,54	9,48
Cl total3	31,42	31,06	31,91	23,10	41,44	3,39	-0,20	-0,13	10,79

POP= Média geral da população; PE= Média de cv. BRS Pampeira com estresse; PC=. Média da cv. BRS Pampeira sem estresse (controle); V.min. = Valor mínimo; V.máx. = Valor máximo; SD=Desvio padrão; S=Coeficiente de assimetria; K=Curtose;CV (%)=Coeficiente de variação; Cl a= índice de clorofila a, Cl b = índice de clorofila b; Rcl a/b= relação entre os índices de clorofila a e b; Cl total= índice de clorofila total.

Tabela 7- Estatística descritiva dos índices de clorofila avaliados em diferentes períodos durante o estresse por seca, em famílias mutantes arroz M_3, dose (300 Grays) e a média da cultivar BRS Pampeira. CGF/UFPEL, 2019/2020.

Índices de clorofila em famílias mutantes (300 Gy)									
Caracteres	**POP**	**PE**	**PC**	**V.mín.**	**V.max.**	**SD**	**S**	**K**	**CV (%)**
Período inicial do estresse hídrico									
Cl a1	29,5	28,83	31,01	14,66	36,13	3,01	-1,60	5,64	10,20
Cl b1	9,53	9,23	10,01	4,65	14,00	1,17	-0,79	4,24	11,82
RCl a1/b1	3,11	3,12	3,10	1,86	4,34	0,28	0,46	5,78	9,11
Cl total1	39,03	38,08	41,14	19,31	46,42	3,85	-1,77	6,29	9,84
Período intermediário do estresse hídrico									
Cl a2	29,37	28,34	32,21	12,99	37,45	2,85	-1,76	7,90	9,71
Cl b2	9,66	9,20	11,79	4,32	12,10	1,22	-0,90	1,96	12,72
RCl a2/b2	3,06	3,08	2,73	2,03	6,76	0,40	5,16	44,9	13,35
Cl total2	39,05	37,59	44,01	19,37	47,73	3,79	-1,52	5,13	9,70
Período final do estresse hídrico									
Cl a3	24,01	24,46	24,45	13,04	33,43	3,36	-0,76	1,16	13,96
Cl b3	6,80	7,17	7,44	3,83	11,09	1,20	0,18	0,74	16,58
RCl a3/b3	3,55	3,41	3,29	2,33	5,07	0,36	0,06	2,49	10,26
Cl total3	30,82	31,67	31,91	16,87	41,79	4,30	-0,64	0,62	13,96

POP=Média geral da população; PE= Média de cv. BRS Pampeira com estresse; PC=. Média da cv. BRS Pampeira sem estresse (controle); V.min. = Valor mínimo; V.máx. = Valor máximo; SD=Desvio padrão; S=Coeficiente de assimetria; K= Curtose;CV (%)=Coeficiente de variação; Cl a= índice de clorofila a, Cl b = índice de clorofila b; Rcl a/b= relação entre os índices de clorofila a e b; Cl total= índice de clorofila total.

Em relação a distribuição de frequências das famílias mutantes (250 grays) para variável índice de clorofila a1, é possível verificar a formação de nove classes fenotípicas, com amplitude de 23,34 a 39,91 (Figura 15A). Sendo que, a classe 30 compreendeu 40 famílias. Isso também foi visto para a grande maioria das demais variáveis e provavelmente se deve ao tipo de população estudada (mutantes a partir de um mesmo genótipo original). Entretanto, ainda que a maior concentração das famílias esteja contida à esquerda da média, pode-se observar que 41,32% das famílias apresentaram maior concentração de pigmentos verdes (clorofila a) do que a testemunha BRS Pampeira, inclusive estando esta tanto na condição de estresse hídrico como na condição controle (sem estresse).

Para o caráter clorofila a1 na população de 300 grays, pode-se observar a formação de oito classes fenotípicas com intervalo mínimo e máximo de 14,66 e 36,13, respectivamente, sendo que a classe 30 compreendeu 57 famílias (Figura 15B). Chama a atenção a nítida diferença no padrão de distribuição dos dados, quando comparando à população de 250 Gy. Assim, 75,67% das famílias evidenciaram maior concentração de clorofila a em relação a testemunha BRS Pampeira na condição de estresse por deficit hídrico. Porém, em contrapartida, 18,24% da famílias apresentaram maior concentração de clorofila a em comparação com a testemunha BRS Pampeira na condição controle.

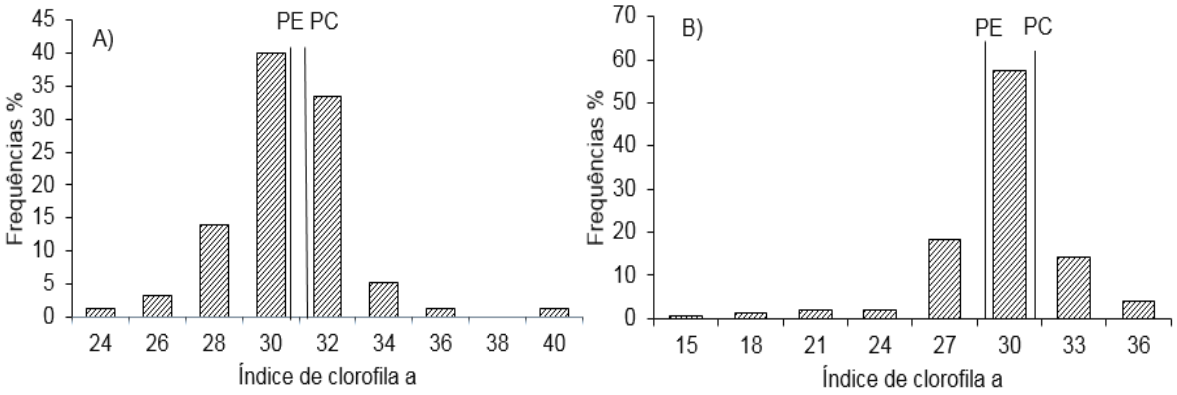


Figura 15- Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B), submetidas ao estresse por deficiência hídrica no estádio reprodutivo R2 (início do estresse), para o caráter índice de clorofila a (Cl a1). PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020.

A distribuição foi classificada como assimétrica negativa (S=-0,21) e leptocúrtica com coeficiente de curtose positivo K=1,86, (Figura 16B) onde a maior concentração das famílias está contida a direita da média. Um total de 23,34% das famílias apresentaram maior concentração de clorofila b que a testemunha BRS Pampeira na condição de estresse por deficiência hídrica, enquanto que 61,33% das familias foram superiores quanto a concentração clorofila b que a cultivar BRS pampeira na condição controle.

Os resultados do índice de clorofila b1 (dose 300 grays) (Figura 16B) demostraram a formação de nove classes fenotípicas, com amplitude de 4,65 a 14, sendo que a classe 9,6 compreendeu 47 famílias. A maior concentração das famílias estão contidas à direita da média, em que 74,23% das famílias evidenciaram maior concentração de clorofila b1 em relação a testemunha BRS Pampeira na condição de estresse por deficit hídrico, e, 27,71% da famílias apresentaram maior concentração clorofila b do que a testemunha BRS Pampeira na condição irrigada (controle).

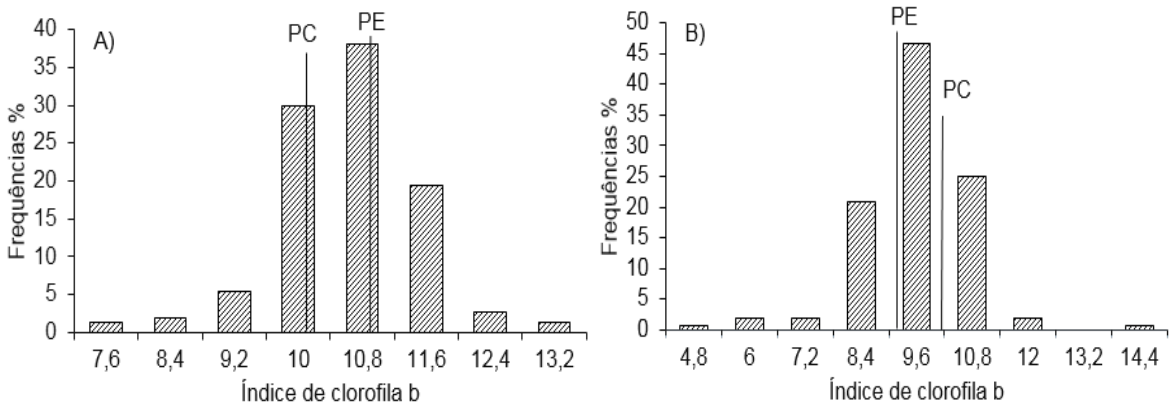


Figura 16- . Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B) , derivadas da cultivar BRS Pampeira, para o caráter índice de clorofila b (Cl b1), submetidas ao estresse por deficiência hídrica no estádio reprodutivo R_2 (início do estresse). PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020.

Na Figura 17A são apresentados os resultados da relação entre os índices clorofila a1 e b1 (250Gy), no início de estresse por falta de água. Pode-se observar a formação de oitos classes fenotípicas, sendo que a classe 3 agrupou 37 familias, e está situada dentro um intervalo máximo e mínimo de 2,12 e 3,67. Um total de 54% das famílias demonstraram maior relação de clorofila em comparação a testemunha BRS Pampeira na condição inicial de estresse, e, 16,67% das famílias apresentaram maior relação de clorofila em relação a cultivar BRS Pampeira na condição controle.

O caráter Rcl a1/b1 da dose 300Gy (Figura 17B), evidenciou a formação de oitos classes fenotípicas com amplitude de 1,86 a 4,34. Sendo que a classe 3,15 possibilitou agrupar 47 famílias. Um total de 66,22 % das famílias demonstraram maiores Rcl a1/b1 em comparação com a testemunha BRS Pampeira na condição inicial de estresse por deficiência hídrica, e, cultivar BRS Pampeira em condição controle (Figura 17B). Finalmente, chama a atenção, mais uma vez, o fato das populações de 250 Gy e 300 Gy diferirem consideravelmente na disposição dos resultados.

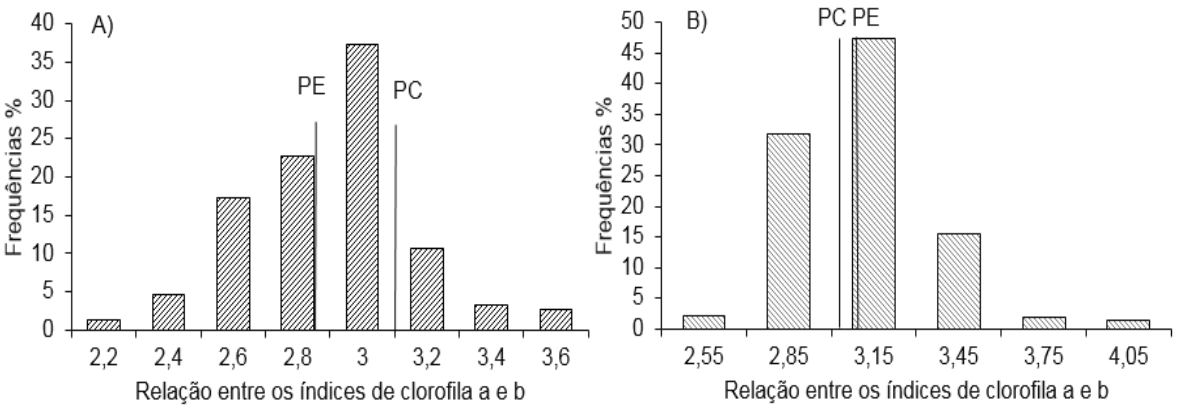


Figura 17- Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B) , derivadas da cultivar BRS Pampeira, para o caráter relação entre os índices de clorofila a e b (Cl a1/b1),submetidas ao estresse por deficiência hídrica no estádio reprodutivo R2 (início do estresse). PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse;PC=Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle).CGF/UFPEL,2019/2020.

Para o índice de clorofila total (Cl total1) no período inicial de estresse (250Gy) (Figura 18A), a distribuição de frequências das famílias mutantes M_3 evidenciou a formação de nove classes fenotípicas, com amplitude de 31,88 a 51,31, sendo que a classe 41,25 compreendeu 48 famílias. Foi possível observar que, 24,66% das famílias apresentaram maior índice de clorofila total comparado a cultivar BRS Pampeira na condição de estresse por deficiência hídrica, em contrapartida, 27,34% das famílias apresentaram menores índices de clorofila total em relação a cultivar BRS Pampeira na condição controle.

Quanto ao caráter clorofila total (Cl total1; 300 Gys; Figura 18B), houve a formação de dez classes fenotípicas com amplitude de 19,31 a 46,42, sendo que na classe de 40,5 observou-se a presença de 39 famílias, já na classe de 22,5 não foi verificada a presença de nenhuma família. Sendo que maior concentração das famílias estão contidas à direita da média. Nota-se que 55,4% das famílias apresentaram maior índice de clorofila total em comparação a testemunha BRS Pampeira na condição inicial estresse por deficit hídrico, em contrapartida, 16,21% famílias apresentaram maiores índices de clorofila total em relação a testemunha BRS Pampeira na condição controle.

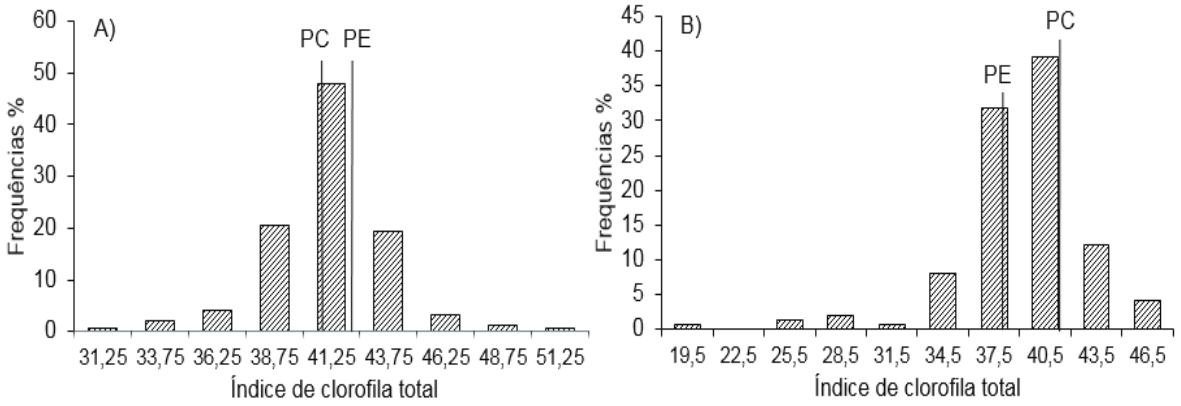


Figura 18- Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B) para o caráter índice de clorofila total1, submetidas ao estresse por deficiência hídrica no estádio reprodutivo R_2 (início do estresse). PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020.

Quanto ao resultado da distribuição de frequências das famílias (250 grays) para o caráter clorofila a2 avaliada durante o período intermediário de estresse hídrico (Figura 19A), foi possível observar a formação de 9 classes fenotípicas, com amplitude de 23,66 a 35,53, sendo que a classe de 29,25 apresentou um grupo de 33 famílias. Isto permitiu classificar a distribuição como leptocúrtica, assim como a tendência da curva à direita da média. Assim, 48,70% das famílias apresentaram maior concentração de teores de clorofila a em relação a testemunha BRS Pampeira na condição intermediária de estresse por seca. Em contrapartida, 6,7% das famílias apresentaram índices superiores de clorofila em relação a BRS Pampeira na condição controle.

Quanto ao caráter clorofila a2 (Figura 19B) os resultados evidenciaram a formação de 9 classes fenotípicas, sendo que a classe 31,5 conteve 41 famílias. Assim, 13,52% das famílias apresentaram menor teor clorofila a em relação a testemunha BRS Pampeira na condição do período intermediário de estresse por deficit hídrico, em contrapartida, 4,06% das famílias apresentaram índices superiores de clorofila a em relação a cultivar BRS Pampeira na condição controle.

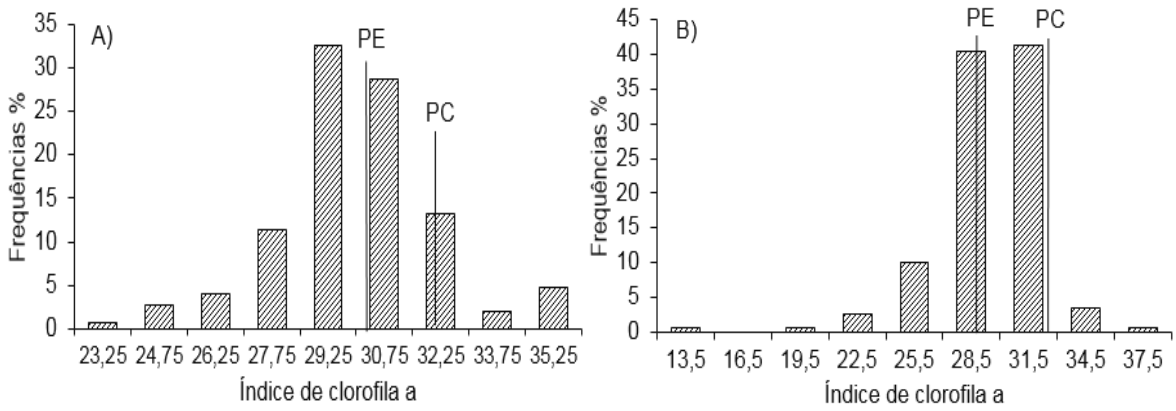


Figura 19- Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B) , submetidas ao estresse por deficiência hídrica no estádio reprodutivo R2 (período intermediário do estresse), para o caráter índice de clorofila a (Cl a2). PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020.

A distribuição de frequências das famílias para o caráter clorofila b2 na etapa intermediária estresse hídrico (Figura 20A), evidenciou a formação de nove classes fenotípicas, com amplitude de 6,28 e 12,65, sendo que a classe 9,6 compreendeu 34 famílias. A média geral da população foi de 9,87, muito próximo ao valor da média da testemunha BRS Pampeira na condição estresse (9,73) e controle (11,79). Observou-se que 34% das famílias apresentaram maior concentração de clorofila b em relação a testemunha BRS Pampeira na condição intermediária de estresse por deficit hídrico, em contrapartida, 4,67% das famílias obtiveram maiores índices de clorofila b em relação a testemunha BRS Pampeira na condição controle.

O caráter clorofila b2 (300 grays) no período intermediário de estresse (Figura 20B) apresentou a formação de nove classes fenotípicas onde a classe 9 compreendeu 32 famílias, e o valor de amplitude foi de 4,32 a 12,10. Um total de 55,1% das famílias apresentaram maior concentração de clorofila b em relação a testemunha BRS Pampeira na condição intermediária de estresse por deficiência hídrica, em contrapartida, 2,04% das famílias apresentaram maiores índices de clorofila b em relação a cultivar BRS Pampeira na condição controle.

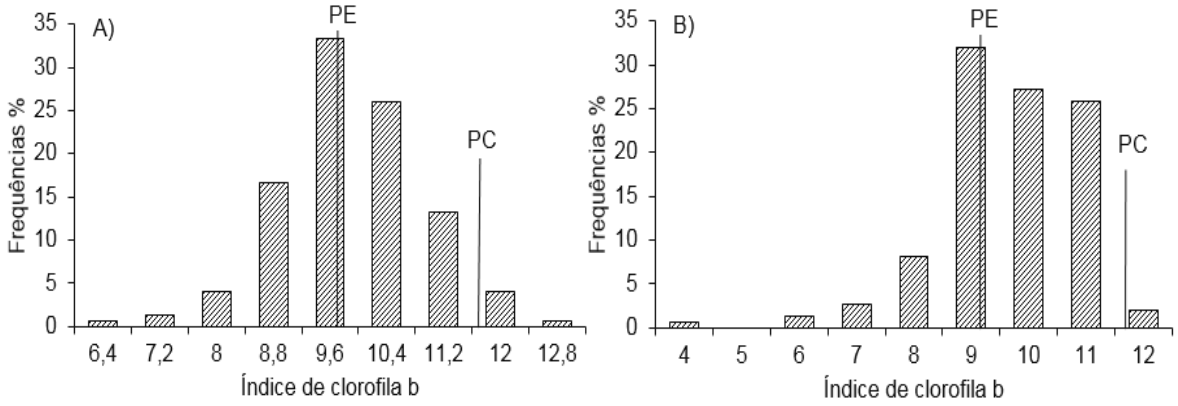


Figura 20- Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B) submetidas ao estresse por deficiência hídrica no estádio reprodutivo (período intermediário do estresse) para o caráter índice de clorofila b (Cl b2). PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL,2019/2020.

Para o caráter relação entre os índices de clorofila (RCla2/b2) da população de 250 grays no período intermediário de estresse hídrico (Figura 21A), é possível observar a formação de 9 classes fenotípicas, com amplitude de 2,41 a 4,11, sendo que a classe 2,9 conteve 24 familias.

Neste trabalho, essa menor Rcla2/b2 apresentada por grande parte das famílias, pode ter ocorrido em razão do estresse por falta de água, a arquitetura das folhas e o próprio ambiente protegido (*shelter*) em que as plantas foram submetidas, todos estes são fatores que podem promover a redução da intensidade de luz nas plantas ou folhas e consequentemente menores relações entre os índices de clorofila (JINWEN *et al*., 2009).

Para o caráter relação entre os índices de clorofila (RCla2/b2; Figura 21B), a distribuição dos dados (300 grays) mostraram formação de nove classes fenotípicas, com amplitude de 2,03 a 6,76. Obteve-se três classes (5,1; 5,7; 6,3) com nenhuma família e três classes (2,1; 4,5; 6,9) contendo uma família cada, sendo que a classe 3,3 compreendeu 49 famílias. Assim, 54,01% das famílias apresentaram maiores valores de relação de clorofila do que a testemunha BRS Pampeira na condição de estresse, e, 54,06% das famílias evidenciaram maiores relação de teores de clorofila comparando com a testemunha BRS Pampeira na condição controle.

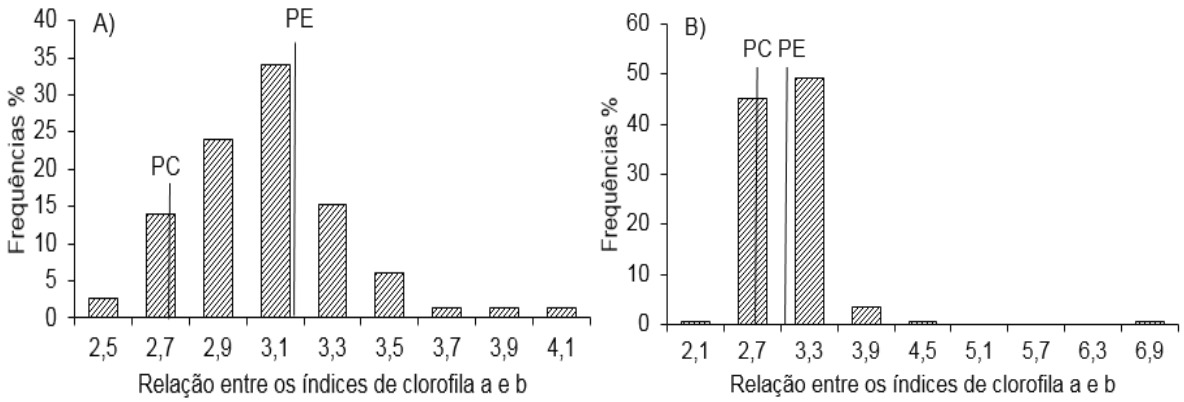


Figura 21- Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B), submetidas ao estresse por deficiência hídrica no estádio reprodutivo (período intermediário do estresse) para o caráter relação entre os índices de clorofila a/b (Cl a2/b2). PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL,2019/2020.

Em relação ao caráter índice de clorofila total2 (250 grays) durante período intermediário de estresse hídrico (Figura 22A) foi possível observar a formação de nove classes fenotípicas, com amplitude 30,85 a 47,33, sendo que a classe 41 agrupou 32 famílias mutantes. Assim, 48% das famílias apresentaram maior índice de clorofila total em relação a testemunha BRS Pampeira na condição de período intermediário de estresse por deficit hídrico, e, 8,66% das famílias apresentram índice de clorofila total superiores em comparação a cultivar BRS Pampeira na condição controle.

Para o caráter índice de clorofila total2 (Figura 22B; 300 grays), foi possível observar a formação de oito classes fenotípicas, sendo que a classe 40 conteve 55 famílias. Assim, 73,64% das famílias apresentaram maiores valores de índice de clorofila total em comparação com a testemunha BRS Pampeira na condição intermediária de estresse por restrição hídrica, e 1,35% das famílias evidenciaram índice de clorofila total superiores à testemunha BRS Pampeira na condição controle.

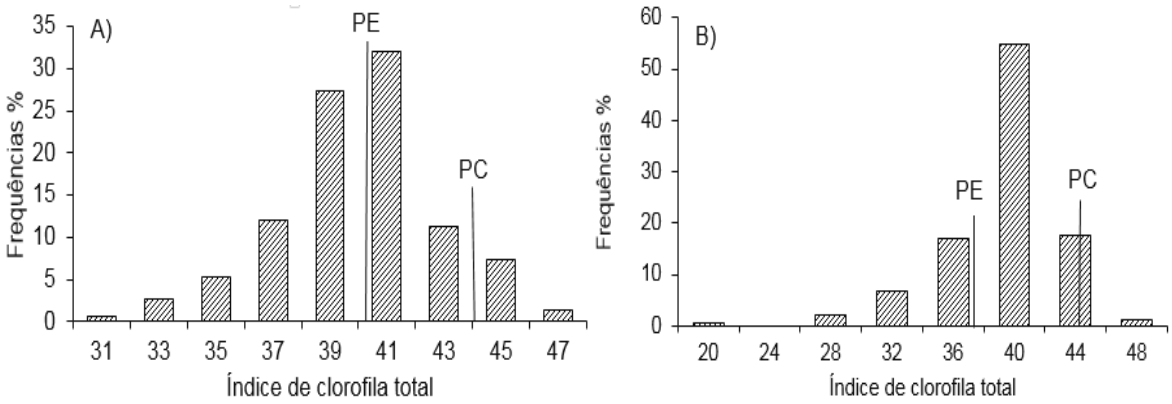


Figura 22- Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B) submetidas ao estresse por deficiência hídrica no estádio reprodutivo (período intermediário do estresse) para o caráter índice de clorofila total (Cl total2). PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse;PC=Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle) CGF/UFPEL,2019/2020.

Quanto ao resultado do índice clorofila a3 (250 grays), após o fim do estresse hídrico (Figura 23A), pode-se observar a formação de nove classes fenotípicas, sendo que a maior concentração das famílias estão contidas no centro. Nota-se que 41,33% das famílias apresentaram maior concentração de teor de clorofila a em relação a testemunha BRS Pampeira tanto na condição de estresse hídrico, como na condição controle. A média geral da população foi de 24,39, semelhante à média da testemunha BRS Pampeira com estresse (24,39) e sem estresse (controle) (24,45) por falta de água.

A distribuição de frequência das famílias (300Gy) para o caráter índice clorofila a (Cl a3) após o fim do estresse hídrico (Figura 23B), obteve 41,33% das famílias com maiores valores de índice de clorofila a3 em relação a testemunha BRS Pampeira tanto na condição de estresse por deficiência hídrica, quanto na condição controle.

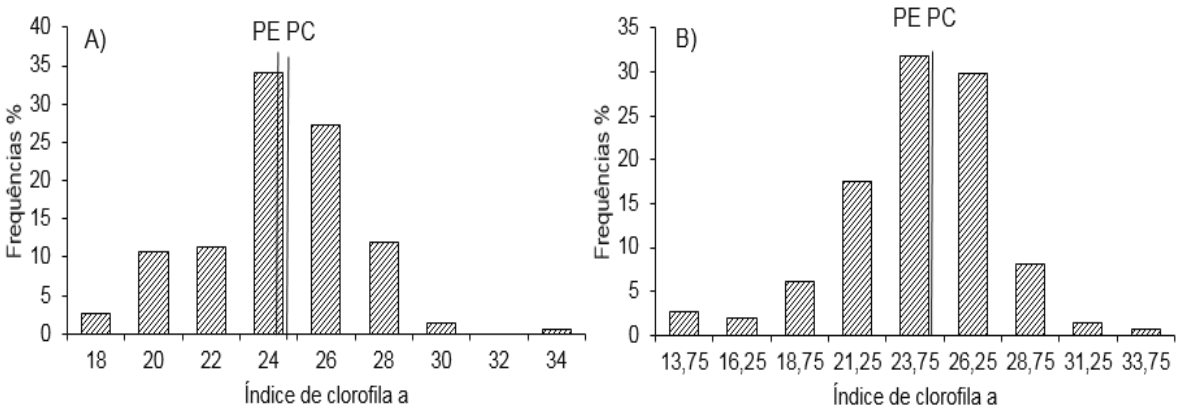


Figura 23- Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B), após o fim do estresse por deficiência hídrica, (período final do estresse) para o caráter índice de clorofila a (Cl a3). PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020.

Para o caráter de clorofila b3 (250 gray) após o fim do estresse hídrico (Figura 24A), ocorreu a formação de nove classes fenotípicas, com um valores que oscilam de 4,68 a 9,40, sendo que a classe 6,9 agrupou 24 famílias mutantes M_3. Assim, 43,33% das famílias demonstraram maiores valores de índices de clorofila b3 em comparação com testemunha BRS Pampeira em condição de estresse por deficit hídrico e, a cultivar BRS Pampeira na condição controle.

Em relação a distribuição das famílias mutantes M_3 após o fim do estresse hídrico para o caráter clorofila b (300 grays) (Figura 24B), verificou-se a formação de 8 classes fenotípicas com amplitude de 3,83 a 11,09, sendo que a classe 7 agrupou 36 famílias. Tendo-se maior concentração das famílias à esquerda da média geral das famílias. Obteve-se 25,68% das famílias com maiores índices de clorofila b, quando comparada com testemunha BRS Pampeira nas duas condições ambientais (com e sem estresse por deficit hídrico).

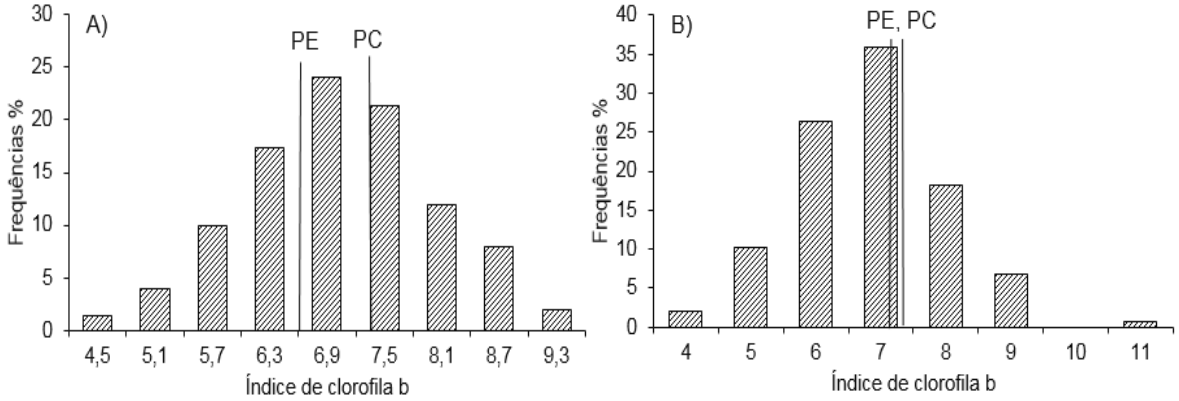


Figura 24- Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B), após o fim do estresse por deficiência hídrica (período final do estresse) para o caráter índice de clorofila b (Cl b3). PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse; PC=Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle). CGF/UFPEL, 2019/2020.

Quanto à relação entre os índices de clorofila a3/b3 (Figura 25A) após do período de estresse, houve a formação de nove classes fenotípicas, tendo-se maior concentração das famílias presentes à esquerda da média geral das famílias (Tabela 1). Sendo que, 27,34% das famílias apresentaram maiores valores da relação de indice de clorofila, em comparação a testemunha BRS Pampeira nas duas condições ambientais (com e sem estresse por deficit hídrico).

Quanto a relação entre índices de clorofila a3/b3, para a população de 300 grays (Figura 25B) após do período estresse, a população expressou a formação de dez classes fenotípicas, com de amplitude 2,33 a 5,07, sendo que a classe 3,6 compreendeu 37 famílias. Verificou-se que 7,44% das famílias apresentram maiores valores para a relação entre índices de clorofila a/b em comparação a testemunha BRS Pampeira em condição de estresse por deficit hídrico, e 8,11% das famílias apresentaram menores valores para a relação entre índices de clorofila a/b em comparação a testemunha BRS Pampeira na condição controle.

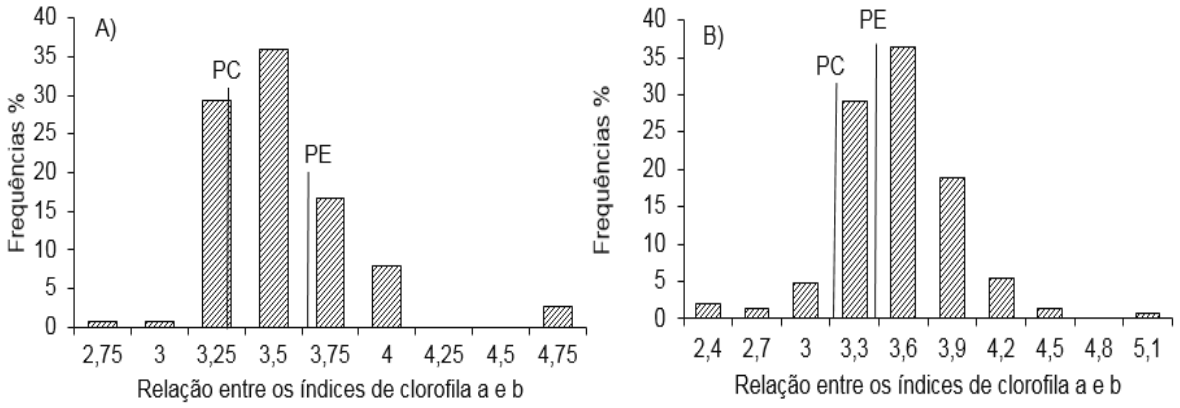


Figura 25- Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B), após o fim do estresse por deficiência hídrica (período final do estresse) para o caráter relacao entre índice de clorofila a/b (Cl b3). PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse;PC=Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle).CGF/UFPEL,2019/2020.

Em relação à clorofila total3 após o fim do estresse hídrico, (Figura 26A), os resultados da distribuição de frequências demonstraram a formação de oito classes fenotípicas, com amplitude de 23,10 a 41,44, sendo que a classe 31,25 conteve 29 famílias. Observou-se que 68,66% das famílias apresentaram maiores valores de índice de clorofila total em relação a testemunha BRS Pampeira na condição de estresse por deficiência hídrica, e, 40% das famílias apresentaram maiores índices de clorofila total em comparação a testemunha BRS Pampeira na condição controle.

Quanto ao caráter clorofila total (dose 300 grays) (Figura 26B), a análise de distribuição permitiu a formação de nove classes fenotípicas, com amplitude de 16,87 a 41,79, sendo que a classe 33 reuniu 31 famílias. Observa-se que 50,68% das famílias apresentaram maior valores de índices de clorofila total em relação a testemunha BRS Pampeira tanto na condição de estresse por deficit hidrico, como na condição controle.

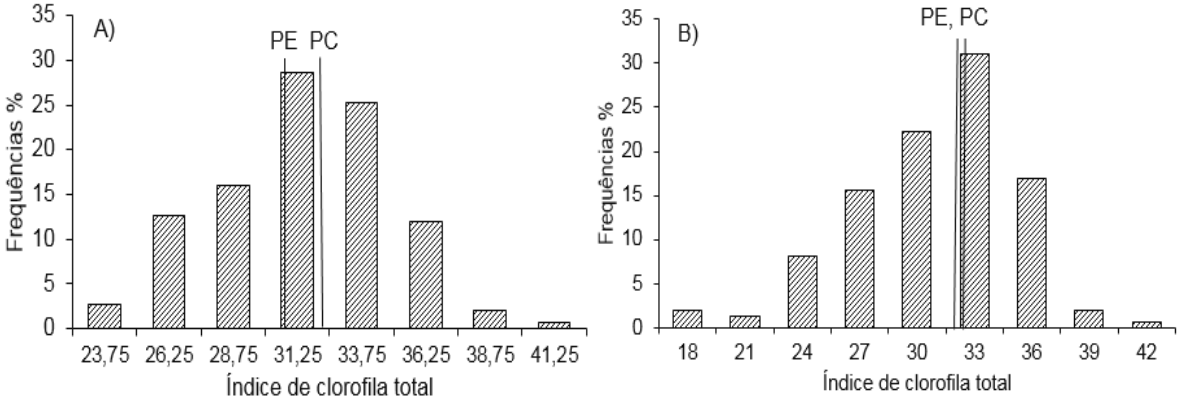


Figura 26- Distribuição de frequências de famílias mutantes de arroz irradiadas com uma dose de 250Gy (A) e 300Gy (B), após o fim do estresse por deficiência hídrica (período final do estresse) para o caráter relação entre índice de clorofila total. PE= Média da cultivar BRS Pampeira com estresse;PC= Média da cultivar BRS Pampeira sem estresse (controle).CGF/UFPEL, 2019/2020.

O teor de clorofila é considerado como uma das respostas adaptativas das espécies às diferentes condições ambientais que podem refletir no crescimento das plantas (HU *et al.,* 2004; FAROOQ *et al.*, 2009). A deficiência hídrica é um dos fatores externos responsáveis pela degradação das clorofilas em tecidos senescentes e pelo aumento dos níveis de etileno nas plantas (REDDY *et al.,* 2004). Plantas com maiores teores de N e consequentemente maior concentração de clorofilas possuem menor relação de clorofilas a/b e ainda que, plantas ou folhas que são submetidas a menores intensidades luminosas possuem menores relações entre os índices de clorofila, o que pode ser a razão para que as relações variem (CANCELLIER *et al*., 2013). Encontraram-se valores variando entre 2,7 e 4,3 em arroz irrigado em terras altas, no município de Gurupi (TO), no campo experimental da Universidade Federal do Tocantins, no ano agrícola 2009/2010 e na China se encontraram valores variando entre 1,3 e 2,7 (JINWEN *et al*., 2009).

5.4 Análise de correlação entre caracteres avaliados em famílias mutantes de arroz M_3 sob estresse por deficiência hídrica

A correlação entre as variáveis é de grande importância em programas de melhoramento de plantas quando se deseja realizar a seleção ao mesmo tempo um caráter de interesse que apresente baixa herdabilidade ou quando o caráter é de difícil mensuração e identificação. A análise de correlação entre caracteres, permite conhecer os efeitos causados pela seleção e explicar a ligação gênica e correlação genética dada por pleiotropia dos genes. Para os melhoristas o conhecimento do grau de associação entre variáveis é de grande importância, principalmente porque a seleção sobre determinado caráter pode alterar o comportamento do outro (LUZ, 2011). Por último, estratégias de seleção de genótipos de interesse em populações desenvolvidas em programas de melhoramento podem ter caracteres com alta correlação (CRUZ, 2012; CARNEIRO, 2012).

Na Tabela 8 é apresentada a análise das estimativas das correlações de Pearson entre os os caracteres avaliados, em famílias mutantes de arroz (250 grays). Segundo MUKAKA (2012), podem-se classificar os níveis das magnitudes dos coeficientes de correlação estatística ou coeficiente de Pearson para cada caráter em: Muito baixa (0,00-0,30); Baixa (0,30 -0,50); Moderada (0,50 -0,70); Forte (0,70 -0,90) ,e Muito forte (0,90 - 1,00).

Tabela 8- Estimativas das correlações entre os caracteres avaliados em famílias mutantes de arroz M_3 (250 grays). CGF/UFPEL,2019/2020.

	NE	NA	DFL	ALT	CPA	NPL	PPAN	NEE	NEF	PROD	CLOA1	CLOB1	CLOA2	CLOB2	CLOA3	CLOB3
NE	-	-0,20*	0,51*	-0,31*	-0,41*	-0,20*	-0,12	-0,06	0,14	-0,06	0,10	-0,24*	-0,11	-0,05	-0,09	-0,13
NA		-	-0,08	0,17*	0,05*	0,29*	0,14	-0,10	0,01	0,19*	-0,03	0,15	0,06	0,05	-0,01	0,01
DFL			-	-0,59*	-0,63*	-0,21*	-0,24*	-0,02	0,09	-0,19*	0,34*	-0,11	-0,11	-0,17*	0,00	-0,01
ALT				-	0,53*	0,30*	0,40*	-0,15	-0,02	0,21	-0,26*	0,12	0,15	0,22*	0,15*	0,20*
CPA					-	0,28*	0,45*	-0,01	0,02	0,28*	-0,14	0,13	0,12	0,05	0,11	0,13
NPL						-	0,35*	-0,02	-0,07	0,19*	-0,05*	-0,04	0,17*	0,16*	0,03	0,12
PPAN							-	-0,41*	-0,04	0,55*	-0,15*	-0,03	-0,14	-0,13	-0,08*	0,00
NEE								-	0,06	-0,45*	0,21*	0,08*	0,12	0,17*	0,07*	-0,01*
NEF									-	0,02	0,00	-0,06	0,06	-0,06	-0,13	-0,10
PROD										-	-0,23*	-0,09	-0,13	-0,09	-0,11	0,00
CLOA1											-	0,33*	0,12	0,10	0,08	0,08
CLOB1												-	0,08	-0,01	0,10	0,06
CLOA2													-	0,53*	0,25*	0,28*
CLOB2														-	0,24*	0,23*
CLOA3															-	0,76*
CLOB3																-

NE=Nota de sintoma de estresse (visual); NA= Número de afilhos; DFL= Dias para o florescimento (dias); ALT=Altura de planta (cm); CPA= Comprimento de panícula (cm); NPL=Número de panículas por linha, PPAN=Peso de panícula (g); NEE=número de espiguetas estéreis por panícula (uni);NEF=Número espiguetas férteis por panícula (uni) ;PROD = produtividade; CLOB1= índice de clorofila a no início estresse ;CLOB1=índice de clorofila B no início estresse; CLOA2=índice de clorofila A no período intermediário do estresse hídrico; CLOB2=índice de clorofila B no período intermediário do estresse hídrico; CLOA3= índice de clorofila A após o período de 10 dias de estresse hídrico; CLOB3= índice de clorofila B após o período de 10 dias de estresse hídrico. *Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro.

As análises de correlação de Pearson apresentados na Tabela 8 demonstraram que o coeficiente de correlação, para a variável nota de sintoma de estresse (NE), mostrou correlação significativa positiva, moderada (0,51) com a variável dias de florescimento (DFL). Trabalhos desenvolvidos por WEI *et al*., (2010); VERMA *et al*., (2004); SILVA, (2016); LACK *et al.,* (2012); LAGO *et al*., (2009), demonstram que o caráter dias para o florescimento (DFL), é uma das variáveis quantitativas de grande importância em programas de melhoramento de arroz e apresenta uma correlação significativa com a produtividade de grãos de arroz. Por outro lado, a variável nota estresse (NE), se comporta de maneira significativa negativa e com magnitude baixa com altura das plantas (-0,31) e comprimento de panícula (-0,41), o que indica que estresse hídrico reduz de forma significativa a altura das plantas e comprimento das plantas. Outro fato indica que as famílias mais tardias apresentaram maiores sintomas do estresse por seca, além do que, ambos caracteres (NE e DFL) apresentam correlação negativa e muito baixa quando comparadas a número panícula por linha (NPL) (-0,20 e -0,21).

O caráter comprimento de panícula (CPA) apresentou correlação positiva moderada para o caráter altura de planta (ALT) (0,53). Por outro lado, altura de planta (ALT) mostrou correlação significativa, positiva muito baixa com os caracteres, número panículas por linha (NPL) (0,30), índice clorofila b no período intermediário do estresse hídrico (Cl b2) (0,22) e índice clorofila b (Cl b3) (0,20) após o período de 10 dias de estresse hídrico. No entanto, a altura de planta mostrou uma correlação negativa e moderada com variável dias de florescimento (0,59).

Para caráter número de afilhos (NA) (Tabela 8), no ambiente com estresse hídrico correlacionou-se significativa e positivamente com altura (ALT) sendo classificado como baixo (0,173), NPL (0,241) e Cl b1 (0,174). De igual modo que o comprimento da panícula (CPA) apresentou correlação positiva, muito baixa com os caracteres número panícula por linhas (NPL) (0,259), e índice clorofila a no período intermediário do estresse hídrico (Cl a2) (0,221).Observou-se que para o caráter número panícula por linhas (NPL) um coeficiente de correlação positivo em relação a variável produtividade de valor 0,19 considerado bem fraco e baixo com peso de panícula.

O número espiguetas férteis (NEE) recionou-se de maneira negativa e baixa com a produtividade e muito flaca com a clorofila b (CLOB3) após o período de 10 dias de estresse hídrico (-0,45; -0,03); e positiva e de forma muito baixa com clorofila a no início do estresse (CLOA1), clorofila b no início do estresse (CLOB1) (0,21; 0,08).

A análise de correlação de Pearson demonstrou que o coeficiente de correlação entre produtividade e clorofila a, medida no começo do estresse (Cl a1) apresentou uma associação significativa negativa, e baixa (-0,23). De fato, foi o único índice de clorofila que se correlacionou significativamente com a produtividade.

Na Tabela 9, para o caráter nota de sintoma de estresse por seca (NE) pode-se observar uma correlação negativa de muito baixa magnitude com número de afilhos (NA) (-0,21), comprimento de panícula (CPA) (-0,20), peso de panícula (PPAN) (-0,23), clorofila a no início do estresse (-0,22) e clorofila a após o período de 10 dias de estresse hídrico (CLOA3) (-0,15). A variável número de afilhos (NA) apresentou correlação significativa positiva baixa com o número depanículas por linha (NPL) (0,40).

Pode-se observar também que o caráter dias para o florescimento comporta-se de forma significativa negativa e moderada com a altura de plantas (ALT) (-0,65), comprimento de panícula (-0,55), e demonstrou, também, correlação de magnitude negativa e baixa com número de panículas por linha (NPL) (-0,39), peso de panícula (PPAN) (-0,31), número de espiguetas férteis por panícula (NEF) (-0,36) e muito baixa de maneira negativa com o caráter produtividade (PROD)(-0,28), índice de clorofila a no início (CLAO1), intermediário (CLOA2) , após o período de 10 dias de estresse hídrico (CLOA) (-0,21;-0,17; -0,17).

Tabela 9-Estimativas das correlações entre os caracteres avaliados em famílias mutantes de arroz M_3 (300 grays). CGF/UFPEL,2019/2020.

	Famílias mutantes (300 Grays)															
	NE	**NA**	**DFL**	**ALT**	**CPA**	**NPL**	**PPAN**	**NEE**	**NEF**	**PROD**	**CLOA1**	**CLOB1**	**CLOA2**	**CLOB2**	**CLOA3**	**CLOB3**
NE	-	-0,21*	0,13	-0,15	-0,20*	-0,13	-0,23*	-0,12	-0,12	-0,11	-0,22*	-0,10	0,06	-0,11	-0,15*	-0,05
NA		-	0,02	-0,07	0,12	0,40*	0,01	0,08	0,04	0,13	0,03	-0,02	0,06	0,25*	-0,05	-0,03
DFL			-	-0,65*	-0,55*	-0,39*	-0,31*	-0,01	-0,36*	-0,28*	-0,21*	-0,10	-0,17*	-0,18*	-0,17*	-0,12
ALT				-	0,70*	0,51*	0,37*	0,01	0,40*	0,33	0,29*	0,20*	0,27*	0,27*	0,27	0,19
CPA					-	0,61*	0,29*	0,19*	0,26*	0,21*	0,22*	0,18*	0,30	0,37	0,10	0,13
NPL						-	0,27*	0,03	0,22*	0,13*	0,06	0,06	0,13	0,20*	-0,03	0,04
PPAN							-	0,03	0,53	0,48	0,16*	0,16*	0,18*	0,13	0,05*	0,07*
NEE								-	-0,29*	-0,24*	0,21*	0,22*	0,09	0,19*	0,13	0,01
NEF									-	0,90*	0,01	0,01	0,14	-0,01	0,01	0,07
PROD										-	0,04	0,05	0,01	-0,02	-0,02	0,05
CLOA1											-	0,66*	0,11	0,08	0,06	0,01
CLOB1												-	0,14	0,18	0,05	0,03
CLOA2													-	0,67*	0,02	-0,01
CLOB2														-	0,13	0,08
CLOA3															-	0,77*
CLOB3																-

NE=Nota de sintoma de estresse (visual); NA= Número de afilhos; DFL= Dias para o florescimento (dias); ALT=Altura de planta (cm); CPA= Comprimento de panícula (cm); NPL=Número de panículas por linha, PPAN=Peso de panícula (gr); NEE=número de espiguetas estéreis por panícula (uni);NEF=Número espiguetas férteis por panícula (uni) ;PROD = produtividade; CLOB1= índice de clorofila a no início estresse;CLOB1=índice de clorofila B no início estresse; CLOA2=índice de clorofila A no período intermediário do estresse hídrico; CLOB2=índice de clorofila B no período intermediário do estresse hídrico; CLOA3= índice de clorofila A após o período de 10 dias de estresse hídrico; CLOB3= índice de clorofila B após o período de 10 dias de estresse hídrico. *Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Verificou-se uma correlação significativa moderada e positiva para o caráter ALT com variáveis: comprimento de panícula (CPA) (0,70), número de panículas por linha (NPL) (0,51), mostrou-se também uma correlação significativa com peso de panícula (PPAN) (0,37), número espiguetas férteis por panícula NEF,(0,40) e apresentou correlação positiva e de muito baixa magnitude com índice de clorofila a (CLOA1) e índice de clorofila b no início estresse (CLOB1) de mesmo valor (0,27). Entretanto o caráter comprimento de panícula (CPA) apresentou correlação positiva e de moderada magnitude com a variável número de panículas por linha (NPL) (0,61) e também apresentou uma correlação positiva e de muito baixa magnitude com os caracteres: peso de panícula (PPAN) (0,29), número de espiguetas estéreis por panícula (NEE) (0,19), número espiguetas férteis por panícula (NEF) (0,26), produtividade (PROD)(0,21) e índice de clorofila a e b no início do estresse (0,22;0,18).

O caráter número de panículas por linha correlacionou-se de modo significativo e de muito baixa magnitude com as variáveis: peso de panícula (PPAN)(0,27), número espiguetas férteis por panícula(NEF) (0,22), produtividade (PROD)(0,13) e clorofila b no no período intermediário do estresse (0,21). Por outro lado, a variavel peso de panícula (PPAN) apresentou um valor significativo positivo e de magnitude muito baixa com, índice de clorofila a e b no início do estresse, clorofila a no período intermediário do estresse hídrico e índice de clorofila a e b após o período de 10 dias de estresse hídrico.

Para o caráter número de espiguetas estéreis por panícula (NEE) evidenciou-se uma correlação significativa negativa e de muito baixa magnitude com caráter número espiguetas férteis por panícula (NEF) (-0,29) e produtividade (PROD)(-0,24). Por outro lado, a produtividade mostrou uma correlação positiva significativa e de forte magnitude com número espiguetas férteis por panícula (0,90). Pode-se observar na Tabela 9, de modo ainda mais contundente, que a produtividade não teve correlacão com qualquer índice de clorofila para as famílias mutantes geradas a partir da dose de 300 grays.

5.5 Conclusões

As análises de distribuição de frequências revelaram as diferentes classes fenotípicas em que foram divididas as famílias em relação aos índices de clorofila, demonstrando uma variabilidade genética na população de linhagens mutantes para tolerância a seca.

Nas condições de estresse por seca do presente trabalho não foi possível detectar a existência de associação de alta magnitude entre os caracteres agronômicos e os índices de clorofila nas populações avaliadas.

6 Considerações finais e perspectivas futuras

Este trabalho faz parte de um projeto de longa duração, ao qual ao final se espera a obtenção de linhagens mutantes de arroz com melhorada tolerância à seca e superioridade para desempenho agronômico. O projeto também servirá como um modelo para futuras iniciativas com objetivo similar, inclusive considerando o enfoque na avaliação de parâmetros de clorofila. Atualmente, o mesmo experimento desse capítulo está sendo repetido, porém com nova composição das populações mutantes, e com diversas melhorias metodológicas.

Referências Bibliográficas

ABREU, H. K. A. et al. Genetic parameters, correlations and path analysis in upland rice genotypes. **Bioscience Journual,** v.32, n. 2, p. 354-360, 2016.

ADRIANA L. M.; BROETTO,F.; MORO, E. Relação hídrica e teor de clorofila em dois cultivares de arroz submetido à deficiência hidrica e adubação silicatada. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 3, p. 570-586, julho - setembro, 2015.

ANDRADE, F. R. et al. Selenium protects rice plants from water deficit stress. **Ecotoxicol**. **Environ.** n. 164, p. 562-570. 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.022.

ANJUM, F. et al. Global impact of mutationderived varieties**. Euphytica,** n. 135, p.187–204, 2004.

ANJUM, S. Water stress in barley (Hordeum vulgare L.). I. Effect on chemical composition and chlorophyll contents. **Pakistan Journal of Agricultural Science**, Faisalabad, v. 40, p. 45-49, 2003.

ARF, O. et al. Resposta de cultivares de arroz de sequeiro ao preparo do solo e à irrigação por aspersão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 871-79, 2001.

ARIF, Y. et al. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. **Plant Physiology**. Biochem.v.156. p. 64-77., 2020. DOI:< https://doi.org/10.1016/j.plaphy 2020.08.042>.

ARNHOLD, E.; MILANI, K. F. Rank-ordering coefficients of variation for popping expansion. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 527–531, 2011.

AZIZ, R. M. at al. Effects of haze on net photosynthetic rate, stomatal conductance and yield of Malaysian rice (Oryza sativa L.) varieties. **J. Trop. Agric. and Fd**. Sc 46(2): p. 157–169, 2018.

BABU,R.C. et al. Genetic analysis of drought resistance in rice by molecular markers: association between secondary traits and field performance. **Crop Science**, v.43, p.1457‑1469, 2003.DOI: 10.2135/cropsci2003.1457.

BANIK, S. Testing the Population Coefficient of Variation. **Journal of Modern Applied Statistical Methods**, v. 11, n. 2, p. 325–335, 2012.

BEGG, J. E. Y N. C.; TURNER 1976. **Crop water deficits**. Adv. in Agr.28: p.161-217.

BITA, C. E.; GERATS, T. Plant tolerance to high temperature in a changing environment: Scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. **Frontiers in Plant Science**, v.4, p. 1-18, 2013.

BORGES, V. et al. Desempenho genotípico de linhagens de arroz de terras altas utilizando metodologia de modelos mistos. **Bragantia**, v. 69, p. 833-841, 2010. DOI: 10.1590/S0006-87052010000400008.

BRAY E.A.; BAILEY-SERRES J ; WERETILNYK E. Responses to abiotic stresses. In: GRUISSEM, W. B. B.; JONES, R. (Eds.). Biochemistry and Molecular Biology of Plants. **American Society of Plant Physiologists**. Rockville. M D, p. 1158-1249, 2000.

BUCHANAN, B.B., GRUISSEM, W.; JONES, R.L. Biocheministre and molecular Biology of plants. **American society of plant physiologists**, Rockville Maryland., v. 40, 2000.

CANCELLIER, E. L. et al. Eficiência agronômica no uso de nitrogênio mineral por cultivares de arroz de terras altas. **Agrária**, Recife, v.6, n.4, p.650-656, 2011.

CANCELLIER, E. L. et al. Índices de clorofila em partes da planta de arroz de terras altas. **Revista Verde** (Mossoró – RN - Brasil), v. 8, n. 1, p. 199 – 206, jan/mar de 2013.

CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G**.** Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal. Pelotas: UFPel, 2004. 42 p.

CASTRO, ADRIANO, P. Tolerância à Deficiência Hídrica na Cultura do Arroz de Terras Altas. **INFORME AGROPECUÁRIO** (BELO HORIZONTE), v. 39, p. 55-66, 2018.

CATTIVELLI, L. et al. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrative view from breeding to genomics**, Field Crop. Res**.v. 105, p.1–14, 2008.

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

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Produção de Arroz. **Disponível em:** http://www.conab.gov.br. Acesso em 21 de dezembro de 2018.

COSTA, N. H. de. et al. Novo método de classificação de coeficientes de variação para a cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 3, p. 243–249, 2002.

COUNCE, P. A; KEISLING T. C; MITCHELLA, A. J. Uniform, Objective, and Adaptive System for Expressing Rice Development. **Crop Science,** v.40, p. 438–441, 2000.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Produtividade do arroz de terras altas em função de lâminas de água e da adubação mineral. **Científica**, v.31, p.189-200, 2003a.

CRUZ, C. D. **Programa genes**: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2001. 648 p.

CUTLER, J. M.; SHAHAN, K. W.; STEPONKUS, P. L. Dymamics of osmotic adjustment in rice.Crop Sci. v.20,p.310-314,1980.

CUSHMAN, J. C. Osmoregulation in plants: implications for agriculture. **Amer. Zool**. v.41, p. 758-769, 2001.

DAWSON, J. C.; HUGGINS, D. R.; JONES, S. S. Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agricultural systems**. Field Crops Research, Amsterdam**, v.107, n.2, p.89-101, 2008.

DEEPAK , K. R. et al. Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050,Institute on the Environment (IonE), University of Minnesota, Saint Paul, Minnesota, United States of America.**Plos one**, p.1,2013.

DEGENKOLBE, T. et al. Expression profiling of rice cultivars differing in their tolerance to long-term drought stress. **Plant Mol. Biol.** v. 69, p. 133–153, 2009.

DE OLIVEIRA, R. L. et al. Precisão experimental em ensaios com a cultura do feijão. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 33, n. 1, p. 113–119, 2009.

DESOUZAR. Peço água. 2010. Disponível em: <http://pt.engormix.com/MAavicultura/administracao/artigos/agua-na-agricultura-t353/124-p0.htm >. Acesso em: 25 mai. 2013.

DUAN, L. et al. Determination of rice panicle numbers during heading by multi-angle imaging. **The Crop Journal**, v. 3, p. 211-219, 2015. DOI; https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.03.002.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Cultivo do arroz irrigado no Brasil. 2005. Disponível em <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/cap01.htm >. Acesso em: 25 mai. 2013.

FAGERIA, K. F. Eficiência do uso de potássio pelos genótipos de arroz de terras altas. Pesquisa agropecuária brasileira, v. 35, n.10, p. 2115-2120, 2000.

FILHO, D.F.; FORNASIERI, J. L. **Manual da Cultura do Arroz**. Jaboticabal: Funep, 2006. 589p.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; STONE, L. F. Manejo de nitrogênio em arroz irrigado. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 2003. **Circular Técnica**, p.58.

FAROOQ, M. et al. Improving the drought tolerance in rice (Oryza sativa L.) by exogenous application of salicylic acid. J. Agron. **Crop Sci**.2009.doi:10.1111/j.1439-037X.2009.00365.x.

FAROOQ, M. et al. Physiological role of exogenously applied glycinebetaine in improving drought tolerance of fine grain aromatic rice (Oryza sativa L.). J.Agron. **Crop Sci**. v. 194 p.325–333, 2008.

FERREIRA, J. P. et al. Comparison of methods for classification of the coefficient of variation in papaya. **Revista Ceres**, v. 63, n. 2, p. 138–144, 2016.

FALCONER, D. S. Introdução à genética quantitativa. Viçosa, MG: **UFV**, Impr. Univ. 1981, 279p.

FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA LTDA. Equipamento eletrônico portátil para medição do teor de clorofila em plantas.

BUAES, A. G.; DELVAN, F. H.; SILVA, M. A. M. **Patente Brasileira**, Int. Cl. G01N 21/25, BR PI0705579-0 A2, 09/12/2008.

FAO, Food and Agriculture organization of the United Nations YEAR INTERNATIONALOF RICE 2004, www.rice2004.org**.** Acesso 2004.

FAO/IAEA**-** Food of Agriculture Organization of the United Nations and International Atomic Energy Agency. Mutant Variety Database. [accessed May 2020]. Available from: <http://mvd.iaea.org/>.

FAO/IAEA. **Manual on Mutation Breeding-Third edition**. Spencer-Lopes, M.M., Forster, B.P.; Jankuloski, L. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 2018. 301p.

FLEURY, D. et al. Genetic and genomic tools to improve drought tolerance in wheat. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 12, p. 3211–3222, 2010.

FISHER, K.S. et al. Breeding rice for drought-prone environments. **Los Bãnos**, IRRI, 2003, 98 p.

GAO J.P.; CHAO D.Y.; LIN, H.X. Understanding abiotic stress tolerance mechanisms: recent studies on stress response in rice, **Journal of Integrative Plant Biology**.v.49,p.742-750,2007.

GOMES, A. da S. Arroz irrigado: melhoramento genético, manejo do solo e da água e prognóstico climático. Pelotas, RS: **Embrapa Clima Temperado**, p.13-33, 2003. (Embrapa Clima Temperado: Documentos, 113).

GOMES, F. P. Curso de Estatística Experimental. 13.ed. **Piracicava**: ESALQ, 1990. 451 p.

GREENE, E. A. et al. Spectrum of chemically induced mutations from a large-scale reverse-genetic screen in Arabidopsis. **Genetics. V.** 164, p. 731–740, 2003.

GUIMARÃES, C. M.; CASTRO, A. P. de; L. F.,OLIVEIRA, J. P. Drought tolerance in upland rice: identification of genotypes and agronomic characteristics. **ActaScientiarum**. Agronomy, v. 38 n. (2), p. 201-206,2016.DOI: https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i2.27164

GUIMARÃES, C. M. et al. Sistemas de cultivo. In.: SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. A Cultura do Arroz no Brasil. **Embrapa Arroz e Feijão**, 2. Ed. rev. ampl. p 257-288. Santo Antônio de Goiás, 2006. 1000p.

HEINEMANN, A. B. et al. Characterization of drought stress environments for upland rice and maize in central Brazil. **Euphytica**, v. 162,n. 3, p. 395-410, 2008.

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F. Efeito da deficiência hídrica no desenvolvimento e rendimento de quatro cultivares de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.39,n. 2, p.134-139, 2009.

HENDRY, G. A.; LEA. P. J.; LEEGOOD, R. C. Plant biochemistry and molecular biology. Plant pigments. **Great Britain**,Bookcraft, 1993. p.181-196.

HIKOSAKA, K.; TERASHIMA, I. A. Model of the acclimation of photosynthesis in the leaves of C3 plants to sun and shade with respect to nitrogen use. **Plant Cell Environment**, Malden, v.18, p.605–618, 1995.

HU, J. et al. Effect of short-term drought onleaf water potential, photosynthesis and dry matter partitioning in paddy rice.Chin. J. App. **Ecol.** v. 15,p63–67, 2004.

IRRI (International Rice Research Institute). Annual report 2001-2002: rice research: the way forward. Los Baños (Philippines),**IRRI,** 2001, 71-119 p.

ISHIY, T. et al. Rice mutant cultivar SCS114 andosan. **Plant Mutation Reports**,v.1 n. 2, p. 25, 2006.

JACOBI, P. R.; FRACALANZA, A. P. Comitês de bacias hidrográficas no Brasil: desafios de fortalecimento da gestão compartilhada e participativa.2005.Disponívelem:<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/made/article/view/7816/5523>. Acesso em: 28 set. 2014.

JAGADISH, S. V. K.; CRAUFURD, P. Q.; WHEELER, T. R. High temperature stress and spikelet fertility in rice. **J. Exp. Bot**. v. 58,p.1627–1635, 2007.

JINWEN, L. et al. Responses of rice leaf thickness, SPAD readings and chlorophyll a/b ratios to different nitrogen supply rates in paddy field. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 114, n. 3, p. 426–432, 2009.

JIN, Y. et al. Rice male development under drought stress: phenotypic changes and stage‐dependent transcriptomic reprogramming.**Molecular Plant**,v.6, p.1630‐1645, 2013. DOI: 10.1093/mp/sst067.

JITHESH, M. N. et al. Antioxidative responsemechanisms in halophyte: their role in stress defense. **J. Genet**. v. 85, p. 237-254, 2006.

JONGDEE, B. et al. Improving drought tolerance in rainfed lowland rice: an example from Thailand. Agric. **Water Manag**. v .80, p. 225-240, 2006.

KATO, Y. et al. Growth of rice (Oryza sativa L.) cultivars under upland condition with different level of water supply 3. Root sys-tem development, soil moisture change and plant water status. **Plant Prod.** Sci.10, p.3-13, 2007.

KHUSH, G. S. Breaking the Yield Frontier of Rice. **GeoJournal** , P. 329-332,1995.

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

KITAJIMA, K.; HOGAN, K.P. Increases of chlorophyll a/b ratios during acclimation of tropical woody seedlings to nitrogen limitation. **Plant Cell Environ**. v.26, p. 857–865, 2003.

KUMAR, R. et al. Partitioning of dry matter during drought stress in rainfed lowland rice. **Field Crops Res**. v. 98, p. 1–11, 2006.

LACK, S. et al. The effects of planting date on grain yield and yield components of rice cultivars.**Advances in Environmental Biology**, v.6, n.1, p.406-413, 2012.

LAFITTE, H. R.; BENNETT, J. Requirements for aerobic rice: physiological and molecular considerations. In: Bouman, B. A. M. et al. Water-wise rice production. **Los Baños**: International Rice Research Institute.p.259-274, 2002.

LAGO, I. et al. Estimativa da temperatura base do subperíodo emergência - diferenciação da panícula em arroz cultivado e arroz vermelho. **Revista Ceres**, v.56, p.288-295, 2009.

LANZA, M. G. D. B. et al. Assessment of selenium spatial distribution using u-XFR in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) Plants: Integration of physiological and

biochemical responses. **Ecotoxicol.** Environ.v. 207, n.111216, p 1-9,2021. DOI : https://doi.org/10.1016/j.ecoenv. 2020.111216.

LEI, D. et al. Identification of heat-sensitive QTL derived from common wild rice (Oryza rufipogon Griff.). **Plant Science**, v. 201-202, p. 121-127, 2013.

LEVITT, J. Response of plants to enviropmental stress II: Water radiation, salt and other stress. New York: **Academic Press**, 1980. 606p.

LIESACK, W.; SCHNELL. S.; REVSBACH. N. P. Microbiology of flooded rice paddies. **FEMS Microbiol**. v. 24, p. 625-645, 2002.

LICHTENTHALER, H. K. Vegetation Stress: an Introduction to the Stress Concept in Plants, J. **Plant Physiol**. v. 148, p. 4-14,1996.

LICHTENTHALER, H. K. In Vivo Chlorophyll Fluorescence as a tool for Stress Detection in Plants, in: Applications of Chlorophyll Fluorescence in Photosynthesis Research, Stress Physiology. Hydrobiology and Remote Sensing. **Springer Netherlands**. p. 129-142, 1988. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-009-2823-7_16.

LICHTENTHALER H.K. Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants. J. **Plant Physiol**. v.148, p. 4–14, 1996.

LI, G.H. et al. Spatial distribution of leaf N content and SPAD value and determination of the suitable leaf for N diagnosis in rice. **Scientia Agricultura Sinica**, China, v. 40 n. 6, p.1127–1134, 2007.

LIN, F. F. et al. Investigation of SPAD meter-based indices for estimating rice nitrogen status. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 71, n.1, p. 60-65, 2010.

LI,S. et al., New male sterile line of ‘‘Duanye-13’’ radish (Raphanus sativus L.) produced by ethyl methanesulfonate mutagenesis. **Genet Resour Crop Evol**. v. 66, p. 981–987, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/s10722-019-00772-y

LI, S. et al. Production of waxy tetraploid wheat (Triticum turgidum durum L.) by EMSmutagenesis. **Genet Resour Crop Evol.** v. 67, p. 433–443, 2020.

LIU, H. et al. Correlation analysis and QTL identification for canopy temperature, leaf water potential and spikelet fertility in rice under contrasting moisture regimes. **Chinese Science Bulletin**, v. 50, p. 317-326, 2005.

LIU, Y.; DU, H.; WANG, K. Differential Photosynthetic Responses to Salinity Stress between Two Perennial Grass Species Contrasting in Salinity Tolerance.**Hortscience**, v. 46, n. 2, p. 311–316, 2011.

LUO ,L.J.; ZHANG, Q.F. The status and strategy on drought resistance of rice. **Chinese J. Rice**, v.15, n. 3, p. 209-214, 2001.

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

MAGALHÃES , A. M. et al. Aspectos genéticos, morfológicos e de desenvolvimento de plantas de arroz irrigado. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JR, A. M de**. Arroz irrigado no Sul do Brasil. Brasília**: Embrapa Informação Tecnológica, p. 143-160, 2004.

MAGALHÃES JR. A. M. de; FAGUNDES, P. R.; FRANCO, D. F. Melhoramento genético, biotecnologia e cultivares de arroz irrigado. In: MAGALHÃES JR. de, A.M. et al. Officially released mutant varieties-the FAO/IAEA Database. **Mut Breed,** v.12, p.1–84, 2000.

MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. et al. First cultivar of irrigated rice used for alcohol production or animal feed.**Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p.72-77, 2017b. DOI: 10.1590/1984-70332017v17n1c12.

MBA, C. et al. Induced mutagenesis in plants using physical and chemical agents. **Plant cell culture**, v. 20,´p. 111- 130, 2010.

MIR, R.R. Integrated genomics, physiology and breeding approaches for improving drought tolerance in crops. **Theoretical and Applied Genetics**, v.125, n. 4, p.625-645, 2012.

MORAIS, O. P. dos. et al. Melhoramento genético. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.;VIEIRA, N. R. A. A cultura do arroz no Brasil. Santo Antonio do Goiás:**Embrapa Arroz e Feijão**, cap 9, p. 321-397, 2006.

MOREIRA, M.F.; KLUGE, R. A. Arroz. In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. (Eds.). **Ecofisiologia de cultivos anuais**. São Paulo: Nobel, p.91-108, 1999.

MURCHIE, E.H. et al. Acclimation of photosynthesis to high irradiance in rice: gene expression and interactions with leaf development. J. **Exp. Bot**.,v. 56, n. 411, p. 449–460, 2005. DOI: 10.1093/jxb/eri100

MUKAKA, M. M. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, v. 24, n. 3, p. 69–71, 2012.

NASCENTE, A.S. et al. Produtividade do arroz de terras altas em função do manejo do solo e da época de aplicação de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.1, p. 60-65, 2011.

NASCIMENTO, V. et al. Uso do regulador de crescimento etil-trinexapac em arroz de terras altas. **Bragantia**, v. 68, n. 4, p.921-929, 2009.

NDJIONDJOP, MN et al*.* Field Evaluation of Rice Genotypes from the Two Cultivated Species (Oryza sativa L. and Oryza glaberrima) and their interspecifics for tolerance to drought. **Crop Science**, v. 52, p. 524-538, 2012.

PANDEY, S. et al. Rice in the global economy. **Strategic Research and Policy Issues for Food Security**. IRRI, 2010.

PEGORARO, C.; FARIAS, D. R.; COSTA DE OLIVEIRA, A. Oryza glumaepatula Steud. In: T. K. Mondal and R. J. Henry (eds.), **The Wild Oryza Genomes**, 2018.

PENG, S. et al. Progress in ideotype breeding to increase rice potential. **Field Crop Res**. v. 108, p. 32–38, 2008.

PINHEIRO. B. da. S. Características morfofisiológica da planta relacionadas à produtividade. In: (Eds) VIEIRA, N.R.de.A.; SANTOS, A. B. dos.; SANT´ANA, E.P. A .cultura do arroz no Brasil. Santo Antônio de Goiás. GO: **Embrapa Arroz e feijão**, 2000. 39p.

PINHEIRO, B. S. Características morfológicas da planta relacionadas à produtividade. In: A cultura do arroz no Brasil. 2 ed. ver. Ampl. – Santo Antônio de Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão**, p. 231-284, 2006.

PINHEIRO, BS et al. Sustainability and profitability of aerobic rice production in Brazil. **Field Crops Research,** Amsterdam, v. 97, n. 1, p. 34-42, 2006.

PORTELA, M. M. et al. Drought analysis in southern Paraguay, Brazil and northern Argentina: regionalization, occurrence rate and rainfall thresholds. **Hydrology Research**, v.46, n.5, p. 792-810, 2015.

PRADO, R. M. et al. Nutrição de plantas: diagnose foliar em grandes culturas.Jaboticabal: **FCAV/CAPES/FUNDUNESP**, 2008. 301p.

QOSIM, W. A. et al.Alteration of leaf anatomy of mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) regenerants in vitro by gamma irradiation. **Plant Mutation**. Reports 2, p. 4-11, 2011.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Genética na Agropecuária**. Lavras, Minas Gerais, 5ª edição, (editora UFLA) , 2012.

RANGEL, P.H.N. et .al. Banco ativo de germoplasma de arroz e feijão: passado, presente e futuro. Santo Antônio de Goiás. **Embrapa Arroz e Feijão**, (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 288), p. 68, 2013.

REDDY A. R.; CHAITANYA, K. V ; VIVEKANANDAN, M. Droughtinduced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. **Journal of Plant Physiology,** v. 161, p. 1189-1202, 2004.

REYNOLDS, M.; TUBEROSA, R. Translational research impacting on crop productivity in drought-prone environments. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 11, p. 171-179, 2008.

ROGOZIN, I.B. et al. The effect of the primary structure of DNA on induction of mutations by alkylating agents. **Russian Journal of Genetics**. v.37, n. 6, p.704-710, 2001.

SABESP – COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DE SÃO PAULO.Controlede perdas.2011Disponíveem:<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=37>. Acesso em: 28 jun. 2013.

SATOH, H.; MATSUSAKA, H.; KUMAMARU, T. Use of N-methyl-N-nitrosourea treatment of fertilized egg cells for saturation mutagenesis of rice. **Breed Sci**, v. 60, p. 475 485, 2010. DOI: https://doi.org/10.1270/jsbbs.60.475.

SCAFARO, A. P.; VON CAEMMERER, S.; EVANS, J. R. Temperature response of mesophyll conductance in cultivated and wild Oryza species with contrasting mesophyll cell wall thickness. **Plant Cell & Environment**, v. 34, p. 1999-2008, 2011.

SCAPIM, A. C.; CRUZ, C. D.; ARAÚJO, J. M. Cruzamantoss dialélicos entre cultivares de milho doce. **Horticultura Brasileira**, v. 13, p. 18–21, 1995.

SELYE, H. A. Syndrome produced by various noxious agents. **Nat.**, v. 138, p. 32-33, 1936.

SHEN, G. et al. Dominance and epistasis are the main contributors to heterosis forplant height in rice. **Plant Science**, v. 215-216, p.11-18, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2013.10.004.

SCHIOCCHET, M. A. et al. SCS118 Marques - new rice cultivar obtained through induced mutation. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 14, p. 68-70, 2014.

SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Gene networks involved in drought stress response and tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, p. 221–227, 2007.

SIGMAPLOT. **Scientific Graphing Software**. Version 14. 0. 2017.

SILVA, A. R. Da. et al. Avaliação do coeficiente de variação experimental para caracteres de frutos de pimenteiras. **Revista Ceres**, v. 58, n. 2, p. 168–171, 2011.

SILVA, L.S. et al. Resposta a doses de nitrogênio e avaliação do estado nutricional do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.13, n. 2, p.189-194, 2007.

SILVA, R. M. da. **Caracterização de linhagens endogâmicas recombinantes em arroz.** 2016. 76f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas –RS, 2016.

SMITH, A. M. et al. Plant biology. **Garland sciences**,new york/Abingdon,UK., p. 680, 2010. DOI: https://doi.org/10.1201/9780203852576.

SOSBAI – Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Arroz irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil. Farroupilha: **SOSBAI**, 2018.

SOUSA, E. B. M. **Indicadores fisioquímicos para seleção de plantas de algodão herbáceo tolerantes à seca**. 2008. 94f. Dissertação (Mestrado em Botânica/Fisiologia Vegetal) Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Recife, 2008.

STALIN, P. et al. Comparing management techniques to optimize fertilizer N application in rice in the Cauvery Delta of Tamil Nadu, India. **International Rice Research Institute**,v. 5,p. 25- 26, 2000.

STREIT, N. M. et al. As Clorofilas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005.

STRECK, N. A. et al. Duration of developmental cycle of rice cultivars as a function of main stem leaf appearance. **Ciência Rural**, v. 36, n. 4, p.1086-1093, 2006.
TAI, T.H. Expansion and molecular characterization of the array of mutations in tropical. In: Molecular Characterization of mutated genes controlling important traits for seeds crops. Report of the second FAO/IAEA **Research Coordination Meeting held in Vienna**, Austria, 2001.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3.ed. Trad. de E. R. Santarém. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Plant physiology. Sinauer Associates, Sunderland. 2004. 452p.

TRIPATHY, J. N. et al. QTLs for cell membrane stability mapped in rice (*Oryza sativa* L.) under drought stress. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v.100, n. 8, p.1197–1202, 2000.

TULMANN- NETO, A. et al. Genetic Improvement of Crops by Mutation Techniques in Brazil. **Plant Mutation Reports**, v. 2, n. 3, p. 24-37, 2011.

UGA, Y. et al. Control of root system architecture by DEEPER ROOTING 1 increases rice yield under drought conditions.**Nature Genetics**,v. 45, p.1097‑1102, 2013.

VAUBAM, A. C. da S.; SILVA, E. F.; TABOSA, J. N. Comportamento de genótipos de arroz de terras altas na Zona da Mata de Pernambuco. Revista **Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.10, p.1030-1037, 2010.

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

VERMA, O. P.; SRIVASTAVA, H. K. Genetic component and combining ability analyses in relation. **Field Crops Research**, v. 88, p. 91-102, 2004.

VIDAL, M. S.; CARVALHO, J. M. F. C.; MENESES, C. H. S. G. **Déficit hídrico**: aspectos morfofisiológicos. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. 19p. (Embrapa Algodão. Documentos, 142).

VOLAIRE, F. Seedling survival under drought differs between an annual (Hordeum vulgare) and a perennial grass (Dactylis glomerata). **New Phytol**, v. 160, p. 501-510, 2003.

VON ELBE J.H. Colorantes. In: FENNEMA, O. W. Químicade los alimentos. 2.ed. Zaragoza : **Wisconsin – Madison,** Cap.10, p.782-799, 2000.

WANG, C. H. et al. Genetic diversity and classification of Oryza sativa with emphasis on Chinese rice germplasm. **Heredity**, v. 5, p. 489-496. 2014.

WANG, W.; VINOCUR, B.; ALTMAN, A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. **Planta, v.** 218, n. 9, p. 1-14, 2003.

WARAICH, E. A. et al. Alleviation of temperature stress by nutrient management in crop plants: A review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition,** v.12, n.2, p. 221-244, 2012. DOI**:** https://doi.org/10.4067/S0718-95162012000200003.

WEI, X. et al. Suppresses Flowering in Rice, Influencing Plant Height and Yield Potential Simultaneously. **Plant Physiology**, v.153, p. 1747-1758, 2010.

WHITMORE, A. P.; WHALLEY, W.R.; Physical effects of soil drying on roots and crop growth. **Journal of Experimental Botany**, P. 2845, 2009.

WIDODO, W. et al. Elevated growth CO2 delays drought stress and accelerates recovery of rice leaf photosynthesis. **Environmental and Experimental Botany**, v. 49, p. 259–272, 2003. DOI: 10.1016/s0098-8472(02)00091-6.

WREGER, M. S. et al. Determinação das melhores épocas de semeadura do arroz de sequeiro, Oryza sativa, no Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, v.23, n.5, p.1179-1183, 2001.

XIE, X. et al. The Roles of Environmental Factors in Regulation of Oxidative Stress in Plant. **BioMed Research International,** v. 2019, p. 11, 2019. DOI: //doi.org/10.1155/2019/9732325 .

XU, Y.; MCCOUCH, S. R.; ZHANG, Q. How can we use genomics to improve cereals with rice as a reference genome **Plant Molecular Biology**, v.59, p.7‑26, 2005. DOI: 10.1007/s11103‑004‑4681‑2.

YAMAMOTO, A. et al. Relationship between chlorophyll content in leaves of sorghum and pigeonpea determined by extraction method and by chlorophyll meter (SPAD-502).**Journal of Plant Nutrition**, v. 25, n. 10, p.2295–2301, 2002.

ZENG, H. et al. Involvement of calmodulin and calmodulin-like proteins in plant responses to abiotic stresses.**Frontiers in Plant Science**, v. 6, n. 600, p. 1-12, 2015.

ZHOU, Q.F.; WANG, J.H. Comparison of upper leaf and lower leaf of rice plants in response to supplemental nitrogen levels. **Journal of Plant Nutrition**, v. 26, n.3, p.607-617, 2003.

ZHU, J..K.; SCUMAKER, K.S.; XIONG, L. Cell signalling during cold, drought, and salt stress. **Plant Cell,**v. 14, p. 165-183, 2002.

ZIMMER, P. D. et al. Identification of rice mutants (*Oryza sativa* L.) for agronomical and root system traits. Revista **Brasileira de Agrociência**. v. 9, n. 3, p.195-199, 2003.

Apêndices

Protocolo de avaliação da tolerância a seca em genótipos de arroz nos períodos vegetativo e reprodutivo em ambiente protegido *(Shelter)*

Apêndice A. Desempenho relativo do comprimento de raiz (CR), comprimento de parte aérea (CPA), número de folhas (NFOL), número afilhos (NAFIL), massa seca de parte aérea (MSAR) e massa seca de raiz (MSRA) de quarto genótipos de arroz sob condições de deficiência hídrica no período vegetativo. CGF/UFPEL, 2018/2019.

Genotipo	Repetição	CR	CPA	NFOL	NAFIL	MSAR	MSRA
BRS Pampeira	1	64,75	59,00	39,13	38,09	21,50	32,39
BRS Pampeira	2	77,85	53,36	33,54	25,42	16,86	40,14
BRS Pampeira	3	84,86	72,70	85,14	74,13	94,91	105,94
IRGA 424	1	92,67	61,40	75,00	72,00	53,43	48,88
IRGA 424	2	53,63	46,89	45,97	40,62	25,80	15,76
IRGA 424	3	73,69	62,04	68,42	79,06	56,28	9,17
BRSGO Serra Dourada	1	726	287,54	42,85	400	4,79	6,38
BRSGO Serra Dourada	2	182	200,56	46,46	392	34,88	60,59
BRSGO Serra Dourada	3	225	321	61,22	165	10,00	12,00
BRS Esmeralda	1	84,39	93,75	77,27	52,47	97,09	65,83
BRS Esmeralda	2	42,68	60,17	60,29	41,47	31,48	81,72
BRS Esmeralda	3	71,67	73,29	55,07	40,00	49,42	56,43

Apêndice B. Desempenho relativo (DR) para os caracteres índice de clorofila (CHLO), índice de balanço do nitrogênio (NBI), flavonoides (FLAV), altura de planta (ALT), comprimento de panícula (CPAN), peso de panícula (PPAN), número de panículas (NPAN), número grãos cheios (NGCH), peso de 1000 grãos (PMG) de quatro genótipos de arroz submetidos ao estresse por seca no estádio reprodutivo. CGF/UFPEL, 2018/2019.

Genotipo	Repetição	CHLO	NBI	FLAV	ALT	CPAN	PPAN	NPAN	NGCH	PMG
BRS Pampeira	1	92,33	95,66	96,46	99,54	108,48	120	100,78	173,68	97,141
BRS Pampeira	2	99,75	96,02	104,46	97,92	106,12	167,57	129,90	173,33	100,50
BRS Pampeira	3	88,86	89,58	86,55	105,91	97,93	110,00	116,12	234,61	91,80
IRGA 424	1	102,07	115,09	94,48	92,97	98,38	104,56	83,97	89,34	98,70
IRGA 424	2	126,00	113,44	117,27	98,70	100,71	226,52	84,37	100,00	100,71
IRGA 424	3	94,00	108,64	82,57	98,95	109,03	160,34	109,67	94,44	102,94
BRSGO Serra Dourada	1	101,72	94,02	100,70	99,86	103,26	116,34	108,51	125,31	107,85
BRSGO Serra Dourada	2	91,01	92,00	104,50	100,53	106,86	103,03	56,19	145,94	102,04
BRSGO Serra Dourada	3	94,56	97,20	102,22	111,42	105,60	112,89	94,82	111,36	100,95
BRS Esmeralda	1	104,00	109,00	96,62	112,35	108,41	105,43	89,04	107,78	99,72
BRS Esmeralda	2	119,00	119,00	101,47	95,30	100,00	99,05	66,84	95,23	98,65
BRS Esmeralda	3	75,00	78,00	93,86	125,26	111,62	103,83	149,18	106,25	94,74

Caracterização de famílias mutantes M_3 de arroz para tolerância ao estresse por seca

Apêndice C. Médias das variáveis em famíias mutantes (M_3) dose 250 grays: Nota de sintoma de estresse (visual) (NE); Número de afilhos(NA); Dias para o florescimento (dias) (DFL); Altura de planta (cm) (ALT); Comprimento de panícula (cm) (CPA); Número de panículas por linha, (NPL); Peso de panícula (g) (PPAN); Número de espiguetas estéreis por panícula (uni) (NEE); Número de espiguetas férteis por panícula (uni) (NEF) ; Produtividade (PROD).

Amostra	Família M_3	NE	NA	DFL	ALT	NPL	CPA	PPAN	NEE	NEF	PROD
1	611	1	128	112	74,00	75	23,54	0,62	65,1	9,75	6510
2	389	1	129	112	74,86	89	22,82	0,82	36,3	28,10	3630
3	438	1	142	112	75,50	85	26,5	0,84	70,9	17,00	7090
4	207	5	119	112	73,30	83	24,34	0,82	65,8	12,80	10
5	189	1	151	112	69,70	108	22,56	0,69	88,6	7,00	10
6	65	1	124	112	71,72	79	24,08	0,64	96,1	4,33	10
7	555	1	126	112	76,50	83	22,42	0,62	124,3	6,83	10
8	569	1	108	112	73,60	110	23,98	0,85	111,9	0,00	0,00
9	622	5	124	112	68,40	93	21,5	0,64	100,1	1,75	10
10	613	5	138	112	69,00	98	24,14	0,59	112,2	0,00	0,00
11	492	5	74	112	69,90	70	24,76	0,72	91,9	6,00	10
12	338	1	74	112	72,60	72	21,66	0,68	58,9	10,44	5890
13	709	5	102	112	71,00	102	23,18	1,00	86	29,80	8600
14	390	5	88	112	72,60	92	23,2	0,98	25,7	25,30	2570
15	38	5	102	112	74,38	92	24,38	1,12	57,9	35,50	5790
16	893	5	108	112	74,92	81	26,5	0,88	62,4	14,67	6240
17	166	1	148	112	78,80	112	24,72	1,31	63,6	22,50	10
18	275	5	115	112	81,32	86	22,54	1,09	42,3	0,00	0,00

Continua

Amostra	Família M_3	NE	NA	DFL	ALT	NPL	CPA	PPAN	NEE	NEF	PROD
19	561	1	125	112	82,90	106	23,64	1,56	36,3	43,10	3630
20	114	1	128	112	81,52	98	22,7	1,45	43,1	31,63	4310
21	241	8	98	112	76,90	74	24,26	1,52	27,4	47,00	2740
22	238	8	124	112	75,68	106	23,64	1,01	39,5	31,00	3950
23	900	1	111	112	75,40	95	25,12	1,61	26,2	43,90	2620
24	572	8	54	117	74,20	43	21,64	0,72	43,2	17,78	4320
25	29	5	123	117	74,00	94	23	0,65	94,5	0,00	0,00
26	979	1	85	112	65,40	71	23,4	0,61	89,7	0,00	0,00
27	639	5	104	117	76,40	89	24,78	1,03	92,2	26,00	5392
28	546	5	74	112	71,20	78	24,56	0,79	69,4	10,00	10
29	971	1	87	112	73,36	76	23,82	0,87	84,3	17,71	8430
30	870	1	96	112	75,00	104	23,34	0,98	74,9	12,71	7490
31	196	5	67	117	64,60	61	24,76	0,59	94	11,00	10
32	624	5	98	112	66,80	90	22,06	0,70	90,2	2,00	10
33	33	6	72	117	66,26	79	23	0,53	87,4	0,00	0,00
34	473	5	83	117	63,80	83	23,28	0,74	109,4	0,00	0,00
35	4	6	98	117	69,20	88	22,62	0,65	96,5	8,75	10
36	570	5	87	112	69,56	89	22,62	1,05	96,2	7,83	10
37	1045	6	107	117	75,40	102	23,28	0,78	89,6	0,00	0,00
38	43	4	87	112	68,60	84	24	0,65	96,2	4,75	10
39	75	4	98	112	67,40	112	21,54	0,63	94,2	0,00	0,00
40	915	4	85	112	68,40	84	23,8	0,63	70,4	0,00	0,00
41	1	3	84	112	68,40	76	23,4	0,65	96	5.5	10
42	404	6	103	112	71,60	97	23,4	0,89	80,7	15,33	10
43	15	2	115	112	67,60	105	24,8	0,90	66,2	0,00	10

continua

Amostra	Família M_3	NE	NA	DFL	ALT	NPL	CPA	PPAN	NEE	NEF	PROD
98	343	1	88	117	72,20	122	23,74	0,77	66,3	0,00	0,00
99	919	5	83	117	71,16	128	23	0,74	97,7	0,00	0,00
100	198	1	95	112	72,90	88	23,06	0,72	91	0,00	0,00
101	190	5	122	117	68,34	96	26,7	0,73	107,4	2,50	10
102	204	1	64	117	69,50	134	25,1	0,78	88,6	0,00	0,00
103	2	6	125	117	74,08	70	23,06	0,51	88,1	0,00	0,00
104	726	1	113	112	70,40	101	24,1	0,77	99,2	3,50	10
105	32	1	121	112	73,86	92	21,9	0,69	59,2	13,83	10
106	1018	1	118	112	74,20	93	22,88	0,61	102,1	0,00	0,00
107	159	5	95	112	80,60	85	22,44	0,63	90,5	0,00	0,00
108	223	1	102	112	76,40	89	21,84	0,52	98,2	2,33	10
109	402	5	118	112	75,50	89	23,64	0,51	75,4	0,00	0,00
110	88	5	81	112	76,60	124	24,26	0,85	58,5	22,50	5580
111	934	1	65	112	73,30	104	23,6	0,79	88	4.5	10
112	608	1	85	112	78,00	101	23	0,80	73,6	9,57	10
113	704	1	73	112	75,86	87	23,84	0,57	81,2	0,00	0,00
114	998	1	83	112	67,64	93	22,96	0,61	91,6	0,00	0,00
115	848	5	88	112	70,76	85	21,92	0,69	102	0,00	0,00
116	388	5	108	117	72,78	109	23,6	0,63	73,3	0,00	0,00
117	401	6	68	120	72,40	87	22,9	0,68	111,1	2,00	10
118	631	6	54	117	68,20	88	23,1	0,66	87,4	0,00	0,00
119	539	6	103	120	70,58	98	23,48	1,50	73,9	35,22	10
120	913	1	85	117	70,40	109	23,82	0,73	104,3	2,00	10
121	984	5	98	120	68,48	93	22,68	0,98	45	34,44	6150
122	289	5	74	117	75,40	109	21,54	0,72	88,8	0,00	0,00
123	616	6	91	120	66,40	112	24	0,84	66,2	0,00	0,00

Continua

Amostra	Família M_3	NE	NA	DFL	ALT	NPL	CPA	PPAN	NEE	NEF	PROD
124	738	6	75	120	70,08	94	23,06	0,80	82,2	11,75	10
125	155	5	80	117	69,80	100	23,78	0,95	54,6	25,75	5460
126	12	1	115	120	71,88	109	25,34	1,15	36,9	52,10	6689
127	194	6	94	120	64,10	108	23,04	0,75	49,1	28,20	4910
128	483	5	92	120	69,12	95	23	1,44	33,1	25,00	3310
129	405	6	79	126	59,94	86	22,56	1,46	56,7	21,44	5670
130	787	7	89	126	57,50	125	25,34	1,47	89,7	10,25	8970
131	226	7	74	126	61,50	108	22,86	1,08	44,1	19,20	4410
132	761	7	95	143	64,08	74	22,5	0,88	70,4	11,00	10
133	20	7	99	126	64,08	78	23,52	0,72	129,5	17,00	10
134	271	5	114	117	73,88	93	22,78	0,32	70,4	0,00	10
135	139	6	87	117	67,02	110	22,58	0,87	65,4	15,00	3482
136	194	6	65	120	63,70	92	22,74	0,80	62,2	4,67	10
137	619	7	101	126	64,10	103	21,82	0,67	91,8	0,00	0,00
138	519	6	93	117	65,70	103	21,52	0,48	78,5	0,00	0,00
139	132	6	90	112	66,60	95	22	0,60	108,1	0,00	0,00
140	982	5	82	112	75,14	98	20,86	0,77	95,5	12,50	2536
141	973	5	107	117	73,58	120	21,22	0,73	102,5	1,00	10
142	869	6	94	120	71,70	104	23,96	0,60	110,9	0,00	0,00
143	403	5	64	120	73,70	93	22,56	0,53	98,1	0,00	0,00
144	131	3	81	120	65,48	101	21,54	0,65	96,8	0,00	0,00
145	859	3	66	120	62,30	83	21,72	0,61	56,3	0,00	0,00
146	315	3	74	120	70,54	87	21,36	0,54	106	0,00	0,00
147	28	8	84	117	71,98	94	22,36	0,70	106,9	0,00	0,00
148	123	3	90	120	65,60	72	21,62	0,51	100	0,00	0,00

Apêndice D. Médias das variáveis em famíias mutantes (M_3) dose 300 grays: Nota de sintoma de estresse (visual) (NE); Número de afilhos(NA); Dias para o florescimento (dias) (DFL); Altura de planta (cm) (ALT); Comprimento de panícula (cm) (CPA); Número de panículas por linha, (NPL); Peso de panícula (g) (PPAN); Número de espiguetas estéreis por panícula (uni) (NEE); Número de espiguetas férteis por panícula (uni) (NEF) ; Produtividade (PROD).

Amostra	Família M_3	NE	NA	DFL	ALT	NPL	CPA	PPAN	NEE	NEF	PROD
1	366	6	111	117	70,60	93	22,8	0,58	123,7	4,00	10,00
2	141	6	93	112	65,44	92	21,78	0,59	72,6	0,00	0,00
3	577	7	113	117	65,70	104	22,34	0,54	75,2	6,40	10,00
4	971	8	94	117	65,58	91	22	0,60	95,7	10,00	10,00
5	503	4	100	117	68,24	107	23,44	0,88	69,7	30,30	8753,67
6	1031	5	120	117	65,78	117	21,76	0,64	43,3	8,10	10,00
7	830	5	144	117	62,00	118	22,22	0,83	67,1	9,22	2154,68
8	239	6	79	117	67,60	80	21,88	0,82	60,7	8,00	10,00
9	217	4	94	117	66,60	104	22,9	1,42	99	38,50	11211,2
10	402	5	89	117	65,14	83	21,86	0,54	72,7	5,50	10,00
11	888	5	106	117	65,84	98	23,4	0,72	127,8	0,00	0,00
12	52	5	71	117	63,80	63	23,4	1,18	41,6	33,00	4241,16
13	523	5	89	112	64,10	81	22,98	0,79	141,2	0,00	0,00
14	150	4	113	120	69,60	97	21,2	0,97	82,2	44,20	11361,61
15	809	5	106	117	65,64	84	22,98	0,64	108,8	6,50	10,00
16	902	5	94	120	69,10	84	23,06	0,48	91,6	0,00	0,00
17	980	5	121	120	60,62	115	22,9	0,64	92,3	0,00	0,00
18	110	5	86	120	63,84	81	22,62	0,56	107	1,00	10,00
19	883	6	75	120	57,00	60	20,54	0,49	92,8	3,00	10,00
20	989	6	114	120	52,04	89	21,32	0,53	103,5	0,00	0,00
21	102	6	111	112	57,78	98	22,26	0,86	85,2	6,75	10,00
22	328	5	116	117	64,00	113	23,26	0,50	71,1	6,00	1281,42
23	33	6	106	120	58,70	94	21,78	0,55	74,1	1,00	10,00

Continua

Amostra	Família M_3	NE	NA	DFL	ALT	NPL	CPA	PPAN	NEE	NEF	PROD
24	1003	5	111	120	58,48	93	22,14	0,73	80,7	3,80	10
25	129	4	116	120	61,26	112	22,74	0,50	84,5	6,89	1620,26
26	440	5	106	120	59,08	94	21,96	0,45	76,3	6,43	1208,57
27	279	6	111	143	56,04	90	21,36	0,46	77,5	3,33	10
28	967	5	125	143	60,54	92	20,76	0,55	85,4	1,50	10
29	205	5	99	143	54,26	105	21,86	0,58	79,9	0,00	0,00
30	637	6	95	143	51,48	81	18,72	0,47	88,4	0,00	0,00
31	1008	6	116	143	48,34	88	20,94	0,24	61,1	0,00	0,00
32	82	8	94	143	43,22	50	17,1	0,36	45,7	0,00	0,00
33	718	8	111	143	47,78	76	15,7	0,24	55,6	0,00	0,00
34	693	8	100	143	49,08	78	17	0,37	56,9	0,00	0,00
35	72	8	87	143	40,66	106	21,76	0,20	62,9	0,00	0,00
36	244	5	112	143	38,32	73	14,3	0,40	47,3	0,00	0,00
37	170	5	89	143	36,10	81	15,7	0,58	52,3	0,00	0,00
38	243	6	83	143	61,48	113	21,56	0,72	87,7	0,00	0,00
39	314	6	105	117	64,00	103	22,62	0,53	90	0,00	0,00
40	799	5	103	117	63,02	115	21,78	0,61	95	0,00	0,00
41	493	6	98	117	55,40	93	20,32	0,94	74,2	4,00	10
42	773	8	105	112	69,62	126	22,56	1,08	80,7	18,86	5702,4
43	139	6	94	112	61,88	80	21,5	0,78	32,3	32,50	5460
44	973	5	80	117	67,50	88	22,62	0,62	78,3	7,86	1611,02
45	872	5	96	117	76,12	112	21,6	0,60	76,7	18,00	5564,16
46	899	5	78	117	68,30	101	20,48	0,70	45,7	0,00	0,00
47	744	5	73	117	71,20	104	21,62	0,51	85,7	5,57	10
48	615	9	69	112	65,90	71	21,84	0,54	82,1	2,20	10
49	58	9	86	117	64,54	113	22,06	0,45	65,6	0,00	0,00

Continua

Amostra	Família M_3	NE	NA	DFL	ALT	NPL	CPA	PPAN	NEE	NEF	PROD
50	972	5	76	117	70,12	99	22,46	0,73	90,9	0,00	0,00
51	494	5	87	117	73,30	105	22,02	0,51	88,15	0,00	0,00
52	619	5	75	117	69,68	109	22,94	1,37	85,4	11,67	10
53	161	5	104	117	67,18	109	23,54	1,27	90,9	10,67	10
54	590	5	98	117	68,78	103	21,98	1,17	87,5	10,60	10
55	507	4	112	117	69,50	115	23,48	1,22	45,8	26,50	6186,42
56	880	6	101	117	66,52	112	22,18	0,91	48,4	29,80	7008,96
57	514	6	96	117	65,30	99	21,66	0,57	50,6	0,00	0,00
58	703	5	107	117	69,24	106	24,12	0,52	51,5	24,20	5925,61
59	224	4	92	117	67,36	99	22,78	0,51	58	11,40	10
60	814	5	80	117	72,8	83	21	0,61	98	0,00	0,00
61	489	5	84	117	79,9	92	23,42	0,35	60	23,00	4824,48
62	498	2	89	117	68,6	94	24,08	0,54	74,5	1,60	10
63	982	2	77	120	61,86	85	22,28	0,41	71,7	1,00	10
64	882	9	101	117	69,06	87	23,32	0,52	78,4	0,00	0,00
65	568	6	97	120	73,60	123	22,92	0,53	82,7	0,00	0,00
66	534	9	96	120	76,28	100	23,34	0,43	48,3	0,00	0,00
67	344	6	86	143	62,48	89	23,48	0,49	84,3	0,00	0,00
68	581	7	95	143	53,46	82	21,3	0,39	69,3	0,00	0,00
69	513	7	92	143	53,14	87	23,5	0,43	86,3	0,00	0,00
70	49	7	114	120	55,00	85	21,26	0,43	89,8	0,00	0,00
71	1044	8	67	143	51,06	105	22,32	0,51	98,2	0,00	0,00
72	432	3	110	120	65,30	59	20,56	0,40	72,4	0,00	0,00
73	884	3	89	120	67,80	110	22,2	0,63	80	0,00	0,00
74	898	8	113	143	54,98	116	22,98	0,48	112,1	0,00	0,00
75	159	8	109	117	50,78	111	23,7	0,48	112,1	0,00	0,00

Continua

Amostra	Família M_3	NE	NA	DFL	ALT	NPL	CPA	PPAN	NEE	NEF	PROD
76	89	8	87	117	56,58	73	22,96	0,38	101,8	0,00	0,00
77	426	4	89	117	55,00	84	21,48	0,42	91,5	0,00	0,00
78	1006	3	79	117	64,40	93	22,04	0,49	89,9	0,00	0,00
79	40	4	97	143	52,58	73	19,44	0,37	90,8	0,00	0,00
80	875	6	114	117	50,20	87	20,56	0,48	79,4	2,00	10
81	178	4	103	117	51,70	79	19,00	0,42	79,8	0,00	0,00
82	555	4	107	143	45,36	85	17,52	0,58	90,6	0,00	0,00
83	563	6	99	143	53,40	89	19,52	0,44	92,2	0,00	0,00
84	558	6	110	120	61,90	99	23,12	0,55	82,2	0,00	0,00
85	855	6	121	120	59,20	105	23,4	0,57	89,6	0,00	0,00
86	565	6	86	120	60,62	94	22,42	0,42	87,9	0,00	0,00
87	231	3	118	120	60,60	99	22,84	0,44	97,7	3,50	3465
88	379	4	97	143	53,40	76	20,14	0,59	113	0,00	0,00
89	879	3	112	143	47,00	91	19,01	0,55	91,4	0,00	0,00
90	990	5	119	120	64,40	96	23,92	0,59	110	0,00	0,00
91	977	3	100	120	61,40	95	22,28	0,65	83,5	0,00	0,00
92	1010	4	135	120	59,00	138	22,16	0,52	73,1	7,14	985,32
93	457	3	134	117	63,00	96	24,12	0,46	108,5	13,00	1248
94	1009	3	95	117	60,60	88	23,40	0,73	98,6	0,00	0,00
95	86	2	103	117	60,00	90	22,10	0,46	78,9	3,00	270
96	873	3	98	120	62,80	114	24,24	0,50	89	0,00	0,00
97	1005	3	105	117	60,60	106	23,16	0,41	99,1	0,00	0,00
98	926	3	120	117	57,80	94	21,86	0,48	87,5	5,10	479,4
99	1002	7	88	120	52,20	92	20,26	0,44	80,2	1,00	10
100	397	6	102	120	45,40	62	19,70	0,52	85,4	0,00	0,00

Continua

Amostra	Família M_3	NE	NA	DFL	ALT	NPL	CPA	PPAN	NEE	NEF	PROD
101	1012	6	81	120	49,20	83	22,1	0,40	69,4	0,00	0,00
102	876	6	110	120	52,40	93	23,02	0,49	105,4	3,00	10,00
103	585	6	122	120	54,40	110	23,12	0,45	79,1	1,00	10,00
104	155	6	109	120	50,70	91	20,3	0,47	92,3	0,00	0,00
105	886	6	115	120	50,40	100	20,96	0,42	106	0,00	0,00
106	125	5	122	120	58,00	98	22,44	0,51	94,6	0,00	0,00
107	65	3	82	120	54,00	75	20,2	0,52	93,2	0,00	0,00
108	562	4	77	120	58,26	75	22,18	1,00	95	0,00	0,00
109	691	4	73	120	62,60	70	23,6	0,66	87	7,00	490
110	688	4	88	120	67,80	117	23,74	0,62	74,2	3,20	10,00
111	867	3	77	120	58,20	106	21,9	0,47	78,9	13,86	1469,16
112	1022	6	108	120	60,60	105	23,06	0,69	81,1	3,60	748,44
113	449	3	128	120	59,40	105	22,4	0,74	90,1	0,00	0,00
114	202	4	92	143	49,80	87	21,58	0,94	88,2	0,00	0,00
115	549	3	109	120	56,80	102	21,62	0,73	113,8	7,20	1002
116	515	3	106	120	56,4	97	22,34	0,35	58,1	9,11	1847,09
117	537	3	140	120	57,9	124	23,44	0,56	60,1	29,3	6080,21
118	843	5	97	120	52,8	80	22	0,57	84,1	6,00	979,2
119	660	5	89	120	54,4	96	20,2	0,40	77	0,00	0,00
120	832	4	103	120	56,2	92	21,8	0,48	86,7	2,50	10,00
121	664	4	105	120	58,8	90	21	0,32	77,2	0,00	0,00
122	659	5	95	120	54,6	88	21,9	0,37	63,3	8,67	1441,44
123	885	5	94	143	48,2	63	21,4	0,40	84,9	0,00	0,00
124	906	5	95	143	53,2	78	21,04	0,15	83,8	4,33	10,00
125	249	5	104	143	57,8	84	20,46	0,31	80,3	0,00	0,00

Continua

Amostra	Família M_3	NE	NA	DFL	ALT	NPL	CPA	PPAN	NEE	NEF	PROD
126	1033	5	110	143	46,8	73	18,46	0,19	78,5	0,00	0,00
127	857	6	80	143	51,4	65	19,6	0,49	103,3	0,00	0,00
128	1000	6	76	143	43,8	52	13,8	0,51	90,9	0,00	0,00
129	924	6	100	143	33,6	43	14,14	0,50	55,6	0,00	0,00
130	365	8	92	143	39,60	70	17,24	0,46	79,5	0,00	0,00
131	614	8	93	143	34,80	69	17,12	0,57	51,4	0,00	0,00
132	1050	3	145	143	48,00	75	19,4	0,55	100,1	0,00	0,00
133	545	4	115	143	48,60	76	20,8	0,43	94,5	0,00	0,00
134	252	5	124	120	56,60	95	20,12	0,46	96,4	0,00	0,00
135	441	5	130	120	55,60	108	21,12	0,43	106,2	0,00	0,00
136	794	5	105	143	52,40	89	22,62	0,42	80,9	0,00	0,00
137	187	5	152	143	58,40	112	22,34	4,46	102,3	0,00	0,00
138	708	6	122	143	52,60	84	21,24	0,63	100,1	0,00	0,00
139	42	6	117	143	56,00	99	21,02	0,52	90,3	0,00	0,00
140	497	5	116	120	63,60	126	23,9	0,48	83,5	0,00	0,00
141	21	1	124	143	68,20	114	24,3	1,01	67,7	0,00	0,00
142	965	5	118	112	67,70	116	22,12	0,63	80,2	1,00	10
143	868	3	112	143	46,80	72	20,46	0,59	73,5	0,00	0
144	80	6	135	117	63,20	120	24,22	0,40	64	0,00	0
145	778	2	103	120	59,00	96	22,86	1,33	97,5	0,00	0
146	64	2	117	143	54,20	94	21,6	1,00	90,4	3,00	10

Índices de clorofila em famílias mutantes de arroz M_3 submetidas ao estresse por seca no período reprodutivo

Apêndice E. Médias das variáveis em famíias mutantes M_3 dose 250 grays: índice de clorofila a (Cl a1), índice de clorofila b (Cl b), submetidas ao estresse por deficiência hídrica no estádio reprodutivo R_2, (início do estresse, período intermediário do estresse & período final do estresse). CGF/UFPEL, 2019/2020.

Amostra	Família M_3	Cl a1	Cl b1	Cl a2	Cl b2	Cl a3	Cl b3
1	611	29,91	12,72	28,30	8,40	25,20	8,61
2	389	30,56	11,72	30,56	9,76	25,51	7,69
3	438	28,28	10,02	31,69	10,96	26,30	8,13
4	207	28,99	11,44	27,22	8,70	27,21	8,44
5	189	30,45	12,37	28,39	8,77	25,29	7,14
6	65	28,95	11,11	32,06	11,50	28,43	6,06
7	555	29,82	12,48	27,11	8,51	23,87	6,95
8	569	29,13	11,09	29,92	11,04	24,50	6,90
9	622	29,31	11,42	30,60	9,68	25,37	7,30
10	613	26,45	9,03	29,39	9,72	25,41	7,38
11	492	28,43	10,69	28,88	9,03	23,80	6,98
12	338	23,34	11,00	29,30	9,01	25,85	7,66
13	709	27,36	9,84	30,52	10,71	23,89	7,54
14	390	28,90	10,95	28,22	9,81	21,51	5,60
15	38	29,73	11,39	29,55	9,48	23,75	5,00
16	893	30,14	11,67	31,31	9,33	25,30	7,76
17	166	29,67	11,13	29,82	9,28	27,58	7,51
18	275	28,18	10,42	29,51	9,55	20,37	5,38
19	561	27,76	9,43	29,98	9,18	24,20	7,02
20	114	30,60	10,55	26,42	9,41	23,57	7,26
21	241	25,86	10,34	25,83	6,28	23,04	6,52
22	238	25,04	8,75	30,33	10,54	23,87	6,87
23	900	27,49	11,23	29,40	9,37	19,02	6,61
24	572	28,72	9,81	27,48	9,23	24,32	6,85
25	29	30,10	11,92	29,64	10,52	24,39	5,14
26	979	29,88	11,37	32,83	10,39	20,46	5,41
27	639	30,47	11,27	30,41	9,93	20,81	5,79
28	546	29,79	11,12	28,96	9,39	34,28	7,16
29	971	29,10	11,12	31,57	9,99	23,53	5,99

Continua

Amostra	Família M_3	Cl a1	Cl b1	Cl a2	Cl b2	Cl a3	Cl b3
30	870	28,39	10,98	25,34	9,82	22,84	6,96
31	196	29,40	11,36	26,40	10,31	22,66	6,16
32	624	29,31	11,19	29,81	12,39	23,56	7,84
33	33	28,65	9,99	29,23	10,47	25,44	7,37
34	473	30,14	11,36	32,20	10,33	27,28	7,19
35	4	30,24	10,78	28,55	10,50	19,83	5,44
36	570	29,89	10,09	29,74	10,57	22,68	6,76
37	1045	28,35	10,15	29,13	11,15	24,16	6,63
38	43	32,35	11,79	29,66	9,27	21,34	6,12
39	75	32,08	12,48	30,88	9,62	18,53	5,67
40	915	29,18	10,04	27,64	10,33	22,88	8,18
41	1	30,54	10,94	27,93	9,96	23,29	6,51
42	404	29,46	9,93	29,24	9,69	21,46	6,25
43	15	31,50	11,06	30,87	7,87	22,06	6,48
44	225	31,96	11,01	31,47	9,50	24,74	7,67
45	408	32,08	11,16	29,34	9,27	18,32	6,15
46	635	28,24	9,36	27,30	9,10	20,02	5,08
47	218	31,36	10,62	27,74	9,22	25,20	7,07
48	237	29,95	9,79	28,99	9,74	23,02	6,54
49	516	29,38	10,26	29,00	10,80	26,52	7,35
50	392	29,59	10,64	31,42	9,27	24,73	6,65
51	229	31,96	10,92	26,04	9,35	24,19	6,94
52	52	30,15	10,18	29,56	10,47	26,52	7,99
53	605	30,03	10,07	32,13	9,11	22,53	6,23
54	1013	28,05	11,49	30,83	10,67	22,48	6,29
55	400	29,14	11,46	30,26	9,06	24,04	7,34
56	615	32,33	9,46	30,09	10,05	23,46	6,86
57	671	30,93	10,65	31,40	9,75	24,56	7,36
58	970	30,06	9,80	29,09	9,92	26,25	7,87
59	453	32,26	10,78	30,13	9,55	24,04	6,49
60	911	30,88	10,60	29,41	10,94	23,36	6,23
61	349	30,52	11,40	30,49	11,25	28,69	6,98
62	705	30,37	9,31	25,25	8,96	22,28	6,43
63	969	31,10	10,12	29,50	8,85	24,09	6,93
64	14	32,17	13,46	29,38	9,27	26,11	6,86
65	974	30,13	11,26	29,01	10,47	27,77	7,02
66	91	32,83	10,64	26,67	8,49	21,53	5,55
67	170	32,78	11,19	31,43	10,53	24,80	6,94
68	868	29,74	10,19	30,51	10,14	18,41	4,68

Continua

Amostra	Família M_3	Cl a1	Cl b1	Cl a2	Cl b2	Cl a3	Cl b3
69	663	31,02	10,47	34,64	9,58	26,54	8,46
70	344	32,75	11,40	29,53	10,57	27,77	8,53
71	889	31,75	10,44	27,70	9,49	21,82	7,36
72	121	32,54	10,25	24,59	7,80	19,47	5,59
73	576	31,95	10,68	30,22	8,56	23,89	6,99
74	598	33,70	10,92	30,63	9,48	20,10	5,59
75	986	32,68	11,24	29,44	9,19	24,26	6,23
76	179	31,68	10,28	34,52	9,93	28,08	7,52
77	471	31,35	10,14	30,39	9,58	20,29	5,05
78	124	31,10	10,10	30,39	9,65	18,66	4,71
79	117	32,94	10,86	32,72	10,60	24,33	6,76
80	1004	30,83	9,92	31,83	9,05	20,20	5,81
81	842	33,61	10,87	34,70	11,42	24,59	7,87
82	410	32,14	11,06	26,06	7,35	24,59	6,29
83	1037	31,41	9,51	29,62	9,83	22,45	6,33
84	610	31,54	11,15	28,28	9,45	27,14	7,92
85	1000	33,50	9,93	30,55	9,80	25,10	7,58
86	954	34,20	10,67	34,79	11,13	25,58	7,68
87	320	29,78	9,66	28,00	8,83	23,76	6,42
88	186	31,41	10,85	28,38	9,69	20,61	6,85
89	1023	28,83	9,27	27,36	7,66	23,04	5,69
90	755	31,11	10,06	31,36	10,50	25,56	7,54
91	622	31,34	10,29	28,75	9,29	22,42	6,37
92	601	31,13	10,36	28,62	8,04	24,98	6,96
93	968	31,47	10,07	28,51	10,25	30,10	7,93
94	511	30,99	11,76	32,43	10,23	26,41	8,24
95	990	29,05	10,28	29,80	9,06	22,22	6,30
96	864	30,17	10,61	33,61	10,82	26,99	8,60
97	191	30,89	11,50	32,33	10,52	26,55	8,09
98	343	28,42	9,83	32,80	11,77	27,52	8,49
99	919	30,57	11,00	30,91	10,91	26,81	8,26
100	198	31,10	11,38	32,61	9,89	26,89	8,78
101	190	30,28	11,04	34,53	8,63	25,15	7,60
102	204	30,54	11,01	30,38	7,87	28,74	9,16
103	2	30,89	10,81	32,10	11,10	24,76	6,91
104	726	30,27	11,13	29,85	8,83	23,58	6,80
105	32	34,07	11,64	31,43	11,05	27,58	7,36
106	1018	30,73	11,03	29,89	10,08	29,48	8,15
107	159	29,48	9,71	31,86	12,65	26,95	8,51
108	223	30,60	10,95	30,89	10,33	26,77	8,39

Continua

Amostra	Família M_3	Cl a1	Cl b1	Cl a2	Cl b2	Cl a3	Cl b3
109	402	29,71	10,40	31,16	10,26	24,25	7,19
110	88	25,39	11,27	29,05	8,50	24,41	7,12
111	934	28,78	9,82	31,99	11,19	26,79	7,99
112	608	30,76	11,10	35,38	9,43	24,02	6,83
113	704	27,10	10,51	32,84	10,48	20,11	5,36
114	998	29,34	10,29	31,12	10,33	25,23	7,38
115	848	31,01	10,08	30,46	10,83	26,05	8,15
116	388	31,66	11,50	34,26	11,20	26,56	8,40
117	401	32,15	10,02	30,77	10,60	26,14	8,25
118	631	30,33	10,65	29,59	11,03	25,37	7,59
119	539	29,92	9,93	29,74	10,39	25,23	7,04
120	913	33,63	11,20	32,59	10,08	25,70	7,53
121	984	33,03	10,56	30,92	10,08	24,29	6,51
122	289	31,78	10,84	30,58	11,16	27,92	9,40
123	616	31,69	10,37	31,69	10,78	20,99	5,72
124	738	32,30	10,43	30,49	9,70	27,37	8,86
125	155	30,72	10,12	30,73	10,25	24,90	7,76
126	12	31,67	10,66	31,10	10,46	27,46	8,60
127	194	31,45	9,75	30,03	10,46	27,15	7,35
128	483	33,31	11,85	29,35	10,03	24,40	7,69
129	405	32,96	10,47	27,66	9,59	23,10	6,38
130	787	28,92	8,66	23,66	7,19	20,80	5,80
131	226	31,96	9,04	29,66	9,28	25,13	7,55
132	761	39,13	10,66	28,55	8,97	25,92	7,90
133	20	35,59	11,98	27,33	8,95	23,21	6,37
134	271	31,61	10,42	32,11	12,23	25,66	7,63
135	139	24,42	7,45	30,53	9,11	27,52	9,01
136	194	30,06	9,79	29,25	8,43	24,02	6,66
137	619	32,34	13,17	30,02	9,33	25,09	7,53
138	519	32,10	10,19	29,72	10,79	24,37	6,27
139	132	26,86	7,64	30,08	9,80	23,40	6,21
140	982	28,67	8,62	29,72	10,44	22,30	6,02
141	973	30,91	10,46	29,93	11,46	20,94	5,96
142	869	31,83	10,31	35,53	11,80	24,66	7,09
143	403	31,69	10,76	34,36	10,96	27,18	8,60
144	131	30,93	10,29	24,77	8,01	24,05	6,88
145	859	29,76	9,96	29,86	10,33	20,78	5,42
146	315	31,10	9,90	29,76	9,79	26,60	7,78
147	28	39,91	11,40	31,08	11,89	26,47	7,46
148	123	35,15	11,30	29,93	9,85	26,42	8,00

Apêndice F. Médias das variáveis em famíias mutantes M_3 dose 300 grays: índice de clorofila a (Cl a1), índice de clorofila b (Cl b), submetidas ao estresse por deficiência hídrica no estádio reprodutivo R_2, (início do estresse, período intermediário do estresse & período final do estresse). CGF/UFPEL, 2019/2020.

Amostra	Família M_3	Cl a1	Cl b1	Cl a2	Cl b2	Cl a3	Cl b3
1	366	31,60	9,26	29,30	9,43	25,29	7,67
2	141	29,71	10,40	30,14	10,5	23,58	6,43
3	577	26,57	8,11	30,46	10,76	27,33	9,00
4	971	29,25	10,43	29,14	9,03	25,89	11,09
5	503	35,53	10,89	29,16	4,32	25,89	7,80
6	1031	28,51	9,97	28,80	10,35	23,28	6,69
7	830	30,78	9,83	28,75	10,02	24,88	7,36
8	239	32,83	9,25	29,63	9,47	21,09	5,67
9	217	30,23	10,77	30,03	10,8	21,39	5,48
10	402	27,55	8,93	30,56	11	26,52	7,72
11	888	31,36	9,96	29,61	8,51	26,33	7,69
12	52	29,24	9,75	29,89	10,37	22,92	6,15
13	523	29,10	9,87	31,00	12,1	24,69	7,13
14	150	27,31	9,17	29,66	9,67	25,25	7,58
15	809	30,82	8,40	31,30	10,9	23,75	6,28
16	902	32,89	10,24	29,69	10,3	23,20	6,22
17	980	33,09	10,26	28,34	9,86	21,77	5,33
18	110	29,89	10,71	29,09	10,36	24,74	6,34
19	883	27,52	9,88	31,46	10,09	24,44	6,92
20	989	25,14	7,88	30,34	9,49	18,87	4,71
21	102	18,91	6,26	29,34	9,17	18,45	4,93
22	328	27,03	8,50	33,39	11,3	16,52	4,15
23	33	28,05	9,04	30,54	10,98	23,74	6,37
24	1003	28,68	9,93	30,54	10,44	14,92	4,29
25	129	28,43	9,99	24,29	8,68	21,51	5,97
26	440	36,13	8,51	24,37	8,34	19,05	6,20
27	279	29,58	8,56	29,26	9,09	23,66	6,32
28	967	28,23	8,68	26,73	8,54	20,02	5,82
29	205	25,71	8,84	29,62	10,33	21,32	5,73
30	637	18,95	5,41	27,13	8,54	24,83	7,15
31	1008	14,66	4,65	28,09	8,79	24,54	7,50
32	82	21,45	7,39	31,79	9,09	25,40	7,08
33	718	28,65	9,22	28,74	8,9	14,70	5,37
34	693	28,93	8,16	29,98	8,2	13,70	5,06
35	72	27,80	9,53	27,65	8,47	16,68	6,57

Continua

Amostra	Família M_3	Cl a1	Cl b1	Cl a2	Cl b2	Cl a3	Cl b3
36	244	26,44	8,39	24,72	7,76	27,97	8,86
37	170	21,80	7,75	12,99	6,39	22,67	6,72
38	243	31,29	9,63	31,86	10,63	24,10	7,44
39	314	30,51	10,48	32,09	10,83	26,80	8,50
40	799	31,22	10,54	27,78	9,89	26,76	8,23
41	493	35,51	10,08	29,58	9,18	23,02	6,36
42	773	30,87	9,66	30,01	8,11	20,40	5,00
43	139	27,30	9,01	30,20	8,59	20,33	5,29
44	973	30,00	9,86	28,00	9,09	25,89	7,69
45	872	30,99	9,60	29,36	9,12	24,00	7,11
46	899	29,93	9,89	30,37	9,83	24,70	7,62
47	744	34,87	10,44	28,39	8,12	21,14	5,91
48	615	31,49	10,81	29,39	9,26	23,66	6,87
49	58	30,65	10,43	27,37	8,73	21,14	6,09
50	972	30,21	9,16	26,91	8,35	27,45	8,05
51	494	29,15	9,34	27,80	9,73	27,58	8,94
52	619	28,63	10,09	34,71	8,2	25,91	7,50
53	161	29,43	9,62	30,91	9,4	26,77	8,21
54	590	28,90	10,11	30,19	9,24	23,77	6,86
55	507	28,85	9,53	32,96	10,97	23,10	7,17
56	880	27,74	9,60	31,06	10,02	25,01	7,88
57	514	31,01	9,43	29,86	10,67	26,94	8,44
58	703	27,25	9,30	31,00	11,36	28,04	8,66
59	224	28,91	9,13	30,27	9,45	27,71	8,55
60	814	31,00	10,30	30,58	11,06	21,31	5,93
61	489	30,31	8,76	30,36	9,72	26,59	8,65
62	498	31,64	7,29	29,58	9,37	30,32	8,61
63	982	28,72	8,47	34,75	10,74	25,93	6,91
64	882	28,09	8,80	31,14	11	29,03	9,15
65	568	31,00	10,32	31,11	9,85	22,21	6,39
66	534	29,47	9,83	31,81	10,3	24,61	7,46
67	344	29,01	9,66	30,15	10,79	19,01	5,75
68	581	20,54	11,03	31,26	10,76	21,64	6,41
69	513	27,26	8,18	31,51	11,49	27,10	8,33
70	49	28,12	8,93	26,72	8,85	22,81	6,07
71	1044	29,41	9,35	29,89	9,15	22,86	5,79
72	432	34,66	9,84	29,82	11,25	22,01	5,00
73	884	31,60	10,82	23,49	8,25	26,52	6,55
74	898	29,10	9,94	32,03	10,64	27,28	7,50
75	159	28,11	8,99	28,90	10	22,02	6,13

Continua

Amostra	Família M_3	Cl a1	Cl b1	Cl a2	Cl b2	Cl a3	Cl b3
76	89	28,67	9,58	31,39	9,87	25,55	6,77
77	426	28,91	10,03	29,60	10,23	25,10	6,85
78	1006	29,41	10,08	24,93	7,18	23,07	6,31
79	40	31,19	10,28	28,67	9,45	24,74	7,15
80	875	30,69	9,63	30,22	9,59	25,41	6,80
81	178	27,49	8,42	29,79	9,56	24,37	6,58
82	555	30,11	8,76	27,22	8,68	28,51	8,10
83	563	30,98	9,83	27,55	7,63	24,91	7,26
84	558	29,03	9,19	31,18	10,79	24,59	6,85
85	855	31,05	9,42	24,83	8,87	24,16	6,35
86	565	28,43	9,60	29,25	10,69	26,29	7,70
87	231	28,53	10,12	25,93	9,59	26,54	7,39
88	379	30,66	9,66	29,21	10,09	21,77	6,53
89	879	31,46	10,39	29,52	10,4	21,96	6,30
90	990	31,00	14,00	31,64	11,7	26,02	7,14
91	977	29,88	9,82	24,20	8,99	27,23	7,98
92	1010	23,37	6,58	30,36	11,16	25,67	7,34
93	457	30,48	10,38	31,24	11,33	24,68	6,69
94	1009	28,65	8,87	30,03	10,13	27,02	8,06
95	86	28,41	9,67	26,75	9,22	27,38	7,73
96	873	30,23	10,41	25,93	9,77	24,66	7,11
97	1005	27,05	9,20	30,09	10,87	26,93	7,28
98	926	32,01	9,92	30,10	9,53	17,57	5,31
99	1002	29,16	9,05	28,37	9,28	20,07	5,52
100	397	30,59	9,35	33,10	10,22	26,56	7,69
101	1012	31,52	10,61	22,30	7,13	27,21	7,27
102	876	32,19	10,31	28,54	9,73	30,34	7,72
103	585	29,86	9,45	29,13	9,13	21,80	7,19
104	155	31,05	9,02	30,38	9,56	27,45	7,10
105	886	32,37	10,35	31,02	10,27	24,34	6,63
106	125	26,52	8,02	31,93	10,56	24,72	6,58
107	65	32,30	10,50	27,80	8,8	22,02	5,63
108	562	31,52	9,45	31,82	10,86	33,43	8,36
109	691	32,14	10,92	30,62	9,88	26,55	8,39
110	688	31,67	10,20	32,25	11,17	24,20	6,78
111	867	29,58	8,93	31,28	10,2	28,77	5,68
112	1022	30,71	8,01	31,56	11,09	24,46	6,05
113	449	32,79	10,36	30,92	10,7	26,18	7,93

Continua

Amostra	Família M_3	Cl a1	Cl b1	Cl a2	Cl b2	Cl a3	Cl b3
114	202	29,33	8,73	29,12	9,27	13,04	3,83
115	549	29,72	10,07	30,50	10,9	28,33	7,29
116	515	27,24	8,02	28,38	8,78	21,59	5,57
117	537	29,09	8,30	30,56	9,99	25,23	6,89
118	843	29,93	9,51	29,40	9,27	26,15	7,17
119	660	25,22	8,09	29,72	8,97	21,83	5,76
120	832	30,58	8,25	27,69	8,54	20,45	6,71
121	664	30,00	10,13	30,73	8,86	19,99	5,08
122	659	29,91	10,04	29,99	9,16	24,43	7,42
123	885	25,97	8,29	21,42	5,97	24,60	6,32
124	906	29,34	10,22	30,21	9,44	24,84	6,86
125	249	28,63	8,95	26,27	7,5	17,97	4,93
126	1033	30,35	10,08	19,82	6,86	24,43	6,32
127	857	30,36	11,42	37,45	10,27	18,44	5,54
128	1000	30,25	10,41	30,61	10,41	28,34	6,26
129	924	26,68	8,89	26,68	7,4	25,25	6,42
130	365	26,42	9,58	23,56	8,01	24,50	6,66
131	614	29,28	10,56	30,54	9,35	25,36	6,36
132	1050	34,25	10,29	29,85	11,04	28,14	8,72
133	545	30,68	10,59	28,07	9,36	24,55	6,69
134	252	30,97	10,21	29,86	10,14	23,11	5,64
135	441	28,79	9,69	30,33	10,29	27,51	7,31
136	794	31,24	9,78	29,63	8,93	24,94	6,78
137	187	30,95	10,02	32,92	11,38	22,05	6,00
138	708	31,45	10,13	31,55	11,22	28,89	7,22
139	42	30,43	9,23	29,97	9,36	19,44	4,75
140	497	32,24	10,35	32,03	11,72	22,40	5,37
141	21	32,73	11,57	29,91	11,28	24,84	8,16
142	965	34,55	10,64	25,31	8,97	25,08	7,21
143	868	31,88	10,48	31,70	10,8	26,13	7,10
144	80	33,83	11,81	35,37	11,34	21,79	5,32
145	778	30,76	9,86	28,78	9,98	26,75	6,82
146	64	31,53	11,03	29,53	10,63	16,84	6,68