

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



Dissertação

**Toxidez por ferro em arroz (*Oryza sativa* L.): adequação de
protocolo para caracterização de cultivares em sistema
hidropônico**

Danyela de Cássia da Silva Oliveira

Pelotas, 2013

Danyela de Cássia da Silva Oliveira

Toxidez por ferro em arroz (*Oryza sativa* L.): adequação de
protocolo para caracterização de cultivares em sistema
hidropônico

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Agronomia da Universidade Federal de
Pelotas, como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em Ciências
(área de conhecimento:
Fitomelhoramento).

Orientador: Antonio Costa de Oliveira, PhD.

Co-orientadores: Luciano Carlos da Maia, Dr.

Rogério Oliveira de Sousa

Pelotas, 2013

Dados Internacionais de Publicação (CIP)

O48t Oliveira, Danyela de Cássia da Silva
 Toxidez por ferro em arroz (*Oryza sativa* L) :
adequação de protocolo para caracterização de
cultivares em sistema hidropônico / Danyela de Cássia
da Silva Oliveira; Antonio Costa de Oliveira,
orientador; Luciano Carlos da Maia, co-orientador. -
Pelotas, 2013.
 138 f.: il.

 Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de
Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de
Pelotas. Pelotas, 2013.

 1.Tolerância ao ferro. 2.Caracteres morfológicos.
3.Excesso de ferro. 4.Solução nutritiva. 5.Análises
multivariadas. I. Oliveira, Antonio Costa de , orient.
II. Maia, Luciano Carlos da, co-orient. III. Título.

CDD: 633.18

Banca examinadora:

Antonio Costa de Oliveira, PhD. – Dep. de Fitotecnia, FAEM/UFPeI

Rogério Oliveira de Sousa, Dr. – Dep. de Solos, FAEM/UFPeI

Daniel da Rosa Farias, Dr. – Pós-doutorando em Agronomia-fitomelhoramento,
FAEM/UFPeI

DEDICATÓRIA

Primeiramente a Deus, que me deu força e sabedoria para chegar até aqui.

Ao meu marido: Rafael Vassidão Fagundes, por estar sempre ao meu lado...

Aos meus pais: Ilson Carneiro Gonçalves e Maria de Lurdes da Silva Oliveira, que me deram todo o apoio do mundo.

Aos meus irmãos Aline, Junior e Wanderson

E a toda minha família e amigos, que sempre tiveram do meu lado incentivando...

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela oportunidade e por ter me dado força pra chegar ao final de mais uma etapa.

Ao meu marido Rafael, pela compreensão, paciência e ajuda em todas etapas, por sempre estar ao meu lado, dando força e as vezes até choque de realidade.... Amo você bichinho feio.

Ao meu pai Ilson a minha mãe Maria de Lurdes, aos meus irmãos Aline, Junior e Wanderson, muito obrigada pelo apoio e incentivo no decorrer de minha caminhada amo vocês;

A toda minha família, mas em especial a minha tia Jeovânia, por estar sempre comigo por me apoiar e me dar força, à minha vó Izabel e meu vô Francisco por me apoiarem.

A minha tia Domingas, por me apoiar e principalmente pela lição de vida, por ser forte e me ensinar a ser forte obrigada por tudo.

Aos Professores Antonio Costa de Oliveira, Luciano Carlos da Maia e Rogério Oliveira de Sousa pela orientação no desenvolvimento deste trabalho, pela paciência que tiveram comigo e pela amizade construída, pelos ensinamentos, apoio e contribuições no trabalho.

Aos professores do curso da Pós em Agronomia- Fitomelhoramento da Universidade Federal de Pelotas, pelos conhecimentos transmitido.

Ao meu anjo da guarda, a minha amiga muito querida Solange Ferreira Silveira Silveira, que desde o início me deu força e por mais que não acredite você, me transmite paz e faz a minha vida ser menos triste... Te gosto muito muitão tens sido minha família longe dela.

A minha companheira de sala Viviane, que me ensina, que torna os meus dias mais alegres, que faz previsões sobre o meu futuro, que sempre viaja para "Narnia" e que quando volta de lá se assusta com a guriazinha medonha que me tornei... te gosto muito Vivi.

A minha amiga Mariana que no decorrer da minha também tornou-se muito importante muito obrigada por tudo, pelas palavras certas nas horas certas... te gosto também...

Aos meus colegas do CGF, que não são menos importantes, cada um teve a sua contribuição, afinal vocês se tornaram parte da minha vida. Meu muito obrigada a cada um de vocês não me atreverei a citar cada um porque são muitos.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro no desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

OLIVEIRA, Danyela de Cássia da Silva. Toxidez por ferro em arroz (*Oryza sativa* L.): adequação de protocolo para caracterização de cultivares em sistema hidropônico. 2013, 138f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas – RS.

A toxidez de ferro é um dos principais estresses abióticos que afetam a cultura do arroz irrigado, sendo importante a caracterização da resposta de genótipos ao excesso de ferro. Os objetivos deste trabalho foram selecionar entre os caracteres morfológicos estudados, aqueles que possibilitem discriminar as cultivares quanto ao estresse por ferro; selecionar a concentração que pudesse separar as cultivares sensíveis das tolerantes a partir de caracteres morfológicos de plantas cultivadas em sistema hidropônico. Foram realizados dois experimentos similares que diferiram apenas no tempo de exposição ao estresse por ferro, sendo que no experimento 1, as plântulas foram submetidas as concentrações de ferro por sete dias; no experimento 2, as plântulas foram mantidas na condição de estresse por 14 dias. Os experimentos foram conduzidos em blocos casualizados, com três repetições. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Cultivo Hidropônico e Duplo Haplóides do Centro de Genômica e Fitomelhoramento, FAEM/UFPel, em tanque de cultivo hidropônico. Foram avaliadas seis cultivares comerciais de arroz irrigado, previamente caracterizadas quanto à toxidez por ferro em condições de campo, sendo sensíveis (BR-IRGA 409, BR-IRGA 410, IRGA 417), medianamente sensível (BRS Atalanta) e tolerantes (EPAGRI 107, BRS Querência). Para a instalação de cada experimento as sementes foram desinfestadas e colocadas para germinar em BOD (câmara de germinação) com temperatura de 25°C, com fotoperíodo de 16 horas e umidade relativa de 100% por 96 horas. Para ambos os experimentos as plantas foram cultivadas em sistema hidropônico por condição por 14 dias, na solução nutritiva. No décimo quinto dia as plantas foram submetidas aos tratamentos, sendo a concentração controle (solução nutritiva), concentração 400 (solução nutritiva + 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7 H₂O), concentração 800 (solução nutritiva + 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7 H₂O) e a

concentração 1200 (solução nutritiva + 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7 H₂O). Para o experimento 1, os baldes permaneceram na condição de estresse por 7 dias, enquanto que no experimento 2 baldes permaneceram na condição de estresse por 14 dias. No experimento 1, as avaliações se procederam no oitavo dia, para o experimento 2, as avaliações se procederam no décimo quinto dia de estresse. Os caracteres avaliados foram: comprimento de raiz (CR), comprimento da parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento de coleótilo (CC), Inserção da primeira folha (IPF), Inserção da segunda folha (ISF) e diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF). Os caracteres foram medidos com auxílio de régua graduada em cinco plântulas normais por balde (escolhidas aleatoriamente) para compor uma repetição. Foram utilizados os dados relativos para fazer a análise de regressão para avaliar quais os caracteres morfológicos na discriminação das cultivares. Os dados originais foram separados por concentração onde se procedeu as análises multivariadas para a melhor concentração definir na discriminação de cultivares. Para a seleção de caracteres independentemente do tempo de exposição da planta ao estresse por ferro dentre os nove caracteres avaliados apenas o comprimento de raízes e o comprimento da segunda folha mostraram-se eficientes na caracterização de cultivares de arroz em sistema hidropônico. Na seleção das houve diferença entre os experimentos. No experimento 1, utilizando análises multivariadas, apenas a concentração de 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, durante sete dias, possibilita a discriminação das plantas de arroz tolerantes das demais com algum nível de sensibilidade ao ferro. No experimento 2, através da mensuração de características morfológicas de plantas submetidas as concentrações de 800 e 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, por 14 dias, é possível separar as cultivares em três classes sendo elas: sensíveis, mediantemente sensíveis e tolerantes, utilizando análises multivariadas.

Palavras-chave: excesso de ferro, hidroponia, caracteres morfológicos, análise de multivariadas, cultivares de arroz irrigado.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Danyela Cassia da Silva. Iron toxicity in rice (*Oryza sativa* L.): protocol for cultivar characterization in hydroponics. 2013, 138f. Dissertation (Master of Science) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas – RS.

Iron toxicity is one of the major abiotic stresses that affect the irrigated rice crop, making it important the characterization of genotypes to iron excess. The objectives of this work were to select from the morphological characters, those that allow discriminating cultivars for iron stress, selecting the concentration that could separate the sensitive from tolerant cultivars by comparing morphological characters of plants grown hydroponically. Two experiments were performed, differing in the time of iron stress exposure, whereas in experiment 1, seedlings were subjected to iron concentrations for seven days, in experiment 2, the seedlings were kept in the stress condition for 14 days. The experiments were conducted in a randomized block design with three replications. The experiments were performed in the Laboratory of Hydroponics and double haploids from the Plant Genomics and Breeding Center, FAEM / UFPel in hydroponic tank. Six commercial cultivars of rice previously characterized as sensitive (BR-IRGA 409, BR-IRGA 410, IRGA 417), medium sensitive (BRS Atalanta) and tolerant (EPAGRI 107, BRS Querência) to iron were used. For the installation of each experiment the seeds were disinfested and germinated in BOD (germination chamber) with a temperature of 25 ° C, with a photoperiod of 16/8 hours and 100% relative humidity for 96 hours. For both experiments the plants were grown hydroponically for 14 days in nutrient solution. On the fifteenth day the plants were transferred to control (nutrient solution), 400 concentration (nutrient solution + 400 mg L⁻¹ FeSO₄.7 H₂O), 800 concentration (nutrient solution + 800 mg L⁻¹ FeSO₄.7 H₂O) and the concentration 1200 (nutrient solution + 1200 mg L⁻¹ FeSO₄.7 H₂O). For the Experiment 1, the pots remained in the condition of stress for 7 days, while in experiment 2, the pots remained in the stress condition for 14 days. In Experiment 1, the evaluations were conducted on the eighth day, for the experiment 2, the evaluations conducted the fifteenth day of stress. The traits were: root length (RL), shoot length (CPA), number of roots (NR), length of the first leaf (CPF), second leaf

length (CSF), coleoptile length (CC) insertion of the first leaf (IPF), insertion of the second leaf (ISF), and insertion difference between the first and second sheet (DIPSF). The characters were measured with the aid of graduated scale, being evaluated five normal seedlings per pot. A regression analysis was performed to evaluate which morphological characters were more efficient in the discrimination of cultivars. The original data were separated by concentration where multivariate analyses were performed to determine the best concentration to discriminate cultivars. The traits root length and the second leaf length showed to be efficient in the characterization of rice cultivars in hydroponic culture to select characters regardless of time of exposure to iron stress. In experiment 1, using multivariate analysis, only the concentration of $1200 \text{ mg L}^{-1} \text{ FeSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$, for seven days, allowed discrimination of tolerant rice plants from others with some level of sensitivity to iron. In experiment 2, through the measurement of morphological characteristics of plants subjected to the concentrations of 800 and $1200 \text{ mg L}^{-1} \text{ FeSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$, for 14 days, it is possible to separate the cultivars into three classes namely: sensitive, moderately sensitive and tolerant using multivariate analyzes.

Key words: iron excess, hydroponics, morphological analysis, multivariate rice cultivars

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO I. SELEÇÃO DE VARIÁVEIS UTILIZADAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DE CULTIVARES QUANTO O ESTRESSE POR FERRO

EXPERIMENTO 1

- Figura 1.** Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz, para o caráter comprimento de raízes, quando submetidas ao estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.39
- Figura 2.** Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz, para o caráter comprimento da parte aérea, quando submetidas ao estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.41
- Figura 3.** Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter número de raízes, quando submetidos a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.42
- Figura 4.** Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento da primeira folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.44
- Figura 5.** Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento da segunda folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.45
- Figura 6.** Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento do coleóptilo, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.47
- Figura 7.** Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter inserção da primeira folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.48
- Figura 8.** Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter inserção da segunda folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.50
- Figura 9.** Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter diferença de inserção entre a primeira e segunda folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.51

CAPITULO I. SELEÇÃO DE VARIÁVEIS UTILIZADAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DE CULTIVARES QUANTO O ESTRESSE POR FERRO

EXPERIMENTO 2

- Figura 10.** Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento de raízes, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.56

Figura 11. Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento da parte aérea, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.	58
Figura 12. Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter número de raízes, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.	59
Figura 13. Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento da primeira folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.	61
Figura 14. Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento da segunda folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.	62
Figura 15. Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter inserção da primeira folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.	64
Figura 16. Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter inserção da segunda folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.	66
Figura 17. Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter diferença de inserção entre a primeira e segunda folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.	68

CAPITULO II: ADEQUAÇÃO DE CONCENTRAÇÃO DE FERRO PARA PROMOÇÃO DE ESTRESSE COM USO DE SOLUÇÃO EM HIDROPONIA

EXPERIMENTO 1

Figura 18. Dendrograma resultante da análise de agrupamento de seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração testemunha, pelo método UPGMA, utilizando a distância de Mahalanobis, obtida a partir da análise de caracteres Morfológicos. *r: correlação cofenética. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.	84
Figura 19. Gráfico de dispersão das seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração testemunha, considerando as duas primeiras variáveis canônicas. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.	86
Figura 20. Dendrograma resultante da análise de agrupamento de seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração 400 mg L ⁻¹ de FeSO ₄ .7H ₂ O, pelo método UPGMA, utilizando a distância de Mahalanobis, obtida a partir da análise de caracteres Morfológicos. *r: correlação cofenética. Pelotas, CGF-FAEM/UFPeI, 2013.	90
Figura 21. Gráfico de dispersão das seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração 400 mg L ⁻¹ de FeSO ₄ .7H ₂ O, considerando as duas primeiras variáveis canônicas. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.	92

Figura 22. Dendrograma resultante da análise de agrupamento de seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração 800 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, pelo método UPGMA, utilizando a distância de Mahalanobis, obtida a partir da análise de caracteres Morfológicos. *r: correlação cofenética. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.96

Figura 23. Gráfico de dispersão das seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração 800 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, considerando as duas primeiras variáveis canônicas. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.....99

Figura 24. Dendrograma resultante da análise de agrupamento de seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração 1200 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, pelo método UPGMA, utilizando a distância de Mahalanobis, obtida a partir da análise de caracteres Morfológicos. *R:Correlação cofenética. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.103

Figura 25. Gráfico de dispersão das seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração 1200 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, considerando as duas primeiras variáveis canônicas. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.....106

EXPERIMENTO 2

Figura 26. Dendrograma resultante da análise de agrupamento de seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração testemunha, pelo método UPGMA, utilizando a distância de Mahalanobis, obtida a partir da análise de caracteres Morfológicos. *r: correlação cofenética. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.112

Figura 27. Gráfico de dispersão das seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração testemunha, considerando as duas primeiras variáveis canônicas. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.....114

Figura 28. Dendrograma resultante da análise de agrupamento de seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração 400 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, pelo método UPGMA, utilizando a distância de Mahalanobis, obtida a partir da análise de caracteres Morfológicos. *r: correlação cofenética. Pelotas, CGF-FAEM/UFPeI, 2013.117

Figura 29. Gráfico de dispersão das seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração 400 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, considerando as duas primeiras variáveis canônicas. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.....120

Figura 30. Dendrograma resultante da análise de agrupamento de seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração 800 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, pelo método UPGMA, utilizando a distância de Mahalanobis, obtida a partir da análise de caracteres Morfológicos. *r: correlação cofenética. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.123

Figura 31. Gráfico de dispersão das seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração 800 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, considerando as duas primeiras variáveis canônicas. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.....126

Figura 32. Dendrograma resultante da análise de agrupamento de seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração 1200 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, pelo método UPGMA, utilizando a distância de Mahalanobis, obtida a partir da análise de caracteres Morfológicos. *r: correlação cofenética. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.129

Figura 33. Gráfico de dispersão das seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração 1200 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, considerando as duas primeiras variáveis canônicas. CGF-FAEM/UFPEl, 2013.....131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Informações das características das cultivares se arroz irrigado (SOSBAI, 2007; 2012)..... 32

Tabela 2. Concentrações de ferro das concentrações empregadas no experimento..... 34

CAPITULO I. SELEÇÃO DE VARIÁVEIS UTILIZADAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DE CULTIVARES QUANTO O ESTRESSE POR FERRO EXPERIMENTO 1

Tabela 3. Resumo da análise de variância para os caracteres comprimento de raízes (CR), comprimento da parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento do coleóptilo (CC), inserção da primeira folha (IPF) inserção da segunda folha (ISF), diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF), em cultivares de arroz, submetidas a quatro níveis de estresse por ferro, em solução nutritiva. CGF-FAEM/UFPeI, 2013..... 37

Tabela 4. Equações de regressão ajustadas com base no desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento de raízes, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013..... 39

Tabela 5. Equações de regressão ajustadas com base no desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento da parte aérea, quando submetidos a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013. 41

Tabela 6. Equações de regressão ajustadas com base no desempenho das cultivares de arroz para o caráter número de raízes, quando submetidos a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013..... 43

Tabela 7. Equações de regressão ajustadas com base no desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento da primeira folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013. 44

Tabela 8. Equações de regressão ajustadas com base no desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento da segunda folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013. 46

Tabela 9. Equações de regressão ajustadas com base no desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento do coleóptilo, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013. 47

Tabela 10. Equações de regressão ajustadas com base no desempenho das cultivares de arroz para o caráter inserção da primeira folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013. 49

Tabela 11. Equações de regressão ajustadas com base no desempenho das cultivares de arroz para o caráter inserção da segunda folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013. 50

Tabela 12. Equações de regressão ajustadas com base no desempenho das cultivares de arroz para o caráter diferença de inserção entre a primeira e segunda folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013. 52

EXPERIMENTO 2

Tabela 13. Resumo da análise de variância para os caracteres comprimento de raízes (CR), comprimento da parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento do coleóptilo (CC), inserção da primeira folha (IPF) inserção da segunda folha (ISF), diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF), em seis cultivares de arroz, submetidas a quatro níveis de estresse por ferro, em solução nutritiva. CGF-FAEM/UFPeI, 2013. 54

Tabela 14. Equações de regressão ajustadas ao desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento de raízes, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013. 56

Tabela 15. Equações de regressão ajustadas ao desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento da parte aérea, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013..... 58

Tabela 16. Equações de regressão ajustadas ao desempenho das cultivares de arroz para o caráter número de raízes, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013. 59

Tabela 17. Equações de regressão ajustadas ao desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento da primeira folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013..... 61

Tabela 18. Equações de regressão ajustadas ao desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento da segunda folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013..... 63

Tabela 19. Equações de regressão ajustadas ao desempenho das cultivares de arroz para o caráter inserção da primeira folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013..... 64

Tabela 20. Equações de regressão ajustadas ao desempenho das cultivares de arroz para o caráter inserção da segunda folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013..... 66

Tabela 21. Equações de regressão ajustadas ao desempenho das cultivares de arroz para o caráter diferença de inserção entre a primeira e segunda folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013. 68

CAPITULO II: ADEQUAÇÃO DE CONCENTRAÇÃO DE FERRO PARA PROMOÇÃO DE ESTRESSE COM USO DE SOLUÇÃO EM HIDROPONIA EXPERIMENTO 1

Tabela 22. Resumo da análise de variância para os caracteres comprimento de raízes (CR), comprimento da parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento do coleóptilo (CC), inserção da primeira folha (IPF), inserção da segunda folha (ISF), diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF), em cultivares de arroz, submetidas a quatro níveis de estresse por ferro, em solução nutritiva. CGF-FAEM/UFPeI, 2013. 81

Tabela 23. Distância genética entre seis cultivares de arroz irrigado à concentração testemunha, calculada pelo método das distâncias de Mahalanobis para os caracteres morfológicos na fase de plântula, sob cultivo hidropônico. CGF-FAEM/UFPeI, 2013. 82

Tabela 24. Escore dos genótipos em relação às duas primeiras variáveis canônicas obtidas na avaliação da dissimilaridade genética, em cultivares de arroz, na concentração testemunha. CGF-FAEM/UFPeI, 2013. 85

Tabela 25. Importância relativa dos caracteres morfológicos, comprimento de raízes (CR), comprimento da parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), inserção da primeira folha (IPF), inserção da segunda folha (ISF), diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF), das variáveis canônicas em cultivares de arroz submetidas à concentração testemunha. CGF-FAEM/UFPeI, 2013. 85

Tabela 26. Agrupamento das cultivares de arroz irrigado pelo método de otimização de Tocher, com base nos caracteres morfológicos de plântulas cultivadas na concentração testemunha. CGF-FAEM/UFPeI, 2013. 87

Tabela 27. Contribuição relativa dos caracteres morfológicos para a dissimilaridade entre genótipos de arroz irrigado na concentração testemunha. CGF-FAEM/UFPeI, 2013. 88

Tabela 28. Distância genética entre seis cultivares de arroz irrigado à concentração 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, calculada pelo método das distâncias de Mahalanobis para os caracteres morfológicos na fase de plântula, sob cultivo hidropônico. CGF-FAEM/UFPeI, 2013. 89

Tabela 29. Escore dos genótipos em relação às duas primeiras variáveis canônicas obtidas na avaliação da dissimilaridade genética, em cultivares de arroz, na concentração 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPeI, 2013. 91

Tabela 30. Importância relativa dos caracteres morfológicos comprimento de raízes (CR), comprimento da parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento do coleóptilo (CC), inserção da primeira folha (IPF), inserção da segunda folha (ISF), diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF), das variáveis canônicas em cultivares de arroz submetidas à concentração 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPel, 2013. 91

Tabela 31. Agrupamento das cultivares de arroz irrigado pelo método de otimização de Tocher, com base nos caracteres morfológicos de plântulas cultivadas na concentração 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPel, 2013. 93

Tabela 32. Contribuição relativa dos caracteres morfológicos para a dissimilaridade entre genótipos de arroz irrigado na concentração 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPel, 2013. 94

Tabela 33. Distância genética entre seis cultivares de arroz irrigado à concentração 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, calculada pelo método das distâncias de Mahalanobis para os caracteres morfológicos na fase de plântula, sob cultivo hidropônico. CGF-FAEM/UFPel, 2013. 95

Tabela 34. Escore dos genótipos em relação às duas primeiras variáveis canônicas obtidas na avaliação da dissimilaridade genética, em cultivares de arroz, na concentração 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPel, 2013. 97

Tabela 35. Importância relativa dos caracteres morfológicos comprimento de raízes (CR), comprimento da parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento do coleóptilo (CC), inserção da primeira folha (IPF), inserção da segunda folha (ISF), diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF), das variáveis canônicas em cultivares de arroz submetidas à concentração 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPel, 2013. 98

Tabela 36. Agrupamento das cultivares de arroz irrigado pelo método de otimização de Tocher, com base nos caracteres morfológicos de plântulas cultivadas na concentração 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPel, 2013. 99

Tabela 37. Contribuição relativa dos caracteres morfológicos para a dissimilaridade entre genótipos de arroz irrigado na concentração 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPel, 2013. 100

Tabela 38. Distância genética entre seis cultivares de arroz irrigado à concentração 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, calculada pelo método das distâncias de Mahalanobis para os caracteres morfológicos na fase de plântula, sob cultivo hidropônico. CGF-FAEM/UFPel, 2013. 101

Tabela 39. Escore dos genótipos em relação às duas primeiras variáveis canônicas obtidas na avaliação da dissimilaridade genética, em cultivares de arroz, na concentração 1200 mg L ⁻¹ de FeSO ₄ .7H ₂ O. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.	104
Tabela 40. Importância relativa dos caracteres morfológicos comprimento de raízes (CR), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento do coleótilo (CC), inserção da primeira folha (IPF), das variáveis canônicas em cultivares de arroz submetidas à concentração 1200 mg L ⁻¹ de FeSO ₄ .7H ₂ O. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.	104
Tabela 41. Agrupamento das cultivares de arroz irrigado pelo método de otimização de Tocher, com base nos caracteres morfológicos de plântulas cultivadas na concentração 1200 mg L ⁻¹ de FeSO ₄ .7H ₂ O. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.	106
Tabela 42. Contribuição relativa dos caracteres morfológicos para a dissimilaridade entre genótipos de arroz irrigado na concentração 1200 mg L ⁻¹ de FeSO ₄ .7H ₂ O. Pelotas, RS. 2013.	107

EXPERIMENTO 1

Tabela 43. Resumo da análise de variância para os caracteres comprimento de raízes (CR), comprimento da parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), inserção da primeira folha (IPF) inserção da segunda folha (ISF), diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF), em cultivares de arroz, submetidas a quatro níveis de estresse por ferro, em solução nutritiva. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.	110
Tabela 44. Distância genética entre seis cultivares de arroz irrigado à concentração testemunha, calculada pelo método das distâncias de Mahalanobis para os caracteres morfológicos na fase de plântula, sob cultivo hidropônico. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.	111
Tabela 45. Escore dos genótipos em relação às duas primeiras variáveis canônicas obtidas na avaliação da dissimilaridade genética, em cultivares de arroz, na concentração testemunha. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.....	113
Tabela 46. Importância relativa dos caracteres morfológicos comprimento de raízes (CR), comprimento da parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento do coleótilo (CC), inserção da primeira folha (IPF) inserção da segunda folha (ISF), diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF), das variáveis canônicas em cultivares de arroz submetidas à concentração testemunha. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.	113
Tabela 47. Agrupamento das cultivares de arroz irrigado pelo método de otimização de Tocher, com base nos caracteres morfológicos de plântulas cultivadas na concentração testemunha. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.....	115

Tabela 48. Contribuição relativa dos caracteres morfológicos para a dissimilaridade entre genótipos de arroz irrigado na concentração testemunha. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.....	116
Tabela 49. Distância genética entre seis cultivares de arroz irrigado à concentração 400 mg L ⁻¹ de FeSO ₄ .7H ₂ O, calculada pelo método das distâncias de Mahalanobis para os caracteres morfológicos na fase de plântula, sob cultivo hidropônico. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.	116
Tabela 50. Escore dos genótipos em relação às duas primeiras variáveis canônicas obtidas na avaliação da dissimilaridade genética, em cultivares de arroz, na concentração 400 mg L ⁻¹ de FeSO ₄ .7H ₂ O. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.	118
Tabela 51. Importância relativa dos caracteres morfológicos comprimento de raízes (CR), comprimento da parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF),comprimento do coleóptilo (CC), inserção da primeira folha (IPF) inserção da segunda folha (ISF), diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF), das variáveis canônicas em cultivares de arroz submetidas à concentração 400 mg L ⁻¹ de FeSO ₄ .7H ₂ O. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.	119
Tabela 52. Agrupamento das cultivares de arroz irrigado pelo método de otimização de Tocher, com base nos caracteres morfológicos de plântulas cultivadas na concentração 400 mg L ⁻¹ de FeSO ₄ .7H ₂ O. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.	121
Tabela 53. Contribuição relativa dos caracteres morfológicos para a dissimilaridade entre genótipos de arroz irrigado na concentração 400 mg L ⁻¹ de FeSO ₄ .7H ₂ O. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.	121
Tabela 54. Distância genética entre seis cultivares de arroz irrigado à concentração 800 mg L ⁻¹ de FeSO ₄ .7H ₂ O, calculada pelo método das distâncias de Mahalanobis para os caracteres morfológicos na fase de plântula, sob cultivo hidropônico. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.	122
Tabela 55. Escore dos genótipos em relação às duas primeiras variáveis canônicas obtidas na avaliação da dissimilaridade genética, em cultivares de arroz, na concentração 800 mg L ⁻¹ de FeSO ₄ .7H ₂ O. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.	124
Tabela 56. Importância relativa dos caracteres morfológicos comprimento de raízes (CR), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF),comprimento do coleóptilo (CC), inserção da primeira folha (IPF) inserção da segunda folha (ISF), diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF), das variáveis canônicas em cultivares de arroz submetidas à concentração 800 mg L ⁻¹ de FeSO ₄ .7H ₂ O. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.....	125

Tabela 57. Agrupamento das cultivares de arroz irrigado pelo método de otimização de Tocher, com base nos caracteres morfológicos de plântulas cultivadas na concentração 800 mg L ⁻¹ de FeSO ₄ .7H ₂ O. CGF-FAEM/UFPel, 2013.	127
Tabela 58. Contribuição relativa dos caracteres morfológicos para a dissimilaridade entre genótipos de arroz irrigado na concentração 800 mg L ⁻¹ de FeSO ₄ .7H ₂ O. CGF-FAEM/UFPel, 2013.	127
Tabela 59. Distância genética entre seis cultivares de arroz irrigado à concentração 1200 mg L ⁻¹ de FeSO ₄ .7H ₂ O, calculada pelo método das distâncias de Mahalanobis para os caracteres morfológicos na fase de plântula, sob cultivo hidropônico. CGF-FAEM/UFPel, 2013.	128
Tabela 60. Escore dos genótipos em relação às duas primeiras variáveis canônicas obtidas na avaliação da dissimilaridade genética, em cultivares de arroz, na concentração 1200 mg L ⁻¹ de FeSO ₄ .7H ₂ O. CGF-FAEM/UFPel, 2013.	129
Tabela 61. Importância relativa dos caracteres morfológicos comprimento de raízes (CR), comprimento da parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento do coleóptilo (CC), inserção da primeira folha (IPF) inserção da segunda folha (ISF), diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF), das variáveis canônicas em cultivares de arroz submetidas à concentração 1200 mg L ⁻¹ de FeSO ₄ .7H ₂ O. CGF-FAEM/UFPel, 2013.	130
Tabela 62. Agrupamento das cultivares de arroz irrigado pelo método de otimização de Tocher, com base nos caracteres morfológicos de plântulas cultivadas na concentração 1200 mg L ⁻¹ de FeSO ₄ .7H ₂ O. CGF-FAEM/UFPel, 2013.	131
Tabela 63. Contribuição relativa dos caracteres morfológicos para a dissimilaridade entre genótipos de arroz irrigado na concentração 1200 mg L ⁻¹ de FeSO ₄ .7H ₂ O. Pelotas, RS. 2013.	132

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	9
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE TABELAS	15
SUMÁRIO	22
INTRODUÇÃO GERAL	24
CAPITULO I.....	29
SELEÇÃO DE VARIÁVEIS UTILIZADAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DE CULTIVARES QUANTO AO ESTRESSE POR FERRO	29
INTRODUÇÃO	30
MATERIAL E MÉTODOS	32
RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
EXPERIMENTO 1 – PLANTAS SUBMETIDAS AO ESTRESSE POR 7 DIAS	36
CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
EXPERIMENTO 2 – PLANTAS SUBMETIDAS AO ESTRESSE POR 14 DIAS	53
CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
CONCLUSÕES	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
CAPITULO II.....	75
ADEQUAÇÃO DE CONCENTRAÇÃO DE FERRO PARA PROMOÇÃO DE ESTRESSE COM USO DE SOLUÇÃO EM HIDROPONIA	75
INTRODUÇÃO	76
MATERIAL E MÉTODOS	77
RESULTADOS E DISCUSSÃO	80

EXPERIMENTO 1	80
CONSIDERAÇÕES FINAIS	107
EXPERIMENTO 2	109
CONSIDERAÇÕES FINAIS	132
CONCLUSÃO	133
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	134
ANEXO	136
PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE PLÂNTULAS DE ARROZ QUANTO A TOXIDEZ POR FERRO	136
VITAE	138

INTRODUÇÃO GERAL

A toxidez causada pelo excesso de ferro tem sido um dos impedimentos para aumentar a produtividade, sendo considerado um dos estresses abióticos mais importantes a limitar a produção de arroz irrigado em nível mundial (DOBERMANN; FAIRHURST, 2000; WARDA, 2001). A toxidez causada pela alta disponibilidade de ferro nos solos causa perdas podendo levar a prejuízos de 15 a 20% na produção, entretanto perdas totais na produção já foram descritas na literatura (WINSLOW et al., 1989; AUDEBERT; SAHRAWAT, 2000).

O arroz é uma gramínea pertencente à família Poaceae e ao gênero *Oryza*. É uma planta anual, classificada no grupo de plantas C₃, adaptada ao ambiente aquático. Esta adaptação é devida à presença de aerênquima no colmo e nas raízes da planta, que possibilita a passagem de oxigênio do ar para a camada da rizosfera (SOSBAI, 2007).

O gênero *Oryza* é considerado pequeno, sendo composto por apenas 23 espécies, porém as diversas adaptações ecológicas das suas espécies são notórias (VAUGHAN, MORISHIMA, KADOWAKI, 2003).

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais com maior importância no mundo e seu cultivo ocorre em todos os continentes. Destaca-se por ser um alimento nutritivo, rico em carboidrato participando da dieta de mais da metade da população mundial. Em torno de 20% do total de calorias consumidas mundialmente, são fornecidas por esse cereal, o consumo médio mundial é 60 kg/pessoa/ano. (ABADIE et al., 2005; KHUSH, 2001; SOSBAI, 2012).

O aumento da demanda por alimentos em decorrência do crescimento populacional acarreta no aumento da necessidade de incrementos produtivos, e neste sentido a cultura do arroz tem grande importância social e econômica, sendo considerada uma estratégia na solução de questões de segurança alimentar, amenizando a fome mundial (SOSBAI, 2010; AMMIRAJU, et al., 2010).

O Brasil destina aproximadamente 2,4 milhões hectares para a produção de arroz. O Rio Grande do Sul se destaca por ser o maior produtor deste cereal com uma área de aproximadamente um milhão hectares, representando 44,5%

da área nacional e 67,0% da produção brasileira. O estado também conta com a maior produtividade média, cerca de 7.500 kg ha^{-1} , este fato se deve ao sistema de cultivo irrigado (CONAB, 2012).

O Rio Grande do Sul é o principal produtor de arroz no sistema irrigado do Brasil, sendo uma das principais características do arroz irrigado a manutenção de uma lâmina de água sobre o solo durante a maior parte do seu desenvolvimento. Em solos alagados, como no cultivo do arroz, o baixo potencial redox do meio promove um aumento nas quantidades de ferro (Fe^{2+}) na solução do solo, podendo atingir níveis tóxicos às plantas cultivadas nesses ambientes afetando de forma drástica a produtividade de genótipos não tolerantes (SOUSA; CAMARGO; VAHL, 2004; SOSBAI, 2007).

Com a intemperização das rochas o ferro é liberado para o solo, onde este se precipita na forma de óxidos e hidróxidos, tal fato ocorre devido ao Fe^{3+} ter alta afinidade com OH^- , o composto formado apresenta baixa solubilidade em valores normais de pH do solo (VAHL; SOUSA, 2004).

A lâmina de água formada em solos alagados afeta a troca de gases entre o solo e a atmosfera, que ocorre principalmente por difusão. A difusão do oxigênio na água é cerca de 10 mil vezes mais lenta do que no ar. Assim, o suprimento de O_2 em solo alagado torna-se extremamente lento e muito aquém da demanda microbiológica (VAHL; SOUSA, 2004). Desta forma a quantidade de CO_2 atinge 3 t ha^{-1} , nas primeiras semanas de alagamento (PONNAMPERUMA, 1972).

Em ambientes alagados, duas forças atuam em sentidos opostos durante o período de alagamento para definir o pH do solo, sendo elas a redução e o acúmulo de CO_2 . A redução de compostos oxidados do solo (nitrato, manganês, ferro e sulfato) é realizada por microorganismos anaeróbios e facultativos presentes no solo que sempre utilizam o H^+ tendendo a aumentar o pH do solo. Em contra partida o acúmulo de CO_2 tende a decrescer o pH, devido a dissociação do H_2CO_3 , que libera H^+ para a solução do solo (VAHL; SOUSA, 2004).

Nos solos ácidos o pH apresenta um pequeno decréscimo inicial, normalmente no primeiro e/ou segundo dia de alagamento, seguindo por um aumento até um valor máximo constante de 6,5 a 7,0 em três a quatro

semanas. A diminuição inicial é devida ao acúmulo de CO_2 e o aumento posterior é devido às reações de oxirredução que ocorrem com o consumo de íons H^+ (VAHL; SOUSA, 2004). A cinética destas reações depende basicamente do teor de matéria orgânica e do óxido de ferro presente na fase sólida.

Uma das alterações químicas que ocorrem nessa condição é a redução do Fe^{3+} (forma férrica) pouco solúvel, para Fe^{2+} (forma ferrosa). A redução do ferro e o consequente aumento de sua solubilidade influenciam as características eletroquímicas do solo (PONNAMPERUMA, 1985), devido à presença de grande quantidade de óxidos e hidróxidos de ferro que podem sofrer redução, bem como pela alta reatividade do ferro com outros compostos do solo. A cinética do Fe^{2+} (solúvel) influencia na disponibilidade e na absorção de nutrientes pelas plantas de arroz. A liberação do ferro para a solução do solo é muito rápida, e concentrações máximas de ferro podem ocorrer em poucas semanas de alagamento.

Como os compostos de ferro ferroso são muito mais solúveis que os compostos férricos, o resultado é um aumento na solubilidade total do ferro. À medida que o potencial redox diminui, a solubilidade do ferro tende a aumentar exponencialmente de modo que praticamente todo o ferro detectável na solução do solo encontra-se na forma reduzida de Fe^{2+} , aumentando a disponibilidade de ferro em níveis que podem ser tóxicos às plantas cultivadas neste ambiente (LINDSAY, 1979; BECANA et al., 1998).

Em solos com teores relativamente altos de carbono orgânico e presença de óxidos de ferro amorfos na fase sólida, as reações são mais rápidas e geralmente se verifica um pico na concentração de Fe^{2+} em solução algumas semanas após o início da inundação. Por outro lado, em solos pobres em carbono orgânico e ou, cuja solubilidade do ferro é controlada por óxidos bem cristalizados como hematita ou goethita, o aumento da concentração de Fe^{2+} em solução é lento, podendo levar de vários meses a anos para atingir um ponto máximo (PONNAMPERUMA, 1972; MELLO et al., 1992).

Os sintomas típicos observados são o bronzeamento das folhas, onde estas ficam descoloridas, com exceção da nervura central, as quais adquirem uma cor púrpura, vermelho-acastanhada, laranja ou amarela, e mais tarde

secam, conferindo uma aparência de queimadura às plantas. As folhas velhas são as mais afetadas, inclusões marrons nas folhas mais jovens, causadas pela deposição de ferro, as quais se espalham para as nervuras durante a progressão da toxidez. As raízes são escassas, ásperas e se tornam de coloração marrom (CAMARGO, 1984; SAHRAWAT, 2004).

A toxidez severa causada pelo excesso de ferro faz com que as plantas de arroz tenham baixa taxa de crescimento, redução no número de afilhos, produzam panículas pequenas e com alta proporção de espiguetas estéreis (YOSHIDA, 1981), causando diminuição da produtividade e em casos mais severos a morte da planta (PONNAMPERUMA et al., 1955; OLALEYE et al., 2001; MEHRABAN et al., 2008).

Vários estudos sobre a toxidez por excesso de ferro vêm sendo realizados, e já foram identificados dois tipos de toxidez: uma toxidez direta, decorrente do acúmulo de grandes níveis de ferro em tecidos vegetais (VAHL, 1991), e uma toxidez indireta, é causada por um desbalanceamento nutricional múltiplo, devido à presença de ferro em excesso na solução do solo, o que pode inibir a absorção, o transporte e/ou a utilização de outros nutrientes (P, K, Ca e Mg), bem como induzir a deficiência nutricional (SOUSA; CAMARGO; VAHL, 2000). A toxidez indireta é considerada a forma mais importante e predominante nas condições brasileiras (MAGALHÃES JR. et al., 2009).

O melhoramento visando à obtenção de genótipos tolerantes à toxidez de ferro é de fundamental importância para contornar o problema, em lavouras de arroz irrigado com histórico de ocorrência do problema.

A identificação e a seleção de genótipos tolerantes a toxidez por ferro trazem vantagens independentemente do grau de tecnologia utilizado pelo produtor. Desse modo, é importante a realização de estudos que visem à caracterização de cultivares de arroz quanto ao nível de toxidez por ferro em cultivo hidropônico utilizando diferentes doses de ferro para diferir os genótipos em três grupos: tolerantes, moderadamente tolerantes e sensíveis.

Neste sentido, os principais objetivos de um programa de melhoramento genético são desenvolver genótipos com maior capacidade produtiva, com resistência a fatores bióticos e abióticos e desta forma, incrementar a produção. Para isto, a rotina dos melhoristas de plantas consiste em ampliar a

variabilidade existente e quando necessário criar variabilidade, selecionar genótipos desejáveis e testá-los em diferentes ambientes, para um ajuste que permita a expressão máxima do seu potencial. (BERTAN, 2005). Assim sendo, o melhoramento de vegetal tem desempenhado um papel de suma importância no progresso do arroz, pois tem possibilitado aos agricultores o cultivo de constituições genéticas de alto potencial produtivo e com caracteres agronômicos de interesse na cadeia produtiva.

CAPITULO I

SELEÇÃO DE VARIÁVEIS UTILIZADAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DE CULTIVARES QUANTO AO ESTRESSE POR FERRO

INTRODUÇÃO

As lavouras de arroz irrigado caracterizam-se por possuir uma lâmina de água mantida sobre os solos afetando as trocas de gases entre o solo e a atmosfera, que ocorre principalmente por difusão. A difusão do oxigênio na água é extremamente mais lenta do que no ar (VAHL; SOUSA, 2004).

Com a diminuição do potencial redox, a qual acontece em solos alagados, a solubilidade do ferro tende a aumentar exponencialmente de modo que praticamente todo o ferro detectável na solução do solo encontra-se na forma reduzida de Fe^{2+} , aumentando a disponibilidade de ferro em níveis que podem ser tóxicos às plantas cultivadas neste ambiente (LINDSAY, 1979; BECANA et al., 1998).

Um dos estresses abióticos mais importantes a limitar a produção de arroz irrigado em nível mundial é a toxidez causada pelo excesso de ferro. (DOBERMANN; FAIRHURST, 2000; WARDA, 2001). Essa toxidez causa perdas que podem levar a prejuízos de 15 a 20% na produção, entretanto perdas totais na produção já foram descritas na literatura (WINSLOW et al., 1989; AUDEBERT; SAHRAWAT, 2000).

Visando sanar os efeitos da toxicidade causados pelo ferro em lavouras de arroz irrigado, tem sido realizada a seleção de genótipos que apresentem variabilidade para o caráter (MAGALHÃES JR. et al., 2007). Muitos estudos já demonstraram que variedades de arroz diferem amplamente quanto aos níveis de tolerância à toxidez por ferro (WU et al., 1998; MAGALHÃES JR. et al., 2005, 2007; CRESTANI et al., 2009; BRESOLIN, 2010; MARINI, 2012).

A avaliação do desempenho de plântulas em cultivo hidropônico frente a diferentes estresses abióticos permite maior controle experimental e apresenta algumas vantagens em relação ao método convencional, como: obtenção de resultados em curto espaço de tempo, redução de custos operacionais, facilidade de avaliação e com satisfatória eficiência (FURLANI et al., 2000). A solução nutritiva vem sendo empregada combinada a diferentes concentrações de ferro e tem permitido à discriminação de constituições genéticas tolerantes a toxidez pelo metal (CAMARGO; CAMARGO, 1985; FERREIRA; CRUZ; FAGERIA, 1997; CRESTANI et al., 2009).

Neste sentido, o trabalho objetivou selecionar caracteres morfológicos que possibilitem discriminar as cultivares de arroz irrigado, quanto ao estresse por ferro.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos similares, diferindo no tempo de exposição ao estresse por ferro, sendo que, no experimento 1, as plântulas foram submetidas as concentrações de ferro por sete dias; no experimento 2, as plântulas foram mantidas na condição de estresse por 14 dias.

O experimento 1, foi realizado em setembro de 2012 e o experimento 2, realizado em outubro de 2012. Por serem dois experimentos independentes, estatisticamente não foi possível fazer a comparação entre os dois.

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Cultivo Hidropônico e Duplo Haploides do Centro de Genômica e Fitomelhoramento, FAEM/UFPel, em tanque de cultivo hidropônico. Foram avaliadas seis cultivares comerciais de arroz irrigado previamente caracterizadas quanto a toxidez por ferro em condições de campo, como sensíveis (BR-IRGA 409, BR-IRGA 410, IRGA 417), medianamente sensível (BRS Atalanta) e tolerantes (EPAGRI 107, BRS Querência). Maiores informações a respeito das cultivares adotadas podem ser vistas na Tabela 1 (SOSBAI 2012).

Tabela 1. Informações das características das cultivares se arroz irrigado (SOSBAI, 2007; 2012)

Cultivares	Características
BR-IRGA 409	Foi a primeira cultivar do tipo agrônomico moderno de planta, lançada em parceria pela Embrapa e IRGA no ano de 1979. Possui ciclo médio e destaca-se pela excelente qualidade de grãos e alta produtividade. As principais limitações são as suscetibilidades à brusone e sensibilidade à toxidez por ferro. É uma cultivar que possui alta abrasividade nas folhas e na casca e possui arista de tamanho variável em alguns grãos da extremidade da panícula.
BR-IRGA 410	Cultivar também do tipo moderno de planta e com ciclo médio. Destaca-se pelo alto potencial de rendimento de grãos e boa adaptação a todas as regiões orizícolas do estado do Rio Grande do Sul. As principais limitações são as suscetibilidades à brusone e à toxidez por excesso de ferro no solo, ao alto índice de centro branco nos grãos e ao baixo rendimento de grãos inteiros, notadamente quando a colheita é realizada tardiamente.

IRGA 417	Foi a primeira cultivar do tipo agrônomo moderno derivada de cruzamento entre genitores das subespécies índica e japônica. Destaca-se pela precocidade, alta produtividade, ótima qualidade de grãos, alto vigor inicial de plântulas e boa adaptabilidade a todas as regiões orizícolas do RS. Apresenta reação de suscetibilidade à toxidez por ferro e à brusone na panícula.
BRS Atalanta	É uma cultivar de ciclo muito precoce, apresentando plantas com folhas lisas. Possui grãos longos e finos e de casca lisa-clara. Apresenta alto potencial produtivo, boa qualidade de grãos, moderadamente susceptível a toxidez de ferro indireta e moderadamente resistente à bicheira-da-raiz.
EPAGRI 107	Cultivar selecionada pelo Centro Nacional de Arroz e Feijão (Embrapa Arroz e Feijão), e recomendada para SC, pela EPAGRI. As plantas apresentam estatura inferior a 100cm, folhas eretas e panículas bem protegidas pela folha bandeira. O afilamento é moderado e o ciclo médio é de 124 dias. Notabiliza-se pela sua elevada resistência à toxidez indireta por ferro (alaranjamento), resistência às raças prevalentes de brusone, resistência ao acamamento e especialmente pela alta qualidade de grãos, em seus aspectos culinários e de rendimento de engenho. Por suas características de grão e rendimento de engenho, atende com vantagens ao mais exigente mercado de arroz branco ou parboilizado.
BRS Querência	Cultivar de ciclo precoce, apresenta plantas do tipo agrônomo “moderno-americano”, de folhas e grãos lisos, com colmos fortes e alta capacidade de perfilhamento. Destaca-se pela panícula longa e com grande número de espiguetas férteis e por possuir elevada resistência à toxidez indireta por ferro (alaranjamento). Seus grãos são longo-finos, com elevado rendimento industrial, translúcidos e de ótima qualidade culinária. Apresenta moderada resistência às doenças.

O delineamento experimental empregado nos dois experimentos foi o de blocos casualizados com três repetições. A unidade experimental foi constituída de um balde com 25 plântulas.

Para a instalação de cada experimento primeiramente, foi realizada a desinfestação das sementes com solução de hipoclorito de sódio à 10%, por um minuto. Após, as sementes foram colocadas em gerbox, sobre faixas de papel filtro umedecidos com água ultrapura e levadas à BOD (câmara de germinação) com temperatura de 25°C, com fotoperíodo de 16 horas e umidade relativa de 100% por 96 horas. Posteriormente foram selecionadas as plantas uniformes quanto ao vigor e uniformidade, com aproximadamente 10 mm de raiz acondicionadas em isopor adaptado a tampa de um recipiente (5L) contendo solução nutritiva proposta por Wolter et al., (2013).

Para ambos os experimentos as plantas foram cultivadas em tanque hidropônico à temperatura de 25°C e iluminação artificial simulando o fotoperíodo de 12h. As cultivares permaneceram nesta condição por 14 dias, na solução nutritiva, sendo que a solução foi trocada a cada 7 dias e o pH foi ajustado e corrigido diariamente para $4 \pm 0,3$, com adição de HCl ou NaOH 0,5 M.

No décimo quinto dia as plantas foram submetidas as concentrações descrita na Tabela 2.

As plantas permaneceram na condição de estresse por 7 dias, no experimento 1, e por 14 dias no experimento 2.

Tabela 2. Concentrações de ferro das concentrações empregadas no experimento.

Concentrações utilizadas	Concentrações equivalentes		
	sulfato ferroso $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (mg L ⁻¹)	Fe (mM)	Fe (mg L ⁻¹)
Testemunha	2,78	0,01	0,558
400	400	1,44	80,352
800	800	2,88	160,704
1200	1200	4,32	241,056

No dia seguinte as plantas foram colhidas selecionada cinco plantas uniforme por unidade experimental, onde foram realizadas as seguintes determinação: comprimento de raiz (CR), comprimento da parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento de coleóptilo (CC), inserção da primeira folha (IPF), inserção da segunda folha (ISF) e diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF). As variáveis foram determinadas com auxílio de régua graduada.

Os dados obtidos para ambos experimentos foram transformados em desempenho relativo (Dr) para melhor visualizar o efeito das concentrações na diferenciação das cultivares, segundo a equação 1.

$$Dr = \frac{\text{plântulas estressadas}}{\text{plântulas sem estresse}} \times 100$$

(Equação 1)

Os dados de desempenho relativo foram submetidos a análise de variância e ajuste de regressão polinomial, para melhor representar o desempenho individual de cada cultivar nas diferentes concentrações de ferro. O programa estatístico utilizado foi WinStat (MACHADO; CONCEIÇÃO, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para facilitar a leitura e compreensão dos resultados obtidos em cada experimento, os dados foram discutidos separadamente tendo em vista que não foi feita comparação estatística entre os experimentos.

EXPERIMENTO 1 – PLANTAS SUBMETIDAS AO ESTRESSE POR 7 DIAS

Os resultados apresentados pelo resumo da análise de variância (Tabela 3), mostraram que houve efeitos significativos a 5% de probabilidade de erro pelo teste F para a interação entre os fatores cultivar e concentração (C x D), para todas variáveis indicando que as cultivares avaliadas responderam diferentemente frente as concentrações estudadas.

Ainda de acordo com esta análise, foi possível constatar que os valores atribuídos ao coeficiente de variação (CV), que é medida relativa de dispersão, que estima o grau de concentração dos dados em torno da média (CARVALHO et al., 2004), para a maioria das variáveis, foi considerado baixo com valor < 10%, porém as variáveis (CPF, CC, DIPSF) apresentaram valores considerados médio (10 – 20%) conforme Pimentel Gomes (1985).

Tabela 3. Resumo da análise de variância para os caracteres comprimento de raízes (CR), comprimento da parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento do coleóptilo (CC), inserção da primeira folha (IPF) inserção da segunda folha (ISF), diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF), em cultivares de arroz, submetidas a quatro níveis de estresse por ferro, em solução nutritiva. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

FV	GL	Quadrados médios								
		CR	CPA	NR	CPF	CSF	CC	IPF	ISF	DIPSF
Cultivares (C)	5	2056,34**	545,72**	1776,20**	437,19*	1333,19**	1397,38**	898,07**	321,93**	834,45**
Dose (D)	3	1793,02**	71,65**	254,01**	508,26*	309,51**	366,17 ^{ns}	111,69 ^{ns}	95,13*	310,02 ^{ns}
C x D	15	449,69**	72,05**	471,84**	365,79**	212,78**	310,95*	182,17**	170,14**	411,69**
Bloco	2	42,51	62,32	71,33	126,98	5,70	141,34	49,59	5,35	150,17
Resíduo	46	11,96	13,25	44,60	146,69	8,13	155,89	48,14	31,89	123,31
Média	-	85,56	97,27	98,28	104,68	95,68	105,88	99,91	103,12	106,02
CV (%)	-	4,04	3,74	6,80	11,57	2,98	11,79	6,94	5,48	10,47
Desvio padrão		3,46	3,64	6,68	12,11	2,85	12,49	6,94	5,65	11,10

** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade de erro pelo teste F.

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

GL= graus de liberdade.

QM= quadrado médio.

Para a variável CR, foi observado que apenas a cultivar BRS Querência, tida como tolerante a toxidez do metal em questão, não foi afetada pelas concentrações, mantendo o mesmo desempenho frente ao estresse (Figura 1).

A cultivar EPAGRI 107 classificada da mesma forma, respondeu de maneira melhor ajustada por uma curva quadrática, obtendo uma leve redução no desempenho de CR, na concentração crítica de $312,5 \text{ mg L}^{-1}$ de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, seguido por um acréscimo em seus valores, e na máxima concentração esta cultivar apresentou 20,37 % de incremento em relação as plantas na concentração testemunha.

As cultivares BRS Atalanta, BR-IRGA 409, BR-IRGA 410 e IRGA 417 sofreram decréscimos lineares no CR, diminuindo os valores dessa variável em 32%, 49%, 44% e 32%, respectivamente, na concentração de 1200 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. (Figura 1, Tabela 4)

Esta variável pode ser sugerida como uma importante característica morfológica utilizada na diferenciação das cultivares sensíveis e tolerantes na fase inicial e sob cultivo hidropônico, pois nestas condições, foi possível discriminar as cultivares tolerantes, as quais apresentaram o maior desempenho relativo que as demais. Porém, não foi possível separar a cultivar classificada como medianamente sensível (BRS Atalanta), das cultivares consideradas sensíveis.

Os resultados encontrados sugerem que as cultivares sensíveis são as mais afetadas tendo seus comprimentos de raízes reduzidos, impedindo que estas explorem o solo, afetando todo seu metabolismo e possivelmente afetando seu desempenho produtivo. Enquanto que as plantas tolerantes quando submetidas ao estresse, desenvolvem suas raízes buscando explorar ambiente menos tóxico e/ou suprir as necessidades de minerais que o excesso de ferro inibe a absorção. O sistema radicular das plantas, quando bem desenvolvido é considerado fator importante na produção (FAGERIA, 1998). O mesmo autor ainda relata que os principais fatores que afetam a eficiência nutricional das plantas são: variabilidade genética, crescimento das raízes, entre outros aspectos.

Os resultados obtidos neste estudo corroboram com outro trabalho realizado com arroz em sistema hidropônico. Que afirma que o aumento das concentrações de ferro nas soluções nutritivas causam efeitos prejudiciais em todas as cultivares estudadas, e desta forma o comprimento de raízes foi uma das variáveis que apresentaram redução (CAMARGO, 1984). Outro autor, relata que o efeito do tempo de exposição das plantas ao ferro, afeta negativamente o desenvolvimento das raízes (BRESOLIN, 2010). Estes informações reforçam a ideia de que o ferro reduz o comprimento das raízes de plantas sensíveis impedindo que estas explorem o solo.

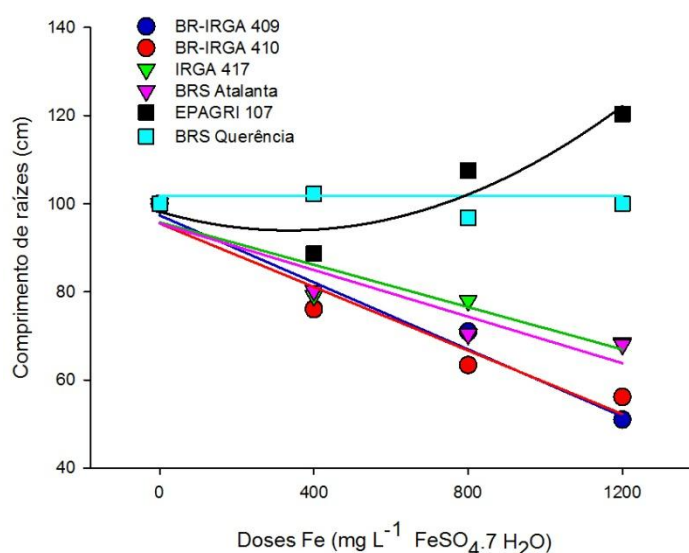


Figura 1. Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz, para o caráter comprimento de raízes, quando submetidas ao estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPEL, 2013.

Tabela 4. Equações de regressão ajustadas com base no desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento de raízes, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPEL, 2013.

Cultivar	CR	
	Equação	R ²
BR-IRGA 409	Y= 97,37-0,038X	0,9512
BR-IRGA 410	Y= 95,54-0,036X	0,936
IRGA 417	Y= 95,78-0,024X	0,8663
BRS Atalanta	Y= 95,53-0,026X	0,8804
EPAGRI 107	Y= 98,2-0,025X+0,00004X ²	0,8775
BRS Querência	Y= 99,76	-

A cultivar EPAGRI 107, foi teve o CPA afetado pelas concentrações em estudo, mantendo o mesmo desempenho frente ao estresse.

A cultivar BRS Atalanta, por sua vez foi altamente afetada, pois sofreu decréscimo linear no desenvolvimento da CPA, reduzindo esta variável em 13% na concentração de $1200 \text{ mg L}^{-1} \text{ FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

A cultivar BR-IRGA 409, respondeu de acordo com uma equação quadrática. Nas concentrações iniciais há uma tendência de aumentar o CPA, contudo na última concentração o caráter tendeu a decrescer (Figura 2).

As cultivares BR-IRGA 410, IRGA 417 e BRS Querência também tiveram seus desempenhos melhor representados pela equação quadrática (Tabela 5), porém nas primeiras concentrações houve uma redução do caráter, permitindo, através da avaliação da concentração crítica ($x_v = -b/2c$), notar que as concentrações que mais afetaram o caráter, para as cultivares respectivamente foram, 750; 1040; $666,66 \text{ mg L}^{-1} \text{ FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Porém, a partir dessas concentrações, as cultivares tenderam a recuperar o desenvolvimento do CPA.

A variável CPA não foi eficiente para classificar as cultivares quanto a toxidez por ferro em fase vegetativa inicial, sob condição de cultivo hidropônico, pois a cultivar BRS Querência (tolerante), teve o desempenho semelhante as cultivares sensíveis (BR-IRGA 410 e IRGA 417). Esta variável também se mostrou ineficiente na caracterização de mutantes de arroz com base no desempenho de cultivares classificadas quanto a toxidez por ferro, pois o efeito do ferro nos diferentes genótipos teve a mesma magnitude, não possibilitando a discriminação dos mesmos (MARINI, 2012).

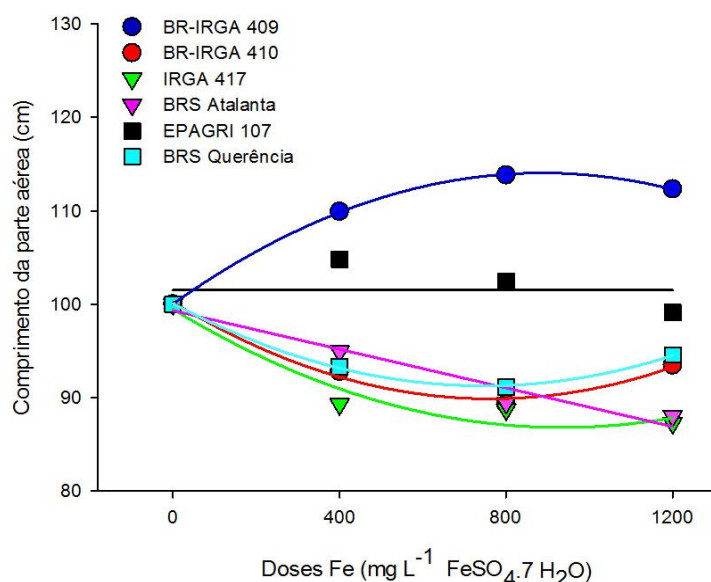


Figura 2. Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz, para o caráter comprimento da parte aérea, quando submetidas ao estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Tabela 5. Equações de regressão ajustadas com base no desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento da parte aérea, quando submetidos a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Cultivar	CPA	
	Equação	R ²
BR-IRGA 409	$Y=100,4+0,03X-0,00002X^2$	0,9998
BR-IRGA 410	$Y=100,2-0,03X+0,00002X^2$	0,9877
IRGA 417	$Y=99,44-0,03X+0,000014X^2$	0,9406
BRS Atalanta	$Y=99,31-0,010X$	0,9513
EPAGRI 107	$Y=101,5$	-
BRS Querência	$Y=100,1-0,02X+0,000015X^2$	0,9982

Ao observar a Figura 3, onde estão representados os desempenhos das cultivares de arroz frente as concentrações de ferro, para a variável número de raízes (NR), nota-se que as cultivares BRS Atalanta (mediamente sensível), BR-IRGA 410 (sensível) e EPAGRI 107 (tolerante), foram representadas por uma regressão polinomial quadrática (Tabela 6), nas quais se observa redução até a concentração crítica de 800; 500; 666,66 mg L⁻¹ FeSO₄.7H₂O, respectivamente, contudo, após as concentrações críticas, todas as cultivares apresentaram incremento no número de raízes.

A cultivar BRS Querência, também foi melhor representada por uma equação quadrática, mas ao contrário das cultivares anteriores, nas

concentrações iniciais houve acréscimo, porém a partir da concentração de 800 mg L⁻¹ FeSO₄.7H₂O, houve uma tendência de reduzir o número de raízes.

As cultivares BR-IRGA 409 e IRGA 417 ambas consideradas sensíveis, se ajustaram a uma regressão polinomial cúbica, onde observa-se uma tendência de aumento no caráter até a concentração de 800 mg L⁻¹ FeSO₄.7H₂O, seguido por um decréscimo na última concentração.

Esta característica também não se demonstrou efetiva na diferenciação de cultivares sensíveis e tolerantes, pois a cultivar EPAGRI 107, BRS Atalanta e BR-IRGA 410, tiveram os mesmos desempenhos, contudo estas são classificadas como tolerante, mediantemente sensível e sensível, respectivamente.

Os resultados encontrados discordam do estudo realizado com cultivares e mutantes de arroz em sistema hidropônico, onde nesse estudo foi possível discriminar genótipos em sensíveis e tolerantes ao estresse por ferro utilizando o caráter NR, a diferença entre os dois estudos pode ser devido aos protocolos utilizados para discriminação serem diferentes, e as cultivares também (MARINI, 2012).

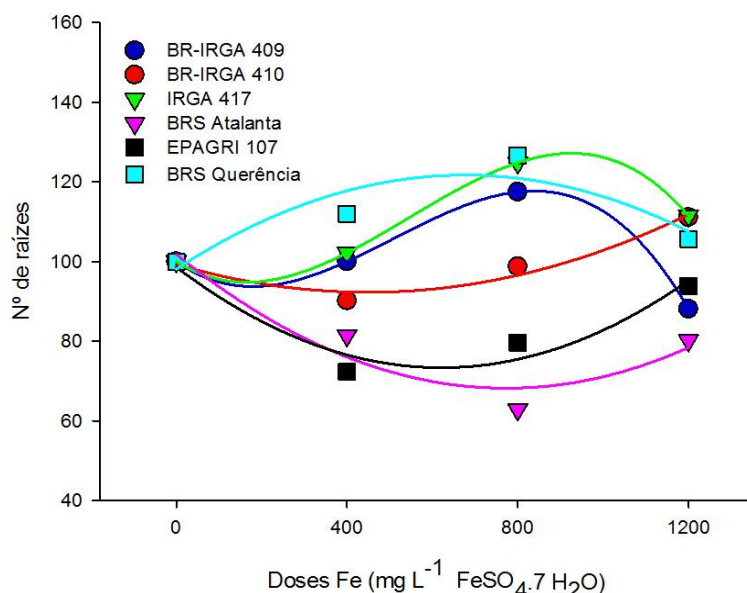


Figura 3. Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter número de raízes, quando submetidos a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Tabela 6. Equações de regressão ajustadas com base no desempenho das cultivares de arroz para o caráter número de raízes, quando submetidos a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPEL, 2013.

Cultivar	NR	
	Equação	R ²
BR-IRGA 409	$Y=100-0,07X+0,0002X^2-0,00000016X^3$	1
BR-IRGA 410	$Y=99,27-0,03X+0,00003X^2$	0,9519
IRGA 417	$Y=100-0,07X+0,0002X^2-0,0000001X^3$	1
BRS Atalanta	$Y=101,79-0,08X+0,00005X^2$	0,9068
EPAGRI 107	$Y=98,59-0,08X+0,00006X^2$	0,9179
BRS Querência	$Y=98,08+0,07X-0,00005X^2$	0,8144

Ao analisar variável CPF (Figura 4), nota - se que as cultivares BR-IRGA 410, IRGA 417, EPAGRI 107 e BRS Querência não apresentaram alterações com o aumento das concentrações de ferro. Vale ressaltar que as duas primeiras cultivares são classificadas como sensíveis e as duas últimas classificadas com tolerantes.

As cultivares BR-IRGA 409 e BRS Atalanta, adequaram-se a uma equação cúbica como pode ser observado na Tabela 7, sendo que da testemunha (sem estresse), para a concentração de 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, houve um acréscimo do caráter em 25,1 e 24,6% em relação as plantas cultivadas em condição normal (testemunha). Porém nas concentrações seguintes observa-se a tendência de redução para a variável CPF.

Através das respostas apresentadas pelas cultivares pode-se verificar que esta variável não possibilitou a separação das cultivares entre sensíveis e tolerantes ao estresse causado pelo excesso de ferro na solução nutritiva. Esse fato talvez, seja porque as cultivares foram cultivadas em solução nutritiva sem estresse por 14 dias, e quando submetidas ao ferro, o comprimento da primeira folha não foi afetado a ponto de discriminar as cultivares.

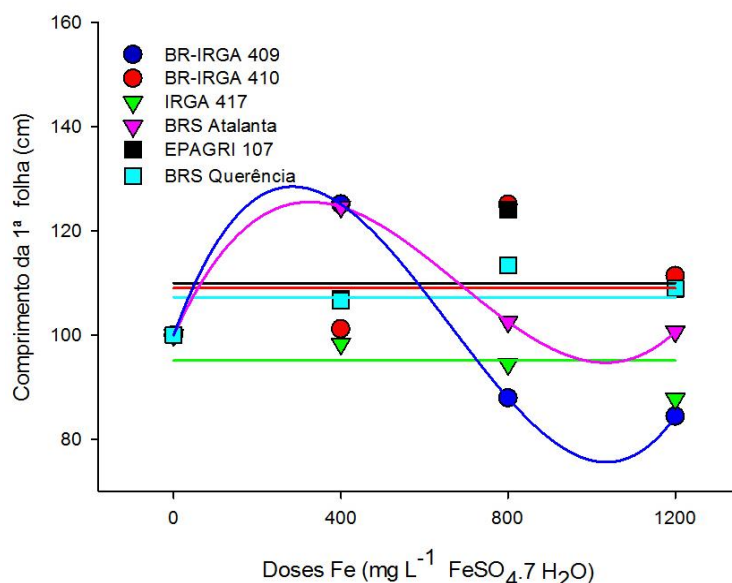


Figura 4. Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento da primeira folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Tabela 7. Equações de regressão ajustadas com base no desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento da primeira folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Cultivar	CPF Equação	R ²
BR-IRGA 409	$Y=100+0,22X-0,0005X^2+0,0000002X^3$	1
BR-IRGA 410	$Y=109,43$	-
IRGA 417	$Y=95,12$	-
BRS Atalanta	$Y=100+0,17X-0,0003X^2+0,0000001X^3$	1
EPAGRI 107	$Y=109,70$	-
BRS Querência	$Y=107,24$	-

Analisando-se a Figura 5, para o caráter morfológico CSF, houve um desempenho diferenciado para as cultivares sensíveis e tolerantes. As cultivares BR-IRGA 409, BR-IRGA 410, IRGA 417 (sensíveis) e BRS Atalanta (medianamente sensível), tiveram decréscimos de acordo com o aumento das concentrações de Fe, chegando a concentração final com valores relativos 78, 77, 74 e 83%, respectivamente, em comparação com seus desempenhos na concentração testemunha, indicando que o aumento das quantidades de ferro, as folhas foram afetadas, tendo seus CSFs reduzidos.

A cultivar BRS Querência teve o caráter aumentado linearmente chegando à concentração final com um incremento de 13% em relação à concentração testemunha.

A cultivar EPAGRI 107, teve seu desempenho melhor ajustado ao modelo de regressão quadrática que pode se visto na Tabela 8. Na última concentração esta cultivar apresentou uma pequena redução do caráter, contudo o desempenho relativo foi 14% superior às plantas cultivadas na condição controle.

As cultivares BRS Querência e EPAGRI 107 são classificadas como tolerantes a toxidez por ferro em ensaios a campo, e as duas em condição de cultivo hidropônico tiveram aumento do caráter CSF nas condições de estresse. Fato que indica uma possível estratégia para manter a produção mesmo em locais com altas concentrações de ferro. Estudo recente relata que a fotossíntese depende da área foliar, e que o rendimento da cultura será maior quanto mais rápido a planta atingir o índice de área foliar máximo e quanto mais tempo a área foliar permanecer ativa (MANFRON et al., 2003).

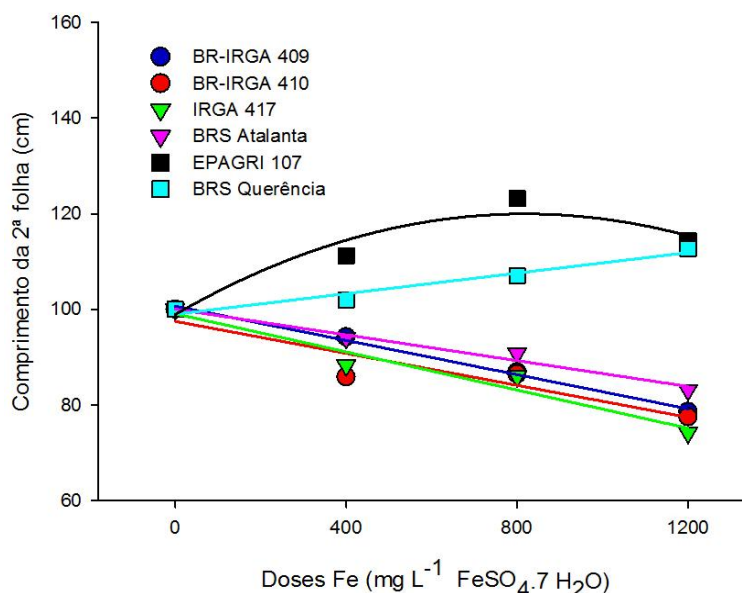


Figura 5. Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento da segunda folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Tabela 8. Equações de regressão ajustadas com base no desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento da segunda folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPEl, 2013.

Cultivar	CSF	
	Equação	R ²
BR-IRGA 409	$Y=100,7-0,018X$	0,9938
BR-IRGA 410	$Y=97,49-0,017X$	0,8593
IRGA 417	$Y=99,08-0,019X$	0,9467
BRS Atalanta	$Y=100,05-0,013X$	0,9788
EPAGRI 107	$Y=98,92+0,051X-0,00003X^2$	0,9152
BRS Querência	$Y=99,00+0,011X$	0,9649

Na Figura 6 podem ser vistos as representações dos desempenhos das cultivares para a variável CC, frente ao aumento de ferro na solução nutritiva. Observa-se que tanto cultivares sensíveis (BR-IRGA 410, BR-IRGA 409) como a tolerante (EPAGRI 107) e a moderadamente sensível (BRS Atalanta) não apresentam alterações no caráter CC com o aumento crescente nas quantidades de ferro disponibilizadas para as plantas.

A cultivar BRS Querência classificada como tolerante teve seu desempenho melhor representado por uma equação linear crescente (Tabela 9), pois o CC apresentou aumento de acordo com o aumento de estresse proporcionado.

A cultivar IRGA 417, ajustou-se a uma equação quadrática, onde nota-se que as plantas cultivadas nas concentrações de 400 e 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, apresentaram CC maior que as cultivada na condição normal (testemunha), porém na concentração 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, as plantas apresentaram redução de 22% no caráter CC em relação as plantas cultivadas na condição sem estresse.

Este caráter morfológico não foi eficiente para separar as cultivares de arroz em sensíveis das tolerantes. Este resultado não coincide com os resultados encontrados na caracterização de mutantes de arroz com base em cultivares caracterizadas quanto a sensibilidade ao ferro (MARINI, 2012). A divergência dos resultados se deve possivelmente ao fato dos protocolos utilizados serem diferentes e os genótipos utilizados nos experimentos serem de constituição distinta.

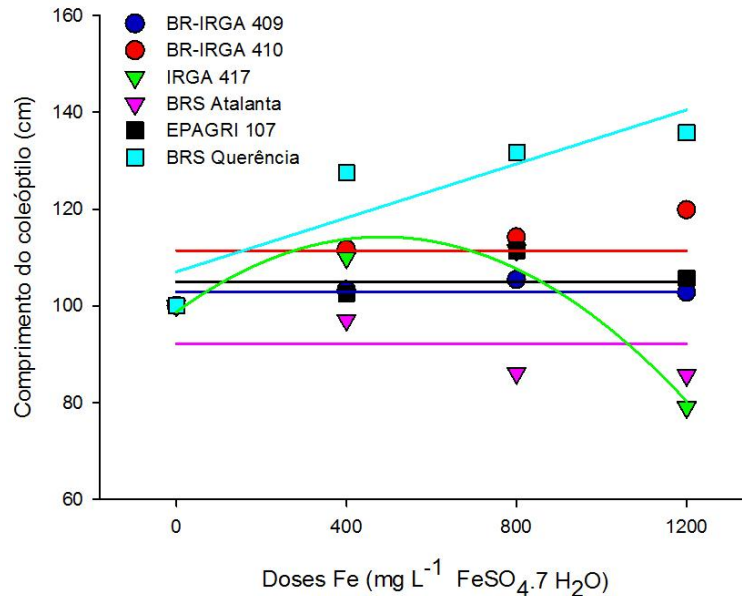


Figura 6. Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento do coleóptilo, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Tabela 9. Equações de regressão ajustadas com base no desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento do coleóptilo, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Cultivar	CC	
	Equação	R ²
BR-IRGA 409	Y=102,86	-
BR-IRGA 410	Y=111,43	-
IRGA 417	Y=98,71+0,06X-0,00006X ²	0,9508
BRS Atalanta	Y=92,15	-
EPAGRI 107	Y=104,93	-
BRS Querência	Y=107,03+0,03X	0,7901

Para o caráter morfológico IPF (Figura 7), observa-se que EPAGRI 107 e BRS Atalanta não foram afetadas pelo aumento nas concentrações de ferro.

As cultivares BR-IRGA 410 e IRGA 417, classificadas como sensíveis, ambas se ajustaram a equações lineares como pode ser observado na Tabela 10, contudo elas tiveram desempenho contrário. A BR-IRGA 410, teve seu desempenho melhor representado por uma equação linear crescente, ou seja, apresentou aumento na IPF com o aumento do estresse, as plantas cultivadas na máxima concentração apresentaram 22,9% de incremento do caráter em

relação as plantas da mesma cultivar que se desenvolveram na condição controle. A IRGA 417, por sua vez apresentou desempenho linear decrescente, nota-se que com o aumento da concentração de ferro na solução de cultivo as plantas responderam com a redução do caráter.

A cultivar IRGA 409, teve seu desempenho representado por uma equação polinomial de segundo grau, onde observa-se um leve aumento das plantas (testemunhas), para a segunda concentração, e nas duas últimas concentrações houve tendência de redução do caráter.

A cultivar BRS Querência, apresentou ajuste de regressão cúbica, onde nota-se que entre as duas primeiras concentrações houve pouca variação no caráter, mas a concentração que mais afetou reduzindo o desempenho foi a concentração de 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, porém as plantas cultivadas na concentração de 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, apresentaram acréscimo no caráter e quando comparadas com as plantas cultivadas sem estresse.

Esta característica morfológica não se mostrou eficiente na separação das cultivares quanto à sensibilidade ou tolerância ao ferro.

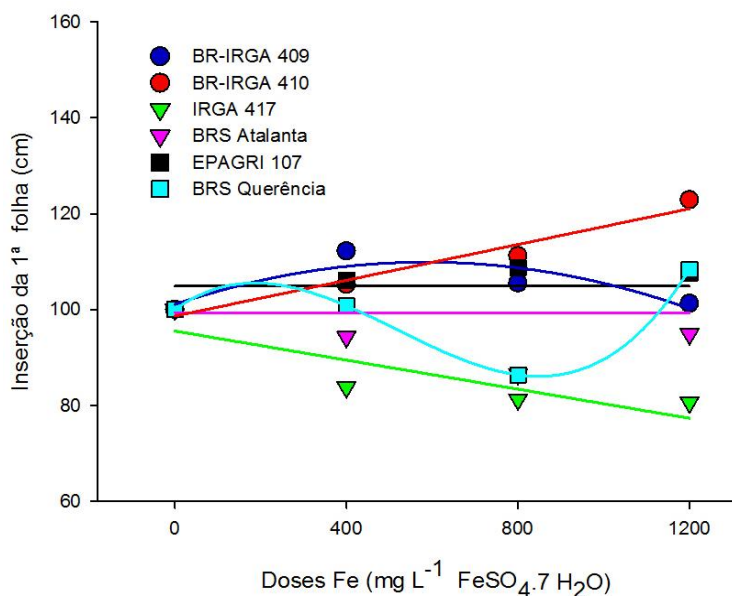


Figura 7. Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter inserção da primeira folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Tabela 10. Equações de regressão ajustadas com base no desempenho das cultivares de arroz para o caráter inserção da primeira folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPEl, 2013.

Cultivar	IPF	
	Equação	R ²
BR-IRGA 409	$Y=101,07+0,03X-0,00002X^2$	0,7461
BR-IRGA 410	$Y=98,64+0,018X$	0,9601
IRGA 417	$Y=95,52-0,015X$	0,7412
BRS Atalanta	$Y=93,91$	-
EPAGRI 107	$Y=105,61$	-
BRS Querência	$Y=100+0,06X-0,0002X^2+0,0000001X^3$	1

Na Figura 8, estão representados graficamente os desempenhos das cultivares de arroz, para o caráter ISF, onde observa-se que EPAGRI 107, BR-IRGA 409 e BRS Atalanta não alteraram a ISF em função do aumento das concentrações de ferro na solução nutritiva.

As cultivares BRS Querência e IRGA 417, ajustaram-se a regressão polinomial de grau 3 (Tabela 11), porém seus desempenhos foram totalmente contrários, cabe salientar que a primeira cultivar é considerada tolerante ao estresse por ferro e a segunda como sensível. A cultivar BRS Querência mostrou aumento no caráter da concentração testemunha, para da concentração de 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, seguido de uma redução na concentração de 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, porém na concentração de 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, houve um acréscimo no caráter em 23%, quando comparado com as plantas que se desenvolveram na concentração testemunha. A cultivar IRGA 417, apresentou redução na concentração de 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, seguido de um aumento na concentração de 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, e na concentração de 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, mostrou ter seu caráter afetado com redução de 15%, quando comparada com as plantas mantidas em solução nutritiva sem estresse.

A cultivar IRGA 410, foi a única cultivar que apresentou incremento linear, onde o aumento das concentrações de ferro favoreceu o aumento da ISF.

O caráter morfológico ISF, não possibilitou a discriminação entre as cultivares tolerantes das demais. Talvez esta característica não esteja relacionada ao estresse causado pelo excesso de ferro.

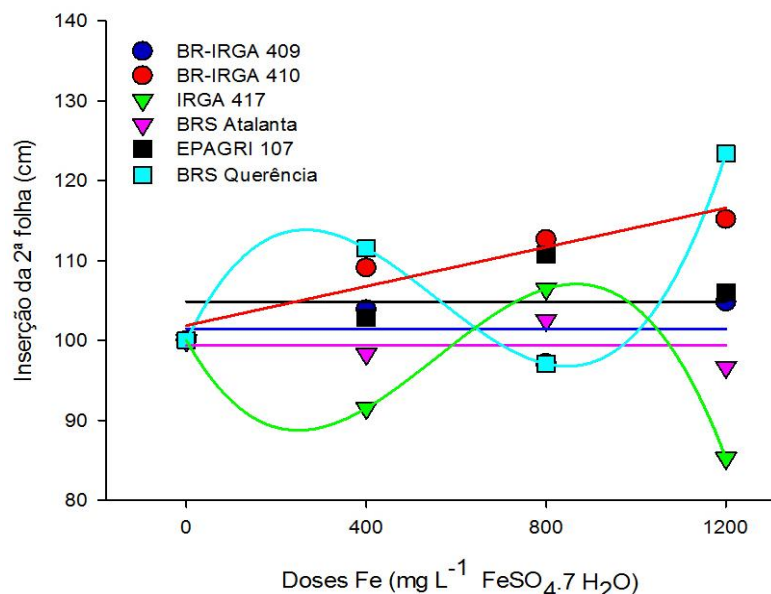


Figura 8. Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter inserção da segunda folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Tabela 11. Equações de regressão ajustadas com base no desempenho das cultivares de arroz para o caráter inserção da segunda folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Cultivar	ISF	
	Equação	R ²
BR-IRGA 409	Y=101,45	-
BR-IRGA 410	Y=101,86+0,012X	0,9103
IRGA 417	Y=100-0,1X+0,0026X ² -0,00000015X ³	1
BRS Atalanta	Y=99,37	-
EPAGRI 107	Y=104,87	-
BRS Querência	Y=100+011X-0,0003X ² +0,0000001X ³	1

Analisando o caráter DIPSF (Figura 9), as cultivares IRGA 417 e EPAGRI 107, ajustaram seus desempenhos a uma regressão cúbica como pode ser visto na Tabela 12. Observa-se que as cultivares praticamente não alteraram o desenvolvimento da primeira para a segunda concentração, já as plantas cultivadas na concentração de 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, apresentaram aumento de 19 e 23% respectivamente. Na máxima concentração as duas cultivares tenderam a reduzir, porém, a cultivar IRGA 417 apresentou 11% de redução no caráter quando comparadas com as plantas tidas como testemunhas para esta cultivar, e a cultivar EPAGRI 107

quando comparada com a plantas desta cultivar em condições controle, apresentou 3,3% de aumento do caráter.

A cultivar BRS Querência, também se ajustou a regressão polinomial de grau 3, porém o desempenho observado no gráfico foi oposto ao das cultivares acima. Quando comparamos as plantas cultivadas nas diferentes concentrações nota-se que as plantas submetidas as concentração de 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, tiveram maior DIPSF, em comparação com as plantas cultivadas no tratamento controle. Na concentração de 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, as plantas apresentaram redução em comparação com a concentração de 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, mas quando comparadas com as plantas que se desenvolveu na condição controle, estas se mostraram superior. Na concentração de 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, houve novamente a tendência de aumento (47%) em relação as plantas sem o estresse.

As cultivares BR-IRGA 409, BR-IRGA 410 e BRS Atalanta não alteraram seu desempenho em respostas ao aumento do estresse, indicando que talvez este caráter não seja o mais adequado para caracterização.

Com base nos resultados apresentados, nota-se que a característica DIPSF, não possibilitou a discriminação das cultivares sensíveis e tolerantes.

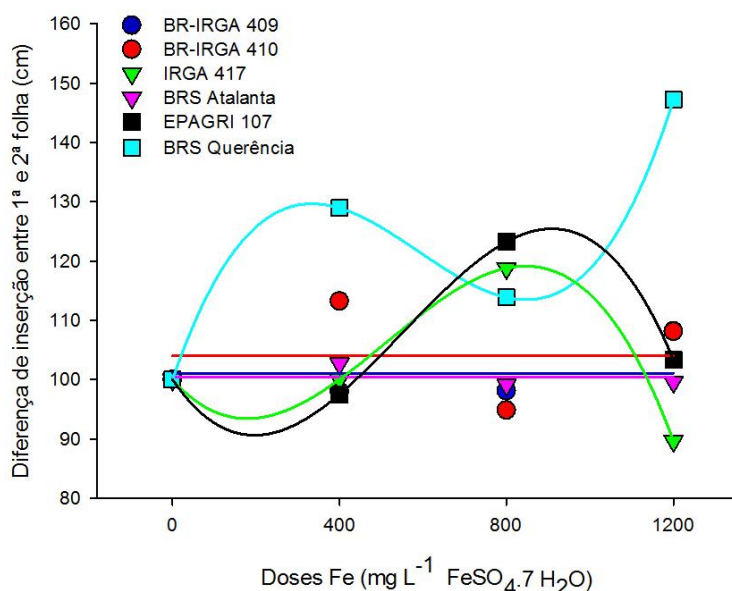


Figura 9. Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter diferença de inserção entre a primeira e segunda folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Tabela 12. Equações de regressão ajustadas com base no desempenho das cultivares de arroz para o caráter diferença de inserção entre a primeira e segunda folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPEL, 2013.

Cultivar	DIPSF	R2
	Equação	
BR-IRGA 409	$Y=101,058$	-
BR-IRGA 410	$Y=104,02$	-
IRGA 417	$Y=100+0,12X-0,0003X^2+0,0000002X^3$	1
BRS Atalanta	$Y=100,35$	-
EPAGRI 107	$Y=100-0,1X+0,0003X^2-0,0000002X^3$	1
BRS Querência	$Y=100+0,2X-0,0004X^2+0,0000002X^3$	1

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar o experimento1, em que as plantas permaneceram na condição de estresse por 7 dias.

Nesta condição foi possível nota-se que dentre todos os caracteres estudados apenas o comprimento de raízes e comprimento da segunda folha, foram eficientes para discriminar as cultivares.

De forma geral as cultivares sensíveis foram afetadas pelo aumento das concentrações de ferro, pois tiveram seus comprimentos de raízes e os comprimentos das segundas reduzidos.

EXPERIMENTO 2 – PLANTAS SUBMETIDAS AO ESTRESSE POR 14 DIAS

Os resultados apresentados pelo resumo da análise de variância (Tabela 13), mostraram que com exceção da variável CC, para todas as outras variáveis analisadas houve efeitos significativos à 5% de probabilidade de erro pelo teste F para a interação entre os fatores cultivar e concentração (C x D), indicando que as cultivares avaliadas responderam diferentemente frente as concentrações estudadas.

Ainda de acordo com a Tabela 13, foi possível observar que os valores atribuídos ao coeficiente de variação (CV), foram considerados baixos com valor $< 10\%$, para todas as variáveis.

Tabela 13. Resumo da análise de variância para os caracteres comprimento de raízes (CR), comprimento da parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento do coleóptilo (CC), inserção da primeira folha (IPF) inserção da segunda folha (ISF), diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF), em seis cultivares de arroz, submetidas a quatro níveis de estresse por ferro, em solução nutritiva. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

FV	GL	Quadrados médios								
		CR	CPA	NR	CPF	CSF	CC	IPF	ISF	DIPSF
Cultivar	5	5605,93**	279,78**	276,55**	944,12**	2642,46**	316,39**	656,76**	365,76**	2957,34**
Dose	3	3166,50**	188,00**	353,74**	739,90**	377,52**	720,85**	255,11**	130,77**	722,51**
G x D	15	1294,68**	93,68**	145,62**	239,99**	405,39**	108,81 ^{ns}	156,98**	151,77**	856,44**
Bloco	2	0,83	3,74	55,67	14,47	6,02	133,62	88,82	99,37	103,18
Resíduo	46	11,74	2,58	44,82	73,90	5,09	71,69	40,87	24,48	81,02
Média	-	80,82	96,28	95,23	105,06	94,75	106,03	102,53	100,34	101,33
CV	-	4,24	1,67	7,03	8,18	2,38	7,99	6,24	4,93	8,88
Desvio padrão	-	3,43	1,61	6,69	8,60	2,26	8,47	6,39	4,95	9,00

** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade de erro pelo teste F.

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

GL= graus de liberdade.

QM=quadrado médio.

Na Figura 10, estão apresentados os desempenhos das cultivares, para o caráter CR, onde pode-se observar que tanto as cultivares tidas como sensíveis (BR-IRGA 409, BR-IRGA 410 e IRGA 417) quanto a cultivar moderadamente sensível (BRS Atalanta), quando cultivadas em hidroponia com diferentes concentrações de ferro para simular o estresse, ajustaram seu desempenho à equações lineares (Tabela 14).

As cultivares foram afetadas com o aumento do metal na solução de cultivo, pois na máxima concentração de ferro em estudo nota-se que houve a redução no desenvolvimento radicular. Dentre elas, a mais afetada foi a cultivar BR-IRGA 410, pois quando comparada a sua respectiva testemunha, ela apresentou redução no comprimento de suas raízes de 59%. As cultivares BR-IRGA 409, BRS Atalanta e IRGA 417 também tiveram seu desempenho afetado (53, 51 e 50%, respectivamente) quando comparadas com o desempenho de suas respectivas testemunhas.

A cultivar BRS Querência, classificada como tolerante quando cultivada em sistema hidropônico com diferentes concentrações de ferro, não mostrou ter seu desempenho afetado mantendo o desenvolvimento radicular tanto na concentração testemunha como na máxima concentração de 1200 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

A cultivar EPAGRI 107, também classificada como tolerante, em regime hidropônico ajustou-se a uma regressão polinomial de grau 2. As plantas cultivadas na concentração de 400 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, quando comparadas com as plantas cultivadas na concentração testemunha apresentaram uma pequena redução de 8% no CR, mas nas concentrações seguintes notou-se aumento no CR, sendo que na concentração de maior concentração foi constatado aumento de 58% em relação a testemunha.

A variável CR mostrou-se eficiente para discriminar as plantas em cultivo hidropônico. As cultivares tolerantes diferiram das demais, por apresentarem desempenho diferenciado, no caso da cultivar EPAGRI 107 aumento no CR, no caso da BRS Querência não mostrou afetada pelo aumento da concentração de ferro. As cultivares sensíveis e mediamente sensíveis tiveram o CR

reduzido e as tolerantes tiveram o CR aumentado (EPAGRI 107), ou não afetado, que foi o caso da cultivar BRS Querência.

O comprimento das raízes tem sido sugerido como uma das importantes características para discriminar genótipos de arroz quanto à tolerância à toxicidade por ferro (FERREIRA; CRUZ; FAGERIA, 1997).

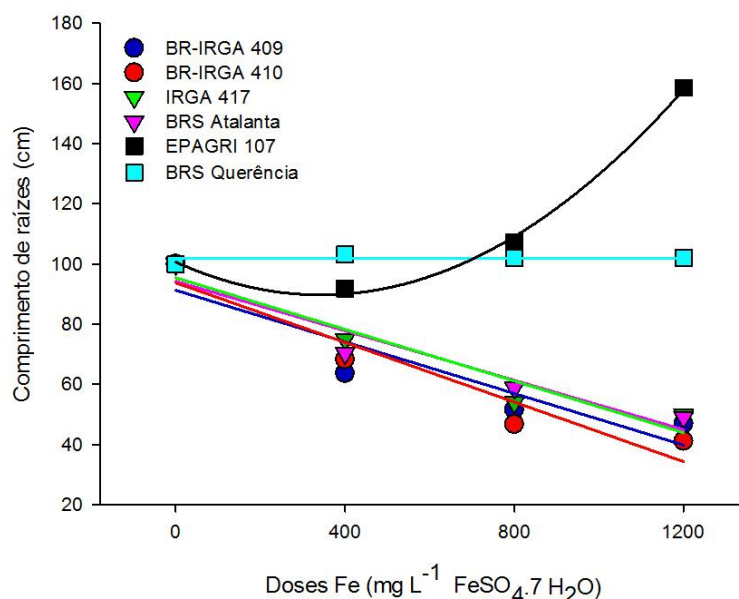


Figura 10. Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento de raízes, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Tabela 14. Equações de regressão ajustadas ao desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento de raízes, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Genótipo	CR	R ²
	Equação	
BR-IRGA 409	Y=91,23-0,0428X	0,8469
BR-IRGA 410	Y=93,74-0,049X	0,9192
IRGA 417	Y=95,4-0,043X	0,9256
BRS Atalanta	Y=94,22-0,041X	0,9237
EPAGRI 107	Y=100,62-0,064X+0,00009X ²	0,9971
BRS Querência	Y=101,78	-

Na Figura 11, estão representadas as performances das cultivares de arroz em cultivo hidropônico para variável CPA, onde a cultivar BR-IRGA 409, não alterou seu desenvolvimento em função dos níveis de ferro.

As cultivares BR-IRGA 410 e IRGA 417, responderam de acordo com equações lineares decrescentes (Tabela 15), sendo que a cultivar IRGA 417 manteve com maior desempenho de CPA que a BR-IRGA 410 nas duas primeiras concentrações, e nas duas últimas concentrações foi a cultivar BR-IRGA 410 que apresentou maior CPA. As duas cultivares tiveram o CPA afetado, pois na máxima concentração as cultivares BR-IRGA 410 e IRGA 417, reduziram 16 e 18% consequentemente, quando comparadas às plantas submetidas ao tratamento testemunha.

A cultivar EPAGRI 107, ajustou-se a uma regressão quadrática, onde se observa que as plantas que se desenvolveram nas concentrações de 400 e 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, obtiveram maiores CPA, que as plantas que se desenvolveram na condição sem estresse. Mas na máxima concentração houve uma redução no caráter, apresentando menor CPA que as plantas sem estresse.

A cultivar BRS Atalanta, também teve seu desempenho representado por uma equação quadrática, contudo sua resposta foi contrária a cultivar EPAGRI 107. As plantas submetidas as concentrações de 400 e 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, apresentaram menores CPA, que as plantas cultivadas na concentração testemunha. Na última concentração nota-se uma tendência de aumento no caráter, mas sem atingir o desempenho das plantas sem estresse.

A cultivar BRS Querência, ajustou-se a uma regressão cúbica, onde percebe-se um aumento no caráter nas plantas cultivadas na concentração de 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, seguido por uma redução do caráter em 6% nas plantas submetidas a concentração de 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. Na última concentração as plantas tiveram maior CPA que as cultivadas sem estresse.

Com base nos resultados apresentados para CPA, e nas condições experimentais, não foi possível utilizar esta característica como um parâmetro para discriminar as cultivares.

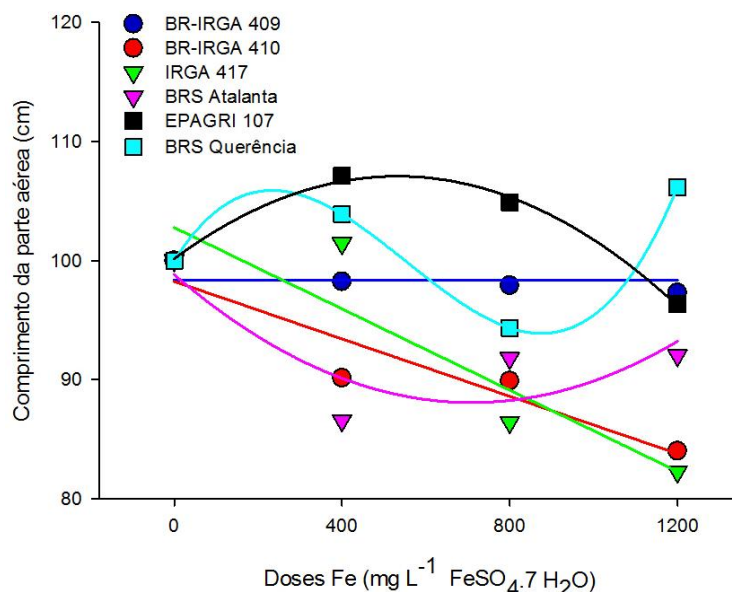


Figura 11. Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento da parte aérea, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Tabela 15. Equações de regressão ajustadas ao desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento da parte aérea, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Cultivar	CPA	R ²
	Equação	
BR-IRGA 409	Y= 98,37	-
BR-IRGA 410	Y=98,26-0,012X	0,8824
IRGA 417	Y= 102,76-0,02X	0,8374
BRS Atalanta	Y=98,8-0,03X+0,00002X ²	0,696
EPAGRI 107	Y=100,15+0,026X-0,00002X ²	0,9937
BRS Querência	Y=100+0,05X-0,00015X ² + 0,00000009X ³	1

Para a variável NR representada graficamente na Figura 12, observa-se que as cultivares classificadas como tolerantes (EPAGRI 107 e BRS Querência) e a cultivar sensível BR-IRGA 409, não apresentaram alterações no caráter NR, como o aumento das concentrações de ferro na solução de cultivo.

As cultivares BR-IRGA 410 e IRGA 417, tiveram seus desempenhos representados por equações lineares (Tabela 16), essas cultivares tiveram o NR reduzido a cada concentração de ferro.

A cultivar BRS Atalanta foi a única a responder de acordo com uma regressão quadrática, apresentando tendência de redução do NR na última concentração.

Analisando a variável NR, nota-se que esta não é eficiente para separação das cultivares em tolerantes e sensíveis, pois cultivares tolerantes responderam da mesma forma que a cultivar sensível (BR-IRGA 409). A cultivar mederadamente sensível foi a única que apresentou respostas diferentes das demais.

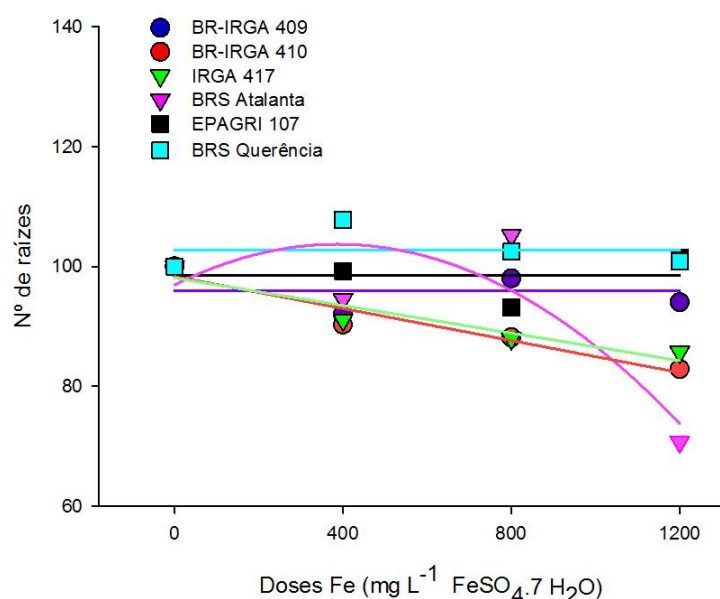


Figura 12. Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter número de raízes, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Tabela 16. Equações de regressão ajustadas ao desempenho das cultivares de arroz para o caráter número de raízes, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Cultivar	NR	
	Equação	R ²
BR-IRGA 409	Y= 96,00	-
BR-IRGA 410	Y= 98,33-0,01X	0,9283
IRGA 417	Y=98,08-0,01X	0,8954
BRS Atalanta	Y=96,92+0,03X-0,00004X ²	0,7284
EPAGRI 107	Y=98,46	-
BRS Querência	Y=102,77	-

Ao analisar a variável CPF, que está representada graficamente na Figura 13, é possível afirmar que as cultivares tolerantes (EPAGRI 107, BRS Querência), não foram afetadas pelas concentrações de ferro em estudo, pois as plantas submetidas ao estresse tiveram o mesmo desempenho das plantas cultivadas na condição sem estresse.

As cultivares BR-IRGA 409, BR-IRGA 410 (sensíveis) e a BRS Atalanta (moderadamente sensível), ajustaram-se a equações quadráticas (Tabela 17), com a mesma tendência de redução do CPF nas plantas que se desenvolveram na última concentração, apenas a cultivar BRS Atalanta apresentou tendência de redução desde a concentração de 800 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Dentre as três cultivares a cultivar BR-IRGA 409, manteve-se superior entre as demais em todas as concentrações, a cultivar BRS Atalanta, moderadamente sensível, manteve-se inferior e apresentou tendência de decréscimo antes mesmo que as cultivares sensíveis.

A cultivar IRGA 417, foi a única que se ajustou a regressão cúbica, na concentração de 400 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, as plantas apresentaram-se 34% superiores às plantas da condição sem estresse. As plantas que se desenvolveram nas demais concentrações apresentaram tendência de redução. Porém quando comparadas com as plantas cultivadas sem estresse o desempenho relativo na concentração de 800 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, foi 7,9% superior, e o na concentração de 1200 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ foi 8,3% superior.

Com base nos resultados apresentados, nota-se que o CPF não foi capaz de discriminar as cultivares sensíveis das tolerantes.

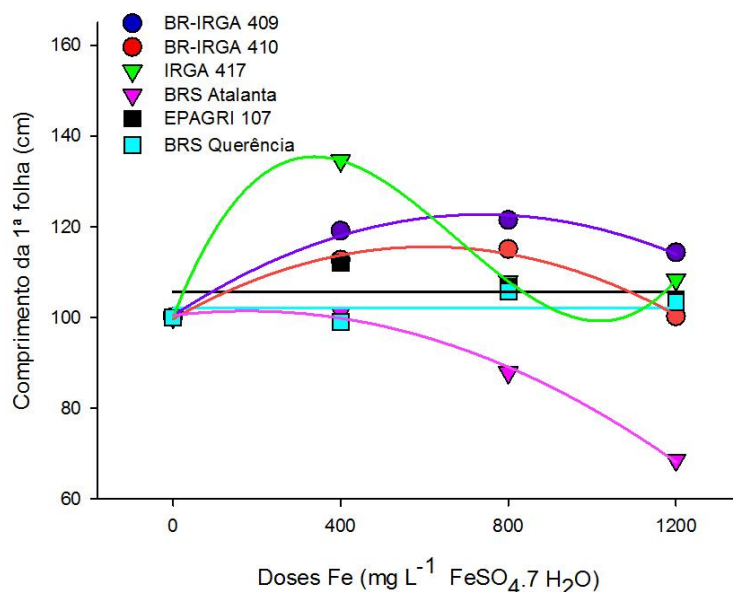


Figura 13. Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento da primeira folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Tabela 17. Equações de regressão ajustadas ao desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento da primeira folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Cultivar	CPF	R ²
	Equação	
BR-IRGA 409	$Y = 10,36 + 0,06X - 0,00004X^2$	0,9904
BR-IRGA 410	$Y = 99,65 + 0,05X - 0,00004X^2$	0,9872
IRGA 417	$Y = 100 + 0,23X - 0,0005X^2 + 0,0000002X^3$	1
BRS Atalanta	$Y = 100,4 + 0,01X - 0,00003X^2$	0,9951
EPAGRI 107	$Y = 105,69$	-
BRS Querência	$Y = 101,99$	-

Na Figura 14, estão representados os desempenhos das cultivares para o caráter CSF, onde se observam que todas as cultivares ajustaram-se em equações lineares, as equações das cultivares podem ser vistas na Tabela 18.

As cultivares tolerantes (EPAGRI 107 e BRS Querência) apresentaram desempenho crescente, indicando que com o aumento da concentração, houve também aumento do caráter, cabendo ressaltar que a cultivar EPAGRI 107 em todas as concentrações avaliadas mostrou-se com maiores médias que a BRS Querência.

As demais cultivares também tiveram seus desempenhos representados por equações lineares decrescentes, onde todas mostraram redução no CSF

frente ao aumento de ferro na solução nutritiva. A cultivar BR-IRGA 410 mostrou-se com médias superiores as demais e a cultivar mais afetada foi a cultivar BRS Atalanta com as menores médias.

Esta característica morfológica mostrou-se eficiente na discriminação das cultivares quanto à sensibilidade ao ferro, pois as cultivares previamente classificadas como tolerantes foram as únicas que tiveram comportamento linear crescente. As cultivares sensíveis e a cultivar moderadamente sensível, foram afetadas negativamente tendo o CSF reduzido, ajustando-se à regressão linear decrescente.

Os resultados apontam que as cultivares tolerantes têm maiores CSF, indicando maior capacidade fotossintética. O aumento na capacidade fotossintética tem sido intensamente requerido, tendo em vista que a fotossíntese é o processo inicial para a produção de biomassa (JIANG et al., 2000).

As cultivares sensíveis tiveram o CSF reduzido, consequentemente reduzindo a área foliar e a capacidade fotossintética, talvez por isso as plantas sensíveis tem suas produções altamente afetadas. Estudo recente afirma que o aumento da produtividade vegetal é determinado pela capacidade das plantas em produzir fotoassimilados (DARIO, 2012).

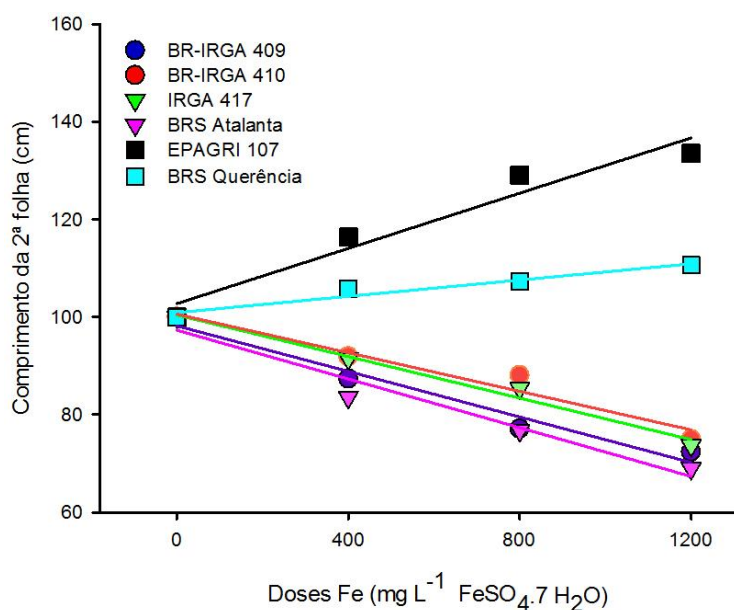


Figura 14. Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento da segunda folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Tabela 18. Equações de regressão ajustadas ao desempenho das cultivares de arroz para o caráter comprimento da segunda folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPEl, 2013.

Cultivar	CSF	
	Equação	R ²
BR-IRGA 409	$Y=98,2-0,023X$	0,9644
BR-IRGA 410	$Y=100,6-0,019X$	0,9529
IRGA 417	$Y=100,41-0,021X$	0,9834
BRS Atalanta	$Y=97,29X-0,024X$	0,9531
EPAGRI 107	$Y=102,75+0,028X$	0,9462
BRS Querência	$Y=100,9+0,0083X$	0,9453

Ao analisar a Figura 15, onde estão representados os desempenho das cultivares, para a variável IPF, nota-se que as cultivares BR-IRGA 409 e BRS Atalanta foram às únicas cultivares não afetadas pelas concentrações de ferro mantendo o mesmo desempenho das plantas cultivadas na concentração controle para cada cultivar.

As cultivares BR-IRGA 410 e EPAGRI 107 ajustaram-se as equações quadráticas, como pode ser visto na Tabela 19. Ambas tiveram o caráter aumentado na concentração de 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, quando comparada as plantas cultivadas na concentração testemunha. Nas duas concentrações seguintes houve uma tendência de redução. A cultivar EPAGRI 107, na última concentração as plantas apresentaram o mesmo desenvolvimento que as plantas na concentração testemunha. A cultivar BR-IRGA 409 também apresentou tendência de redução, contudo na última concentração as plantas apresentaram 11,58% superior aquelas que se desenvolveram na concentração testemunha.

A cultivar mais afetada foi a cultivar BRS Querência, a qual foi ajustada a uma equação linear decrescente, pois à medida que aumentou as concentrações de ferro, notou-se redução na IPF.

A cultivar IRGA 417, teve seu desempenho melhor representado por uma regressão cúbica, sendo que nas duas primeiras concentrações quase não se nota variação entre as plantas. Na concentração de 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, as plantas apresentaram menor IPF, porém na concentração de 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, houve uma tendência de incremento no caráter.

Nas condições experimentais a característica IPF, não se mostrou eficiente para discriminar as cultivares quanto à sensibilidade a toxidez por ferro.

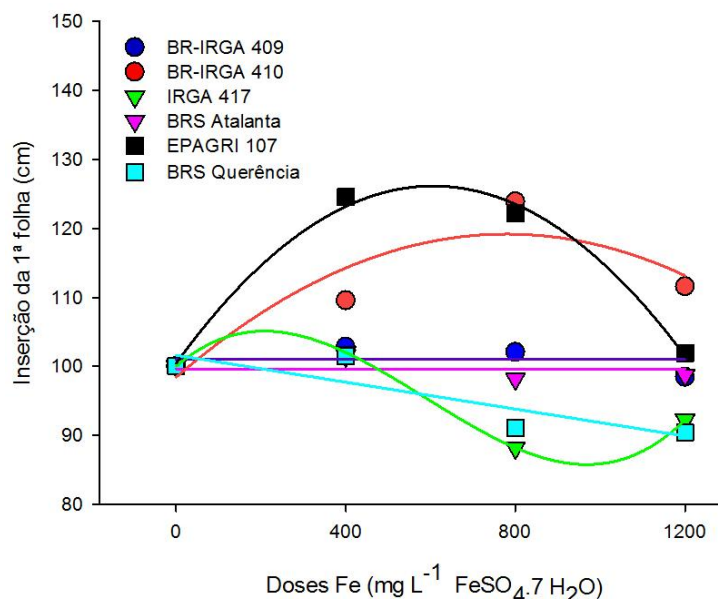


Figura 15. Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter inserção da primeira folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Tabela 19. Equações de regressão ajustadas ao desempenho das cultivares de arroz para o caráter inserção da primeira folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Cultivar	IPF	
	Equação	R ²
BR-IRGA 409	Y= 100,83	-
BR-IRGA 410	Y=98,43+0,05X-0,00003X ²	0,8303
IRGA 417	Y=100+0,05X-0,00016X ² +0,00000008X ³	1
BRS Atalanta	Y= 99,61	-
EPAGRI 107	Y=100,45+0,08X-0,00007X ²	0,992
BRS Querência	Y= 101,61-0,009X	0,7783

Ao analisar a ISF (Figura 16), nota-se que as cultivares BR-IRGA 409 e EPAGRI 107, não foram afetadas pelo aumento do ferro disponibilizado na solução nutritiva, mantendo o mesmo desempenho que suas respectivas cultivares na concentração testemunha.

As cultivares IRGA 417 e BR-IRGA 410, foram representadas por equações polinomiais de grau 3, como pode ser vista na Tabela 20. Nota-se que a cultivar IRGA 417, na concentração de 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O

apresentou incremento no caráter de 20,52%, quando comparada com as plantas que se desenvolveram na concentração testemunha, enquanto que na mesma concentração a cultivar BR-IRGA 410 quase não apresentou alteração quando comparada as plantas que se desenvolvimento testemunha. Na concentração de 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, as duas cultivares apresentaram redução no caráter e na última concentração houve tendência de aumento no caráter, cabe salientar que as cultivar IRGA 417 em todas as concentrações apresentou médias superiores a cultivar BR-IRGA 410.

A cultivar BRS Atalanta também ajustou-se a uma regressão polinomial cúbica, mas com desempenho totalmente oposto às cultivares IRGA 417 e BR-IRGA 410. As plantas que se desenvolveram na concentração de 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, tiveram a ISF 15% menor que as plantas que se desenvolveram na concentração testemunha. Na concentração de 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, nota-se uma tendência de aumento, mas ao comparar com a concentração testemunha, as plantas sob estresse apresentaram-se 5% menor. E na concentração de 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, as plantas tenderam a reduzir novamente ficando com apenas 88% do desempenho apresentado pelas plantas que foram cultivadas na concentração testemunha.

A cultivar BRS Querência ajustou-se a uma regressão quadrática, quase não se notou diferença entre as plantas que se desenvolveram na concentração de 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, com aquelas que se desenvolveram na concentração testemunha, de 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, nesta concentração observa-se que as plantas apresentaram menor desenvolvimento comparadas com as que se desenvolveram na concentração testemunha, porém na concentração de 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, as plantas apresentaram maior desenvolvimento, cerca 8% a mais que as plantas que se desenvolveram na concentração testemunha.

Nas condições experimentais, a característica ISF não foi eficiente para discriminar as cultivares quanto a sensibilidade ao ferro.

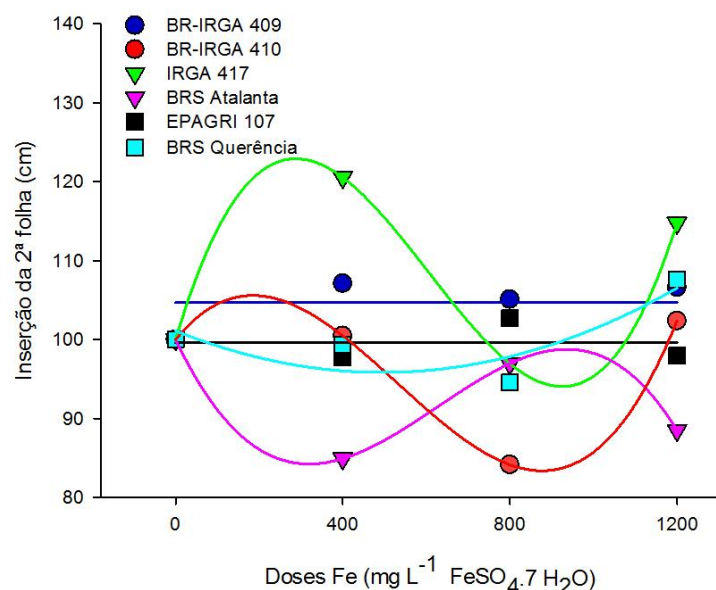


Figura 16. Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter inserção da segunda folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Tabela 20. Equações de regressão ajustadas ao desempenho das cultivares de arroz para o caráter inserção da segunda folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Cultivar	ISF	
	Equação	R ²
BR-IRGA 409	Y= 104,7	-
BR-IRGA 410	Y= 100+0,06X-0,0002X ² + 0,0000001X ³	1
IRGA 417	Y= 100+0,17X-0,0004X ² +0,0000002X ³	1
BRS Atalanta	Y=100-0,11X+0,0002X ² -0,0000001X ³	1
EPAGRI 107	Y= 99,58	-
BRS Querência	Y=101,09-0,02X+0,00002X ²	0,7256

Ao analisar a DIPSF (Figura 17), nota-se que as cultivares BR-IRGA 409 e EPAGRI 107 , não foram afetadas pelo aumento do ferro na solução nutritiva, mantendo o mesmo desempenho que suas respectivas cultivares na concentração testemunha.

As cultivares IRGA 417 e BR-IRGA 410, apresentaram ajuste de regressão cúbica, como pode ser visto na Tabela 21. Nota-se na concentração 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, a cultivar IRGA 417 apresentou incremento de 46% no caráter, a cultivar BR-IRGA 410 apresentou 6% de redução na DIPSF, quando comparada com as plantas que se desenvolveram na concentração testemunha. Na concentração de 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, as duas

cultivares apresentaram redução no caráter, a cultivar IRGA 417 manteve-se superior as plantas sem estresse, a cultivar BR-IRGA 410 apresentou apenas 51% do potencial apresentado pelas plantas na concentração controle. Na última concentração houve tendência de aumento no caráter, a cultivar IRGA 417 em todas as concentrações estudadas apresentou médias superiores a cultivar BR-IRGA 410.

A cultivar BRS Atalanta também ajustou-se a regressão polinomial cúbica, mas com desempenho diferenciado das cultivares IRGA 417 e BR-IRGA 410. As plantas que se desenvolveram na doses de 400 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, tiveram DIPSF 34% menor que as plantas que se desenvolveram na concentração testemunha. Porém na concentração de 800 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, nota-se uma tendência de aumento, mas quando comparada a concentração testemunha elas tiveram o mesmo desenvolvimento. Na concentração de 1200 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, as plantas reduziram em 20% quando comparadas ao desempenho apresentado pelas plantas que foram cultivadas na concentração testemunha.

A cultivar BRS Querência ajustou-se a regressão quadrática, onde a concentração de 400 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, quase não alterou o desenvolvimento quando comparada a concentração testemunha, enquanto que nas outras duas concentrações o desenvolvimento das plantas foi estimulado comparado ao das plantas testemunhas.

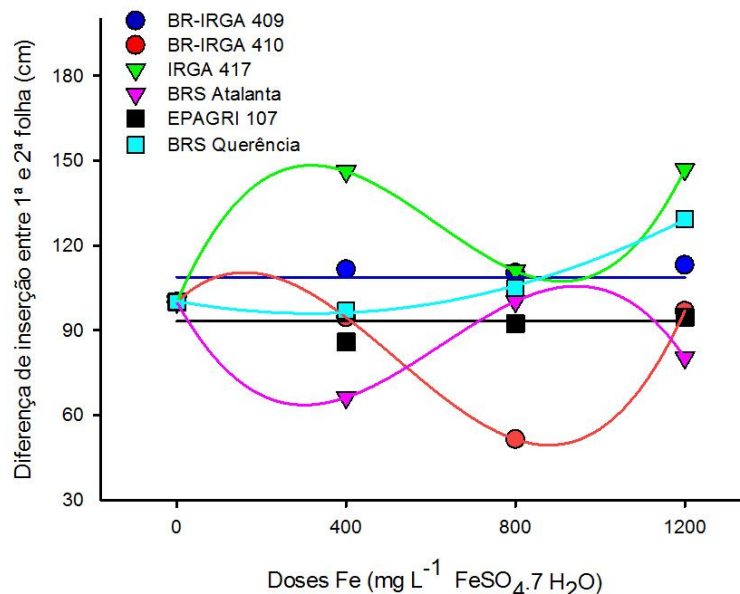


Figura 17. Representação gráfica do desempenho das cultivares de arroz para o caráter diferença de inserção entre a primeira e segunda folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.

Tabela 21. Equações de regressão ajustadas ao desempenho das cultivares de arroz para o caráter diferença de inserção entre a primeira e segunda folha, quando submetidas a estresse por diferentes concentrações de ferro. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.

Cultivar	DIPSF	
	Equação	R ²
BR-IRGA 409	Y= 108,69	-
BR-IRGA 410	Y=100+0,13X-0,0005X ² +0,0000003X ³	1
IRGA 417	Y=100+0,34X-0,0007X ² +0,0000004X ³	1
BRS Atalanta	Y= 100-0,27X+0,0006X ² -0,0000003X ³	1
EPAGRI 107	Y= 93,13	-
BRS Querência	Y= 100,3-0,02X+0,00004X ²	0,9976

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar o experimento 2, no qual as plantas foram mantidas na condição de estresse por 14 dias. Nesta condição os caráter que possibilitaram a discriminar as cultivares tolerantes das demais foram o comprimento de raízes e comprimento da segunda folha, os demais caracteres estudados não mostraram-se eficientes para separar as cultivares com algum grau de sensibilidade das cultivares tolerantes.

As cultivares sensíveis tiveram os comprimentos de raízes e comprimentos das segundas folhas reduzidos. Enquanto que as cultivares tolerantes mantiveram ou aumentaram os caracteres frente ao aumento das concentrações de ferro.

CONCLUSÕES

Independente do tempo de exposição das plantas ao estresse por ferro, dentre as nove características avaliadas, apenas o comprimento de raízes e o comprimento da segunda folha mostram-se eficientes na caracterização de cultivares de arroz em sistema hidropônico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADIE, T.; CORDEIRO, C.M.T.; FONSECA, J.R.; ALVES, R.B.N.; BURLE, M.L.; RANGEL, P.H.N.; CASTRO, E.M.; SILVA, H.T.; FREIRE, M.S.; ZIMMERMANN, F.J.P.; MAGALHÃES, J.R. Construção de uma coleção nuclear de arroz para o Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.2, p.129-136, 2005.

AMMIRAJU, J. S. S.; SONG, X.; LUO, M.; SISNEROS, N.; ANGELOVA, A.; KUDRNA, D.; KIM, H.; YU, Y.; GOICOECHEA, J. L.; LORIEUX, M.; KURATA, N.; BRAR, D.; WARE, D.; JACKSON, S.; WING, R. A. The Oryza BAC resource: a genus-wide and genome scale tool for exploring rice genome evolution and leveraging useful genetic diversity from wild relatives. **Breeding Science**, v.60, p 536–543, 2010.

AUDEBERT A.; SAHRAWAT K.L. Mechanisms for iron toxicity tolerance in lowland rice. **Journal of Plant Nutrition**, v.23, p.1877-1885, 2000.

BECANA, M.; MORAN, J.F.; ITURBE-ORMAETXE, I. Iron-dependent oxygen free radical generation in plants subjected to environmental stress: toxicity and antioxidant protection. **Plant and Soil**, v.201, p.137-147, 1998.

BERTAN, I. **Distância genética como critério para escolha de genitores em programas de melhoramento de trigo (*Triticum aestivum* L.)**. 2005. 93p. Dissertação (mestrado). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel/Universidade Federal de Pelotas.

BRESOLIN, A. P. S. **Caracterização morfológica e análise da expressão gênica em arroz (*Oryza sativa* L.) sob estresse por ferro**. 2010. 144 f. Tese (doutorado em fitomelhamento)- Univesidade Federal de Pelotas.

CAMARGO, C. E. de O.; CAMARGO, O. B. de A. Estudo comparativo da tolerância à toxicidade de ferro e alumínio em arroz. **Bragantia**, v. 44, n.1, p. 97-114, 1985.

CAMARGO, C. E. O. Tolerância de cultivares de arroz em estágio de plântula a diferentes níveis de ferro em solução nutritiva. **Bragantia**, v.43, n.2, p.369-380, 1984.

CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas:UFPel, 2004. 142p.

CONAB: Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_01_06_08_41_56_boletim_graos_4o_lev_safras_2010_2011.pdf> Acesso em 20 jul. 2012.

CRESTANI, M.; SOUZA, V. Q.; SILVA, J. A. G.; HARTWIG, I.; LUCHE, H. S. de; SOUSA, R.O de.; CARVALHO, F. F. I. de. Comportamento de genótipos de arroz irrigado submetidos ao estresse por ferro em condições de hidroponia. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 9, p.85-93, 2009.

DARIO G. J. A.; DARIO, I. S. N.; VAZQUEZ, G. H.; PERES, A. R. Adubação foliar na fase reprodutiva do arroz irrigado. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v 18, n 1, p 68-80, 2012.

DOBERMANN, A.; FAIRHURST, T. **Rice: Nutrient disorders and nutrient management**. Manila: Philippines. 2000. 164p.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia e Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.2, p.6-16, 1998.

FERREIRA, R. de P.; CRUZ, C. D.; FAGERIA, N.K. TOLERÂNCIA DE GENÓTIPOS DE ARROZ AO FERRO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v.32, n.11, p. 1177-1182, 1997.

FURLANI, P. R.; DUARTE, A.P.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z. Tolerância ao alumínio em cultivares de milho. In: DUARTE, A. P; PATERNIANI, M. E. A. G. Z (Coords). **Fatores bióticos e abióticos em cultivares de milho e estratificação ambiental: avaliação IAC/CATI/Empresas — 1999-2000**. Instituto Agrônomo, Campinas, 2000. p.19-29. (Boletim Científico, 5)

JIANG, H.; XU, D.Q. Physiological basis of the difference in net photosynthetic rate of leaves between two maize strains. **Photosynthetica**, Prague, v. 38, n.2, p 199-204, 2000.

KHUSH, G.S. Green revolution: the way forward. *Nature Reviews: Genetics*, v.2, p. 815-822, 2001.

LINDSAY, W.L. **Chemical equilibria in soils**. New York: John Wiley, , 1979. 449p.

MACHADO, A.; CONCEIÇÃO, A. R. **Programa estatístico WinStat Sistema de Análise Estatístico para Windows**. Versão 2.0. Pelotas: UFPel, 2002.

MAGALHÃES JR, A. M. de FAGUNDES, P R. R; FRANCO, D. F.; SEVERO, A.; FONSECA, G. de M. da. Comportamento de linhagens de arroz irrigado da Embrapa: toxidez por ferro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6.; 2009, Porto Alegre. **Anais do...** Porto Alegre: Palotti, 2009. P.56-59.

MAGALHÃES JR, A. M. de; FAGUNDES, P. R. R; GOMES, A. S.; FRANCO, D. F.; SEVERO, A. Avaliação de linhagens de arroz irrigado à toxidade por ferro do programa de melhoramento da Embrapa. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 5; Reunião da Cultura do Arroz Irrigado, 27, 2007. Pelotas, **Anais do...** Pelotas: Embrapa, p.108-111, 2007.

MAGALHÃES, J. R. Construção de uma coleção nuclear de arroz para o Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.2, p.129-136, 2005.

MANFRON, P. A.; DOURADO NETO, D.; PEREIRA, A. R.; BONNECARRÈRE, R. A. G.; MEDEIROS, S. L. P.; PILAU, F. G. Modelo do índice de área foliar da cultura do milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 333-342, 2003.

- MARINI, N. **Qualidade de grãos, tolerância ao estresse por ferro e variabilidade genética em arroz**. 2012. 126f. Tese (doutorado em fitomelhoramento)- Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- MEHRABAN, P.; ZADEH, A.A.; SADEGHIPOUR, H.R. Iron toxicity in rice (*Oryza sativa* L.), under different potassium nutrition. **Asian Journal of Plant Sciences**, v. 7, n.3, p.1-9, 2008.
- MELLO, J. W. V.; FONTES, M. P. F.; RIBEIRO, A. C.; ALVAREZ, V. H. Inundação e calagem em solos de várzea: I. Alterações em pH, Eh e teores de Fe²⁺ e Mn²⁺ em solução. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.309-317, 1992.
- SOUSA, R.; CAMARGO, F. A. O; VAHL, L. C. Solos alagados: reações de redox. In: MEURER, E. J. (Org.). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Gênese, 2000. 283p.
- OLALEYE, A.O.; TABI, F.O.; OGUNKUNLE, A.O.; SINGH, B.N.; SAHRAWAT, K.L. Effect of toxic iron concentrations on the growth of lowlands rice. **Journal of Plant Nutrition**, v.24, n.3, p.441-457, 2001.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 11 ed., Piracicaba. 1985. 466p.
- PONNAMPERUMA, F.N. Chemical kinetics of wetland rice soil relative to soil fertility. In: International Rice Research Institute. **Wetland soils: Characterization, classification and utilization**. Los Baños, Int. Rice Res. Inst. p. 71-89, 1985.
- PONNAMPERUMA, F.N. The chemical of submerged soils. **Advances in Agronomy**, v.24 , p. 29-96, 1972.
- PONNAMPERUMA, F.N., BRADFIELD, R., PEECH, M. Physiological disease of rice attributable to iron toxicity. **Nature**, London, v.175, p.265, 1955.
- SAHRAWAT, K.L. Elemental composition of rice plant as affected by iron toxicity under field conditions. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, Philadelphia, v.31, p.2819-2827, 2004.
- SOSBAI – Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. Itajaí: SOSBAI, 2012, 179p.
- SOSBAI – Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. Bento Gonçalves: SOSBAI, 2010.
- SOSBAI – Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado **Arroz irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas: SOSBAI, 2007. 164 p.

SOUSA, R.; CAMARGO, F. A. O.; VAHL, L. C.; Solos alagados (Reações de redox). In: MEUER, J. R.; (ed.). **Fundamentos de química do solo** . 2º ed. Porto Alegre, 2004. p. 290.

VAHL, L. C.; SOUSA, R. O. Aspectos físico-químicos de solos alagados. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES Jr., A. M. (eds.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. 1º ed. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004. p. 97-118.

VAUGHAN, D. A.; MORISHIMA, H.; KADOWAKI, K. Diversity in the *Oryza* genus. **Plant Biology**, v.6, p.139–146, 2003.

WARDA. **Annual Report 2000**. West Africa Rice Development Association, Bouake, Côte d'Ivoire. 2001.

WINSLOW, M.D.; YAMAUCHI, M.; ALLURI, K.; MASAJO T.M. Reducing iron toxicity in rice with resistant genotype and ridge planting. **Agronomy Journal**, v.81, p.458-460, 1989.

WOLTER, R. C. D.; SEHN, C. F. S.; SONCINI, M. M.; SOUSA, R. O.; VAHL, L. C. Fração molar do ferro em relação aos cátions divalentes em solução nutritiva e a toxidez por ferro em arroz irrigado. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 8. Santa Maria. **Anais do...** Santa Maria, 2013. p. 790-793.

WU, P.; HU, B.; LIAO, C.Y.; ZHU, J.M.; WU, Y.R.; SENADHIRA, D.; PATERSON, A.H. Characterization of tissue tolerance to iron by molecular markers in different lines of rice. **Plant and Soil**. v.203, p.217–226. 1998.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Manila: Filipinas, 1981. 268p.

CAPITULO II

ADEQUAÇÃO DE CONCENTRAÇÃO DE FERRO PARA PROMOÇÃO DE ESTRESSE COM USO DE SOLUÇÃO EM HIDROPONIA

INTRODUÇÃO

O Rio Grande do Sul é maior e principal produtor de arroz de sistema irrigado do Brasil, respondendo por 67,0% da produção brasileira (CONAB, 2013).

O arroz cultivado em sistema irrigado, no qual o solo permanece alagado durante praticamente todo o ciclo de desenvolvimento da cultura, é passível de ser exposto a níveis elevados de ferro, o que pode acarretar toxidez para a planta. Em solos alagados, a difusão mais lenta do oxigênio molecular e o seu consumo por microorganismos aeróbicos - que posteriormente serão substituídos pelos anaeróbios - resultam em um ambiente fortemente redutor, no qual haverá a predominância da forma solúvel Fe^{2+} em níveis potencialmente tóxicos às plantas (PONNAMPERUMA, 1972).

Para sanar ou pelo menos minimizar este grande problema, na literatura encontra-se muitos trabalhos com o objetivo caracterizar genótipos quanto a toxidez causada pelo ferro em cultivo hidropônico (FERREIRA;CRUZ; FAGERIA,1997; CRESTANI et al., 2006; 2009; BRESOLIN,2010; MARINI, 2012). Porém há divergência quanto a concentração de ferro a ser utilizada que permita discriminar os genótipos.

O emprego de caracteres morfológicos em associação à técnicas multivariadas, tem sido amplamente utilizado na quantificação da distância genética de diversas espécies e para variados usos (BERTAN et al., 2006).

Neste estudo, utilizou-se quatro concentrações de ferro, e em cada concentração, utilizou-se a técnica de análise multivariada como uma estratégia para selecionar uma concentração capaz de discriminar as cultivares sensíveis das tolerantes, a nível de plântula, sob cultivo hidropônico para facilitar a seleção assistida, além de reduzir o tempo para detecção da tolerância ou sensibilidade para este estresse que é uma das principais causas da redução da produtividade do arroz irrigado no sul do país.

Neste sentido o estudo objetivou escolher uma concentração capaz de separar as cultivares sensíveis de tolerantes a partir de caracteres morfológicos de plantas cultivadas em sistema hidropônico.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos similares que diferiram apenas no tempo de exposição ao estresse, no experimento 1, as plântulas foram submetidas as concentrações de ferro por sete dias; no experimento 2, as plântulas foram mantidas na condição de estresse por 14 dias.

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Cultivo Hidropônico e Duplo Haplóides do Centro de Genômica e Fitomelhoramento, FAEM/UFPel, em tanque de cultivo hidropônico. Foram avaliadas seis cultivares comerciais de arroz irrigado previamente caracterizadas quanto a toxidez por ferro em condições de campo, sendo sensíveis (BR-IRGA 409, BR-IRGA 410, IRGA 417), medianamente sensível (BRS Atalanta) e tolerantes (EPAGRI 107, BRS Querência), (SOSBAI 2012).

O experimento 1, foi realizado em setembro de 2012 e experimento 2, realizado em outubro de 2012. Por serem dois experimentos independentes, estatisticamente não foi realizado a comparação entre os dois..

Para a instalação de cada experimento primeiramente, foi realizada a desinfestação das sementes com solução de hipoclorito de sódio à 10%, por um minuto. Após, as sementes foram colocadas em *gerbox*, sobre faixas de papel filtro umedecidos com água ultrapura e levadas à BOD (câmara de germinação) com temperatura de 25°C, com fotoperíodo de 16 horas e umidade relativa de 100% por 96 horas.

Posteriormente foram selecionadas as plantas uniformes quanto ao vigor e uniformidade, com aproximadamente 10 mm de raiz acondicionadas em isopor adaptado a tampa de um recipiente (5L) contendo solução nutritiva proposta por Wolter et al., (2013).

Para ambos os experimentos as plantas foram cultivadas em tanque hidropônico à temperatura de 25°C, iluminação artificial simulando o fotoperíodo de 12h. As cultivares permaneceram nesta condição por 14 dias, na solução nutritiva, sendo que a solução foi trocada a cada 7 dias e o pH foi ajustado e corrigido diariamente para $4 \pm 0,3$, com adição de HCl ou NaOH 0,5 M.

No décimo quinto dia as plantas foram submetidas aos tratamentos, sendo concentração testemunha (solução nutritiva), concentração 400 (solução nutritiva + 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7 H₂O), concentração 800 (solução nutritiva + 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7 H₂O) e a concentração 1200 (solução nutritiva + 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7 H₂O). Os baldes do experimento 1 permaneceram na condição de estresse por 7 dias, enquanto que os baldes do experimento 2, permaneceram na condição de estresse por 14 dias.

No experimento 1, as avaliações se procederam no oitavo dia, enquanto que no experimento 2, as avaliações procederam do décimo quinto dias de estresse. Os caracteres avaliados foram: comprimento de raiz (CR), comprimento da parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento de coleótilo (CC), Inserção da primeira folha (IPF), Inserção da segunda folha (ISF) e diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF). As variáveis foram medidas, com auxílio de régua graduada, foram avaliadas aleatoriamente, cinco plântulas normais por balde para compor uma repetição.

Os dados obtidos de cada experimento foram separados por concentração, e os caracteres de cada concentração foram estudados, para verificar o comportamento das cultivares dentro de cada concentração estudada.

Os dados de caracteres morfológicos das concentração foram submetidos à análise de variância, os caracteres que não apresentaram diferenças significativas foram removidos, antes de proceder as análises multivariadas por não diferir as cultivares.

Ao realizar a análise de variância foram obtidos o arquivo de médias e a matriz de variâncias e covariâncias residuais.

Com base nas matrizes de distâncias genéticas geradas, foram construídos os dendrogramas, utilizando o método de agrupamento das médias das distâncias (UPGMA). Para a estimativa do ajuste entre a matriz de dissimilaridade e o dendrograma gerado, foi calculado o coeficiente de correlação cofenética (r) (SOKAL; ROHLF, 1962), utilizando o programa computacional NTSYS pc 2.1 (ROHLF, 2000). Como critério de separação dos

grupos foi plotado uma coluna para representar a dissimilaridade média e outra para representar o Agrupamento de Tocher.

A estimativa da distância generalizada de Mahalanobis como medida de dissimilaridade foi aplicada para as análises do método de agrupamento das médias das distâncias (UPGMA), nas variáveis canônicas, no método de agrupamento de Tocher e na contribuição relativa dos caracteres para a dissimilaridade das cultivares.

Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do programa computacional Genes (CRUZ, 2007).

Com base nos resultados das variáveis canônicas, a divergência genética foi apresentada por meio de um gráfico de dispersão, gerado no programa computacional SigmaPlot (Systat Software, San Jose, CA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para facilitar a leitura e compreensão dos resultados obtidos em cada experimento, os dados foram discutidos separadamente tendo em vista que não foi feita comparação estatística entre os experimentos.

Assim sendo, o experimento 1, corresponde aquele no qual as plantas foram cultivadas em condição normal de cultivo por 14 dias, e mantidas na condição de estresse por mais sete dias. No experimento 2, as plantas também foram cultivadas 14 dias na solução nutritiva testemunha, e submetidas ao estresse por mais 14 dias.

EXPERIMENTO 1

Pela análise de variância (Tabela 22), na concentração 1 (concentração testemunha), constatou-se diferenças significativas entre as seis cultivares de arroz irrigado, previamente classificadas quanto a sensibilidade a toxidez por ferro em testes a campo, pelo teste F a 5% de probabilidade de erro, para os caracteres morfológicos: comprimento de raízes (CR), comprimento de parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), inserção da primeira folha (IPF), inserção da segunda folha (ISF) e diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF). Apenas o caráter comprimento de coleóptilo (CC), não diferiu entre as seis cultivares de arroz irrigado, sendo assim esta variável foi removida para proceder as análises multivariadas.

Ainda observando a análise de variância é possível notar que apenas os caracteres CPF e CC apresentaram médios valores de coeficiente de variação (CV), as demais variáveis apresentaram baixo CV de acordo com Pimentel Gomes (1985).

Tabela 22. Resumo da análise de variância para os caracteres comprimento de raízes (CR), comprimento da parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento do coleóptilo (CC), inserção da primeira folha (IPF) inserção da segunda folha (ISF), diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF), em cultivares de arroz, submetidas a quatro níveis de estresse por ferro, em solução nutritiva. CGF-FAEM/UFPeL, 2013.

	FV	GL	CR	CPA	NR	CPF	Quadrado médio		IPF	ISF	DIPSF
							CSF	CC			
Conc. 1	Cultivar	5	6,48**	58,17**	9,68**	0,52**	10,82**	0,06 ^{ns}	0,44**	0,92**	0,93**
	Resíduo	12	0,03	0,28	0,10	0,04	0,08	0,04	0,04	0,09	0,10
	Médias		5,1	30,4	14,3	1,8	9,7	1,4	3,7	6,9	3,2
	CV (%)	-	3,4	1,7	2,2	11,4	2,9	15,3	5,3	4,3	9,8
	FV	GL	CR	CPA	NR	CPF	Quadrado médio		IPF	ISF	DIPSF
							CSF	CC			
Conc. 2	Cultivar	5	2,34**	21,03**	2,98**	0,59**	15,28**	0,10*	0,34**	0,34**	0,77**
	Resíduo	12	0,01	0,17	0,42	0,03	0,04	0,03	0,05	0,07	0,09
	Médias		4,1	29,4	13,1	1,9	9,3	1,5	3,7	7,1	3,4
	CV (%)	-	2,7	1,4	5,0	9,2	2,2	11,4	6,1	3,6	9,0
	FV	GL	CR	CPA	NR	CPF	Quadrado médio		IPF	ISF	DIPSF
							CSF	CC			
Conc. 3	Cultivar	5	2,06**	25,92**	20,08**	0,96**	21,48**	0,17*	0,41**	1,20**	0,99**
	Resíduo	12	0,01	0,04	0,09	0,03	0,07	0,04	0,03	0,04	0,13
	Médias		4,0	28,9	14,2	1,9	9,4	1,5	3,5	7,2	3,4
	CV (%)	-	2,8	0,7	2,1	9,6	2,9	14,0	5,0	2,7	10,5
	FV	GL	CR	CPA	NR	CPF	Quadrado médio		IPF	ISF	DIPSF
							CSF	CC			
Conc. 4	Cultivar	5	3,03**	32,99**	6,21 ^{ns}	0,76**	31,60**	0,19*	0,81**	1,12 ^{ns}	0,82 ^{ns}
	Resíduo	12	0,03	5,67	2,81	0,03	0,03	0,05	0,07	0,49	0,36
	Médias		3,7	28,9	13,9	1,8	8,9	1,4	3,8	7,2	3,4
	CV (%)	-	4,9	8,2	12,0	10,5	1,8	16,4	6,9	9,7	17,5

Concentração 1 (solução nutritiva), Concentração 2 (solução nutritiva + 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7 H₂O), Concentração 3 (solução nutritiva + 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7 H₂O) e Concentração 4 (solução nutritiva + 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7 H₂O). ** * significativo a 1 e 5% de probabilidade de erro. ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade de e

Na Tabela 23, estão apresentados os dados de distância de Mahalanobis entre todos os pares de cultivares, na condição normal de cultivo (sem estresse). Onde nota-se que as cultivares EPAGRI 107 e BRS Atalanta são os mais similares, com a distância de menor magnitude ($D^2 = 113$), a segunda menor distância foi detectada entre a cultivar BR-IRGA 409 e a cultivar BRS Atalanta.

A maior distância de Mahalanobis observada foi entre as cultivares IRGA 417 e BRS Querência ($D^2 = 2485$), e a segunda maior foi entre as cultivares BR-IRGA 410 e BRS Querência ($D^2 = 2447$).

Tabela 23. Distância genética entre seis cultivares de arroz irrigado à concentração testemunha, calculada pelo método das distâncias de Mahalanobis para os caracteres morfológicos na fase de plântula, sob cultivo hidropônico. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

	BR-IRGA 409	BR-IRGA 410	IRGA 417	BRS Atalanta	EPAGRI 107	BRS Querência
BR-IRGA 409	0					
BR-IRGA 410	856	0				
IRGA 417	962	210	0			
BRS Atalanta	188	1297	1300	0		
EPAGRI 107	243	1588	1537	113	0	
BRS Querência	880	2447	2485	614	737	0

Os métodos de agrupamento têm como propósito a separação de um grupo original de observações em vários subgrupos, de forma a obter homogeneidade dentro e heterogeneidade entre os subgrupos (BERTAN et al., 2006).

O dendrograma gerado pelo método UPGMA, é método hierárquico, no qual as cultivares são agrupados por um processo que se repete em vários níveis, sem a preocupação com o número ótimo de grupos, este método utiliza a média das distâncias entre todos os pares de cultivares para formação de cada grupo (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

O dendrograma (Figura 18), foi construído utilizando o método UPGMA. Utilizando a distância média de Mahalanobis entre as cultivares ($D^2 = 1030,41$), como critério para a formação dos grupos. Houve a formação de dois grupos, o primeiro formado pela grande maioria das cultivares (BR-IRGA 409, BRS

Atalanta, EPAGRI 107 e BRS Querência), o segundo formado exclusivamente pelas cultivares (BR-IRGA 410 e IRGA 417).

O outro critério para a formação de grupos utilizado foi o método de otimização Tocher. Este tem por finalidade formar grupos com maior homogeneidade dentro do grupo que entre grupos (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004). Os grupos formados pelo agrupamento de Tocher como pode ser visto na Tabela 26. De acordo com os resultados, foi plotado uma linha no dendrograma. Onde houve a formação de três grupos sendo o primeiro formado pelas cultivares (BR-IRGA 409, BRS Atalanta e EPAGRI 107), segundo grupo foi formado exclusivamente pela cultivar (BRS Querência), e o terceiro grupo formado pelas cultivares (BR-IRGA 410 e IRGA 417).

Os métodos hierárquicos são amplamente utilizados e podem ser de fácil visualização, mas é importante utilizar mais de uma técnica de estudo da dissimilaridade como complementação dos resultados. A alta correlação cofenética (0,82) mostra a consistência da análise de agrupamento em relação à matriz de dissimilaridade.

Com base nos resultados apresentados é possível observar que a dissimilaridade média e o agrupamento de Tocher apresentaram divergência quanto aos resultados.

Os caracteres morfológicos avaliados apontam que existe variabilidade entre as cultivares, porém em condições normais de cultivo (sem estresse), elas não se agrupam de acordo com a classificação quanto a tolerância. Um estudo prévio indicou que dependendo das concentrações de ferro, o metabolismo da planta pode ser alterado, afetando diversas estruturas (CONNOLLY; GUERINOT, 2002). Este fato explica as plantas se comportarem diferente de sua classificação em ensaios de campo na presença o ferro.

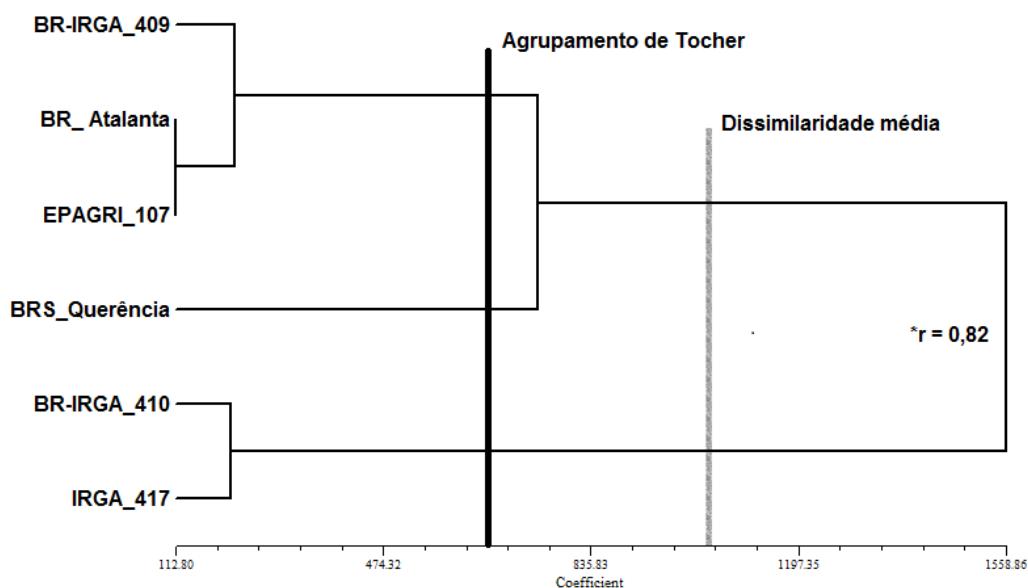


Figura 18. Dendrograma resultante da análise de agrupamento de seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração testemunha, pelo método UPGMA, utilizando a distância de Mahalanobis, obtida a partir da análise de caracteres Morfológicos. *r: correlação cofenética. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.

As variáveis canônicas visam simplificar estruturalmente o conjunto de dados visando reduzir a dimensionalidade dos dados de modo que a diversidade influenciada a princípio por um conjunto multidimensional, que possa ser avaliada por um complexo bi ou tridimensional de mais fácil interpretação (PERREIRA; CRUZ, 2003).

De acordo com Cruz e Carneiro (2006), para uma interpretação satisfatória da variabilidade manifestada as cultivares é necessário que as duas primeiras variáveis canônicas permitam uma estimativa mínima de 80% da variação total contida no conjunto de caracteres. Para as cultivares empregadas este estudo em condições normais de cultivo hidropônico (sem estresse), as duas primeiras variáveis canônicas explicaram cerca de 91,28% da variação (Tabela 24).

Com esses resultados foi possível a visualização gráfica bidimensional das cultivares estudadas, utilizando os escores da primeira e da segunda variável canônica, como mostra a Figura 19.

Tabela 24. Escore dos genótipos em relação às duas primeiras variáveis canônicas obtidas na avaliação da dissimilaridade genética, em cultivares de arroz, na concentração testemunha. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.

Genótipos	Variáveis Canônicas	
	1 ^a	2 ^a
BR-IRGA 409	-50,95	14,50
BR-IRGA 410	-77,60	5,79
IRGA 417	-77,76	6,69
BRS Atalanta	-43,86	14,51
EPAGRI 107	-41,35	19,41
BRS Querência	-29,83	-4,81
Variância (%)	76,74	14,55
Variância acumulada (%)	76,74	91,28

Na Tabela 25, pode-se observar as importâncias relativas dos caracteres morfológicos, no estudo de diversidade genética.

Variáveis com pequena variabilidade ou que estão correlacionadas com outras consideradas no estudo apresentarão coeficientes de grande magnitude nos últimos autovetores (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

Assim considerando as últimas variáveis canônicas que representaram menos que 10% da variação total, contata-se que os caracteres que se recomendaria o descarte em estudos futuros, seriam DIPSF, CPF, IPF, ISF.

Tabela 25. Importância relativa dos caracteres morfológicos, comprimento de raízes (CR), comprimento da parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), inserção da primeira folha (IPF) inserção da segunda folha (ISF), diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF), das variáveis canônicas em cultivares de arroz submetidas à concentração testemunha. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.

	CR	CPA	NR	CPF	CSF	IPF	ISF	DIPSF
V1	-0,640	-1,1/00	-0,177	-0,026	0,848	2,629	-2,954	2,621
V2	-0,128	0,398	-0,833	0,272	0,504	0,853	-1,533	1,249
V3	0,951	-0,873	-0,356	0,435	0,660	-0,467	-0,053	0,203
V4	0,297	0,046	0,572	-0,674	0,639	-0,127	0,185	-0,316
V5	-0,036	-0,043	0,029	-0,087	0,130	-1,671	2,160	-1,448
V6	0,191	-0,495	-0,434	-1,219	-0,036	1,305	0,730	-0,616
V7	0,411	-0,180	0,157	0,870	0,347	-0,282	0,488	0,286
V8	0,108	-0,170	-0,132	-0,292	0,057	4,627	-6,224	6,746

Ao observar a dispersão formada pelas duas primeiras variáveis canônicas (Figura 19), nota-se que houve a formação de três grupos, sendo o

primeiro grupo reuniu a as cultivares (BR-IRGA 409, EPAGRI 107 e BRS Atalanta), o segundo foi formado pelas cultivares BR-IRGA 410 e IRGA 417, o terceiro foi formado exclusivamente pela cultivar BRS Querência.

Os resultados apresentados pelas variáveis canônicas concordam com o dendrograma gerado (Figura 18), considerando ponto de corte para formação de grupo baseado no método de Tocher.

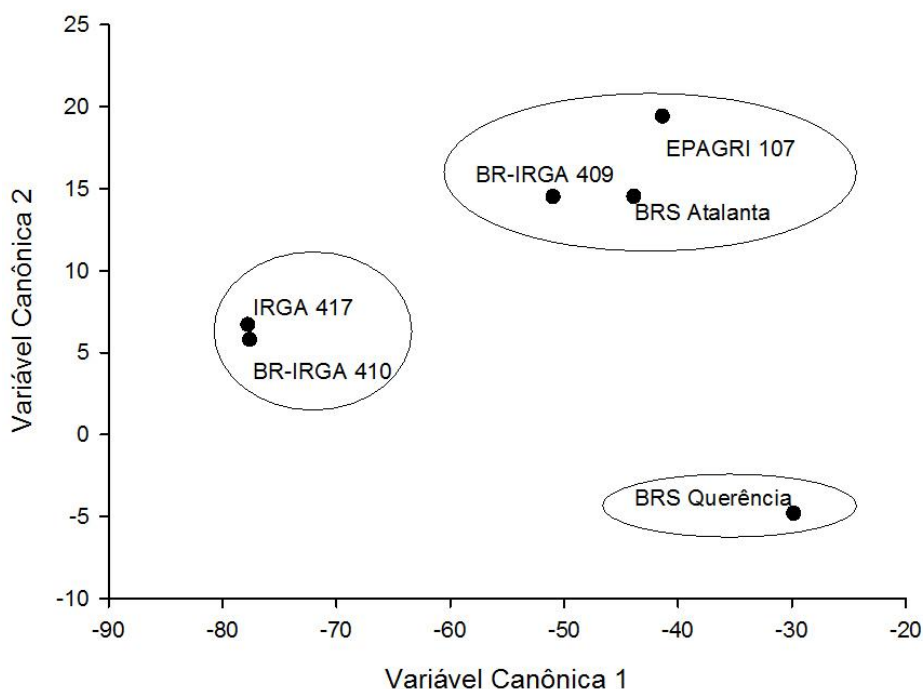


Figura 19. Gráfico de dispersão das seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração testemunha, considerando as duas primeiras variáveis canônicas. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

A estimativa das distâncias genéticas permitiu a formação de três distintos grupos pelo método de Tocher (Tabela 26). O primeiro grupo reuniu a as cultivares (BR-IRGA 409, EPAGRI 107 e BRS Atalanta), o segundo foi formado pelas cultivares BR-IRGA 410 e IRGA 417, o terceiro foi formado exclusivamente pela cultivar BRS Querência.

Os resultados desta análise foram utilizados para plotar o ponto de corte para formação dos grupos no dendrograma.

Em cultivo hidropônico, sem estresse, e com base em caracteres morfológicos em fase de plântulas, não foi possível separar as cultivares em

sensíveis, moderadamente sensíveis e tolerantes, como estas já haviam sido classificadas em testes de campo.

Tabela 26. Agrupamento das cultivares de arroz irrigado pelo método de otimização de Tocher, com base nos caracteres morfológicos de plântulas cultivadas na concentração testemunha. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.

Grupos	Genótipos		
1	BRS Atalanta	EPAGRI 107	BR-IRGA 409
2	BR-IRGA 410	IRGA 417	
3	BRS Querência		

Pelo método de Singh (1981), utilizado para avaliar a importância relativa das oito características morfológicas avaliadas em plântulas cultivadas sob regime hidropônico na concentração testemunha. Pode-se determinar que apenas três variáveis (comprimento da parte aérea, comprimento da raiz e comprimento da segunda folha) contribuíram com 67,31% para a divergência genética, enquanto as outras cinco variáveis contribuíram com 32,69%.

Na Tabela 27, estão incluídas as contribuições relativas da cada caráter para a dissimilaridade genética observada. O caráter que mais contribuiu para a dissimilaridade genética foi o comprimento da parte aérea, com 29,34%, e com valores médios variando entre 24,9 cm (EPAGRI 107) a 36,0 cm (IRGA 417). A segunda variável em importância na contribuição da variabilidade genética foi o comprimento de raízes, onde observa-se que as cultivares mais contrastantes foram a cultivar BR-IRGA 410 (7,4 cm), e a cultivar BRS Querência (3,1 cm). A terceira característica de maior contribuição comprimento da segunda folha, com 23,25%. A menor segunda folha em média foi observada na cultivar BR-IRGA 409 (8,1 cm) e a maior observada na cultivar BRS Querência (13,2 cm).

Tabela 27. Contribuição relativa dos caracteres morfológicos para a dissimilaridade entre genótipos de arroz irrigado na concentração testemunha. CGF-FAEM/UFPEL, 2013.

Variáveis	Contribuição Relativa	
	S.j	VALOR (%)
Comprimento de raízes	2945,58	20,56
Comprimento da parte aérea	4203,45	29,34
Número de raízes	1071,51	7,48
Comprimento da primeira folha	38,02	0,27
Comprimento da segunda folha	2494,33	17,41
Inserção da 1ª folha	1247,30	8,71
Inserção da 2ª folha	863,24	6,03
Diferença de inserção entre 1ª e 2ª folha	1463,20	10,21

Pela análise de variância (Tabela 22), na concentração 2, foi possível constatar diferenças significativas, pelo teste F a 5% de probabilidade de erro, para todos os caracteres morfológicos, entre as seis cultivares de arroz irrigado submetidas as concentração de 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O.

Observam-se as distâncias de Mahalanobis entre todas cultivares na Tabela 28, onde pode-se observar que as cultivares EPAGRI 107 e BRS Atalanta são as mais próximas geneticamente, com a distância de menor magnitude ($D^2 = 143$), a segunda menor distância foi observada entre as cultivares BR-IRGA 409 e IRGA 417 ($D^2 = 184$). Na mesma tabela ainda pode-se observar que dentre as plantas que se desenvolveram na concentração de 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, a maior distância de Mahalanobis observada foi entre as cultivares BR-IRGA 410 e BRS Querência ($D^2 = 5038$), e a segunda maior foi entre as cultivares IRGA 417 e BRS Querência ($D^2 = 3575$).

Com base na distância de Mahalanobis, observamos que a concentração em questão não discrimina as cultivares tolerantes das sensíveis, pois ao passo que a cultivar BRS Querência (tolerante) se distancia das demais, a cultivar EPAGRI 107 (tolerante) ainda se assemelha com a cultivar BRS Atalanta (mediamente sensível) e com a BR-IRGA 409 ($D^2 = 235$).

Tabela 28. Distância genética entre seis cultivares de arroz irrigado à concentração 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, calculada pelo método das distâncias de Mahalanobis para os caracteres morfológicos na fase de plântula, sob cultivo hidropônico. CGF-FAEM/UFPEI, 2013.

	BR-IRGA 409	BR-IRGA 410	IRGA 417	BRS Atalanta	EPAGRI 107	BRS Querência
BR-IRGA 409	0					
BR-IRGA 410	884	0				
IRGA 417	184	313	0			
BRS Atalanta	435	1873	908	0		
EPAGRI 107	235	1483	668	143	0	
BRS Querência	2707	5038	3575	1074	1804	0

Na Figura 20, pode-se observar o dendrograma, que foi construído utilizando o método UPGMA.

A distância média de Mahalanobis entre as cultivares ($D^2 = 1421,52$), e o agrupamento de Tocher (Tabela 31), foram utilizados como critério para a formação dos grupos. A dissimilaridade média diferiu do agrupamento de Tocher na formação de grupos.

A dissimilaridade média permitiu a formação de dois grupos, sendo o primeiro formado pelas cultivares BR-IRGA 409, IRGA 417, BRS Atalanta, EPAGRI 107 e BR-IRGA 410 o segundo formado exclusivamente pela cultivar BRS Querência.

O agrupamento de Tocher, detectou a formação de três grupos sendo estes: o primeiro composto por BR-IRGA 409, IRGA 417, BRS Atalanta e EPAGRI 107; o segundo grupo isolou a cultivar BR-IRGA 410 e o terceiro grupo foi composto apenas pela cultivar BRS Querência.

Ao analisar o dendrograma formado a partir dos caracteres morfológicos avaliados, é possível observar que as cultivares utilizadas no estudo com o estresse proporcionado pela concentração de 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, alteraram suas respostas em comparação a concentração testemunha, contudo não permitiram a separação de cultivares em sensíveis e tolerantes, mas vale ressaltar que se considerarmos o agrupamento de Tocher para a concentração testemunha cultivar BRS Querência manteve se isolada novamente talvez por ter um nível de tolerância maior que a cultivar EPAGRI 107.

Também é possível notar que houve alta correlação cofenética (0,77) mostrando a consistência da análise de agrupamento em relação à matriz de dissimilaridade.

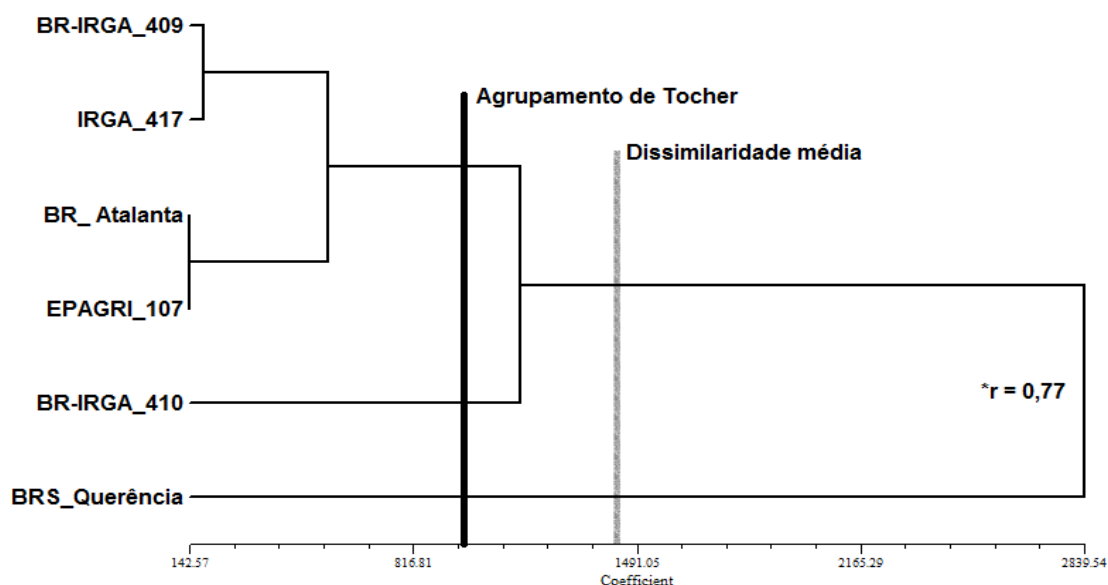


Figura 20. Dendrograma resultante da análise de agrupamento de seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração 400 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, pelo método UPGMA, utilizando a distância de Mahalanobis, obtida a partir da análise de caracteres Morfológicos. *r: correlação cofenética. Pelotas, CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Na concentração de 400 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, as cultivares em estudo apresentaram com as duas primeiras variáveis canônicas explicaram cerca de 96,82% da variação total (Tabela 29).

Com esses resultados foi possível a visualização gráfica bidimensional das cultivares analisadas, utilizando os escores da primeira e da segunda variável canônica, como mostra a Figura 21.

Tabela 29. Escore dos genótipos em relação às duas primeiras variáveis canônicas obtidas na avaliação da dissimilaridade genética, em cultivares de arroz, na concentração 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Genótipos	Variáveis Canônicas	
	1 ^a	2 ^a
BR-IRGA 409	25,19	110,69
BR-IRGA 410	3,73	129,72
IRGA 417	15,31	119,55
BRS Atalanta	44,30	115,29
EPAGRI 107	36,43	109,62
BRS Querência	74,49	127,01
Variância (%)	86,98	9,84
Variância acumulada (%)	86,98	96,82

As importâncias relativas dos caracteres morfológicos, no estudo de diversidade genética de plântulas de arroz submetidas a concentração de 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, estão apresentados na Tabela 30.

Ao analisar os resultados obtidos, e avaliando as últimas variáveis canônicas que representaram menos que 5% da variação total, constata-se que o caráter morfológico recomendado para descarte nas últimas cinco variáveis canônicas foi o DIPSF.

Tabela 30. Importância relativa dos caracteres morfológicos comprimento de raízes (CR), comprimento da parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento do coleótilo (CC), inserção da primeira folha (IPF), inserção da segunda folha (ISF), diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF), das variáveis canônicas em cultivares de arroz submetidas à concentração 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

	CR	CPA	NR	CPF	CSF	CC	IPF	ISF	DIPSF
V1	-1,411	-0,037	0,405	0,185	1,317	0,281	0,152	0,392	0,153
V2	0,323	0,904	-0,563	-1,092	0,795	0,515	-4,217	5,833	-6,126
V3	-0,520	0,751	0,411	0,712	-0,179	0,452	-1,460	1,437	-1,414
V4	0,279	-0,044	-0,064	0,951	0,000	-0,422	10,636	-11,692	14,272
V5	0,082	-0,010	0,363	-0,037	0,010	0,788	-4,522	4,535	-6,056
V6	0,123	-0,283	-0,439	0,110	-0,106	0,464	2,665	-2,062	3,796
V7	-0,311	0,207	0,095	-0,766	-0,115	0,146	-0,005	1,425	-1,851
V8	0,152	0,058	0,457	0,297	0,080	-0,433	-8,528	9,248	-11,546
V9	0,213	-0,237	0,796	-0,230	0,045	-0,337	2,897	-3,236	3,922

A dispersão gráfica das variáveis canônicas permitiu a separação das cultivares em grupos, com base no método de Tocher.

Ao observar a dispersão formada pelas duas primeiras variáveis canônicas, houve a formação de três grupos, sendo o primeiro grupo formado pelas cultivares BR-IRGA 409, IRGA 417, EPAGRI 107 e BRS Atalanta, o segundo foi formado pela cultivar BR-IRGA 410, e o terceiro formado pela cultivar BRS Querência.

Os resultados apresentados pelas variáveis canônicas concordam com o dendrograma, considerando o agrupamento de Tocher como critério para a formação de grupos (Figura 21).

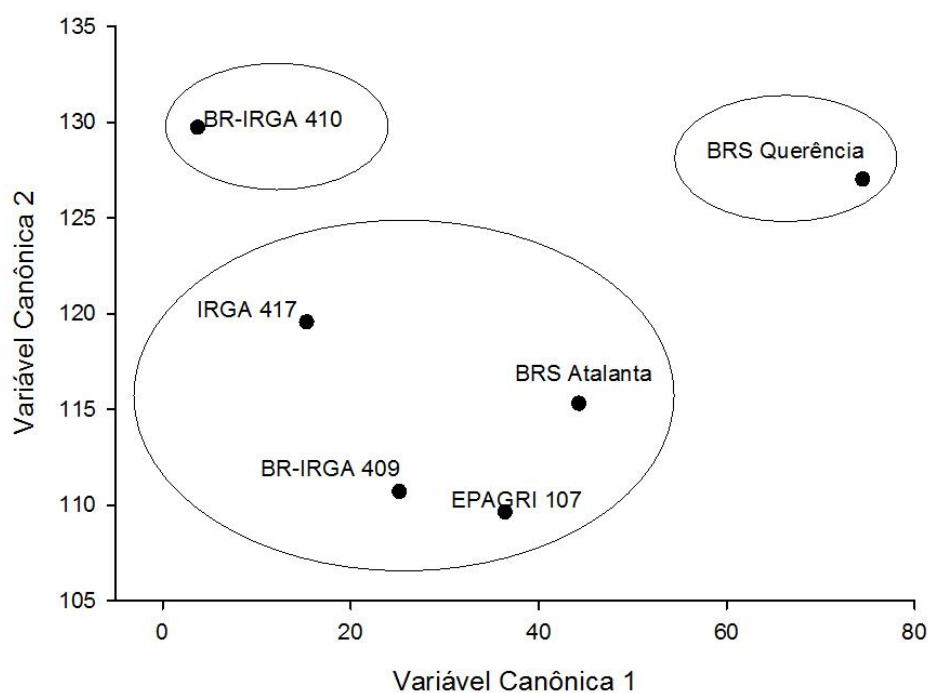


Figura 21. Gráfico de dispersão das seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração 400 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, considerando as duas primeiras variáveis canônicas. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

O método de otimização de Tocher (Tabela 31), permitiu a formação de três grupos, sendo o primeiro formado pelas cultivares sensíveis (IRGA 417 e BR-IRGA 409), moderadamente sensível (BRS Atalanta) e Tolerante (EPAGRI 107), o segundo grupo foi composto apenas pela cultivar BR-IRGA 410, e o terceiro grupo foi formado pela cultivar Querência.

Este método foi utilizado como critério para formação dos grupos no dendrograma (Figura 20) e coincide com a representação gráfica das variáveis canônicas (Figura 21).

Tabela 31. Agrupamento das cultivares de arroz irrigado pelo método de otimização de Tocher, com base nos caracteres morfológicos de plântulas cultivadas na concentração 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Grupos	Genótipos			
1	BRS Atalanta	EPAGRI 107	BR-IRGA 409	IRGA 417
2	BR-IRGA 410			
3	BRS Querência			

Na Tabela 32, podem ser vistas as contribuições relativas das características morfológicas mensuradas em plantas cultivadas sob a concentração de 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, para a verificar a divergência genética entre cultivares. Através desta análise pode-se verificar que o comprimento da segunda folha contribuiu com 43,57% da divergência genética entre as seis cultivares de arroz irrigado. Esta característica morfológica variou 5,6 cm na cultivar BR-IRGA 410 a 3,2 cm na cultivar BRS Querência.

Outro caráter muito importante na dissimilaridade das cultivares foi o comprimento de raízes que representou 31,32%. As cultivares estudadas apresentaram variação para esta característica, sendo que a cultivar que apresentou o maior comprimento de raízes foi a cultivar BRS Querência com 13,5 cm e a cultivar com menor comprimento de raízes foi a IRGA 417 com 7,5 cm.

As duas principais características representam 74,89% de toda a divergência genética, as outras sete características morfológicas juntas representaram 25,11% de contribuição para a dissimilaridade entre as cultivares.

Tabela 32. Contribuição relativa dos caracteres morfológicos para a dissimilaridade entre genótipos de arroz irrigado na concentração 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Variáveis	Contribuição Relativa	
	S.j	VALOR (%)
Comprimento de raízes	7757,43	31,32
Comprimento da parte aérea	1179,78	4,76
Número de raízes	328,37	1,33
Comprimento da primeira folha	627,30	2,53
Comprimento da segunda folha	10793,10	43,57
Comprimento de coleóptilo	200,12	0,81
Inserção da 1ª folha	735,66	2,97
Inserção da 2ª folha	1425,54	5,75
Diferença de inserção entre 1ª e 2ª folha	1724,54	6,96

Na análise de variância (Tabela 22), na concentração 3, detectou-se diferenças significativas entre as seis cultivares de arroz irrigado submetidas as concentração de 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, pelo teste F a 5% de probabilidade de erro, para todos os caracteres morfológicos: comprimento de raízes (CR), comprimento de parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento de coleóptilo (CC), inserção da primeira folha (IPF), inserção da segunda folha (ISF) e diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF).

Na Tabela 33, pode observar a distância genética, com base em caracteres morfológicos de plântulas cultivadas na concentração de 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. Observa-se que nesta condição as cultivares mais similares foram as cultivares BR-IRGA 409 e BR-IRGA 410 ($D^2= 217$), a segunda menor distância ($D^2=478$) foi detectada entre BR-IRGA 409 e IRGA 417.

A maior distância de Mahalanobis foi detectada entre as cultivares IRGA 417 e BRS Atalanta com a $D^2= 3513$. As cultivares IRGA 417 e BRS Querência apresentaram a segunda maior distância com $D^2= 2849$.

Tabela 33. Distância genética entre seis cultivares de arroz irrigado à concentração 800 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, calculada pelo método das distâncias de Mahalanobis para os caracteres morfológicos na fase de plântula, sob cultivo hidropônico. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

	BR-IRGA 409	BR-IRGA 410	IRGA 417	BRS Atalanta	EPAGRI 107	BRS Querência
BR-IRGA 409	0					
BR-IRGA 410	217	0				
IRGA 417	478	563	0			
BRS Atalanta	1826	1848	3513	0		
EPAGRI 107	1274	1270	2373	529	0	
BRS Querência	1890	2360	2849	1619	1122	0

Na Figura 22, está apresentado o dendrograma que foi construído utilizando o método UPGMA. Como um dos critérios para formação dos grupos foi utilizado a distância média de Mahalanobis ($D^2=1581,98$), e com base neste critério houve a formação de dois grupos, sendo o primeiro formado apenas pelas cultivares sensíveis (BR-IRGA 409, BR-IRGA 410 e IRGA 417) e outro grupo foi formado pela cultivar moderadamente sensível e as tolerantes respectivamente (BRS Atalanta, EPAGRI 107, BRS Querência).

O outro método utilizado como critério para a formação de grupos foi o método de otimização de Tocher, o qual gerou três grupos, o primeiro grupo formado pelas cultivares sensíveis (BR-IRGA 409, BR-IRGA 410 e IRGA417), o segundo formado pela cultivar BRS Atalanta e EPAGRI 107, terceiro grupo foi formado exclusivamente pela cultivar BRS Querência. Também nota-se uma alta correlação cofenética (0,80) mostrando uma consistência da análise de agrupamento em relação à matriz de dissimilaridade.

As plantas submetidas à concentração de 800 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, por sete dias, quando avaliados os caracteres morfológicos, não possibilitaram a separação de cultivares em sensíveis, moderadamente sensível e tolerantes. Contudo esta concentração possibilitou o isolamento das três cultivares classificadas como sensíveis. Quando se compara as cultivares mantidas em soluções com menores concentrações de ferro que a concentração de 800 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, não se observa uma clara separação das classes estudadas. O começo da separação das cultivares em classes de sensibilidade possivelmente se deu devido ao aumento de ferro na solução nutritiva. Plantas em condições naturais estão expostas a vários estresses ambientais que

afetam seu metabolismo (BENITEZ, 2010), condição semelhante aos ensaios de campos em que as cultivares foram classificadas.

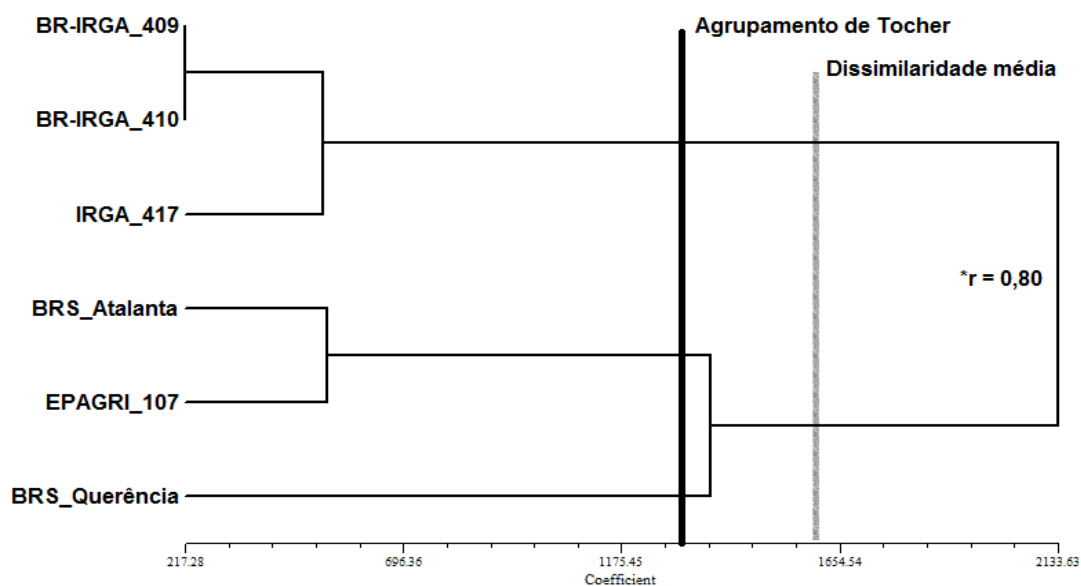


Figura 22. Dendrograma resultante da análise de agrupamento de seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração 800 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, pelo método UPGMA, utilizando a distância de Mahalanobis, obtida a partir da análise de caracteres Morfológicos. *r: correlação cofenética. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.

Para que a variabilidade manifestada pelas cultivares seja bem interpretada é necessário que as duas primeiras variáveis canônicas permitam uma estimativa de no mínimo 80%.

As plantas submetidas ao estresse proporcionado pela concentração de 800 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, com as duas primeiras variáveis canônicas, explicaram cerca de 90,10% da variação total (Tabela 34). Com esse resultado é possível interpretar com fidelidade da variação total contida no conjunto de caracteres (CRUZ ; CARNEIRO, 2006).

Com os resultados obtidos foi possível a visualização gráfica bidimensional das cultivares analisadas, utilizando os escores da primeira e da segunda variável canônica, como mostra a Figura 23.

Tabela 34. Escore dos genótipos em relação às duas primeiras variáveis canônicas obtidas na avaliação da dissimilaridade genética, em cultivares de arroz, na concentração 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Genótipos	Variáveis Canônicas	
	1 ^a	2 ^a
BR-IRGA 409	205,77	134,42
BR-IRGA 410	207,18	127,52
IRGA 417	221,12	141,72
BRS Atalanta	166,32	121,12
EPAGRI 107	175,20	130,54
BRS Querência	171,95	160,43
Variância (%)	65,95	24,15
Variância acumulada (%)	65,95	90,10

Na Tabela 35, estão apresentadas as contribuições relativas de cada característica morfológica, mensuradas em plantas submetidas ao estresse por ferro (800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O), para cada variável canônica.

As últimas variáveis são as variáveis com menor variabilidade ou que estão correlacionadas com outras consideradas (CRUZ; CARNEIRO, 2006). Neste sentido ao analisar as últimas variáveis representaram menos que 10% da variação total, os caracteres morfológicos que pouco contribuíram para a discriminação das cultivares e desta forma sendo sugerido para descarte em estudos posteriores foram o IPF, DIPSF, CPF, CC e ISF.

Tabela 35. Importância relativa dos caracteres morfológicos comprimento de raízes (CR), comprimento da parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento do coleóptilo (CC), inserção da primeira folha (IPF), inserção da segunda folha (ISF), diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF), das variáveis canônicas em cultivares de arroz submetidas à concentração 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

	CR	CPA	NR	CPF	CSF	CC	IPF	ISF	DIPSF
V1	0,586	0,969	0,443	-0,192	-0,404	0,457	0,045	0,454	0,441
V2	-0,258	0,250	1,125	-0,249	1,229	-0,535	-0,175	0,800	-0,808
V3	1,003	-0,368	0,255	-0,049	0,093	0,353	-0,317	-0,046	0,160
V4	-0,092	-0,384	0,367	-0,388	-0,209	0,357	-0,397	0,627	0,626
V5	-0,267	-0,197	0,366	0,409	-0,586	-0,545	0,580	-0,755	-0,175
V6	-0,006	-0,008	-0,053	-0,218	-0,061	1,049	0,030	-0,158	0,033
V7	-0,181	0,125	-0,206	1,046	-0,208	0,099	-0,025	-0,011	0,194
V8	-0,028	0,142	-0,323	0,496	-0,042	0,825	0,104	-0,513	1,326
V9	-0,331	0,057	0,026	0,097	-0,070	-0,272	1,050	0,400	-0,086

Na representação gráfica das duas primeiras variáveis canônicas (Figura 23), observa-se a formação de três grupos. Os resultados concordam com o dendrograma considerando o ponto de corte definido pelo agrupamento de Tocher (Tabela 36), mas considerar a dissimilaridade média os dados concordam parcialmente, pois com este método houve a formação de dois grupos.

O primeiro grupo foi formado apenas pelas cultivares sensíveis (BR-IRGA 409, BR-IRGA 410 e IRGA417) o segundo grupo foi formado pelas cultivares BRS Atalanta e EPAGRI 107, o terceiro grupo foi formado exclusivamente pela cultivar BRS Querência.

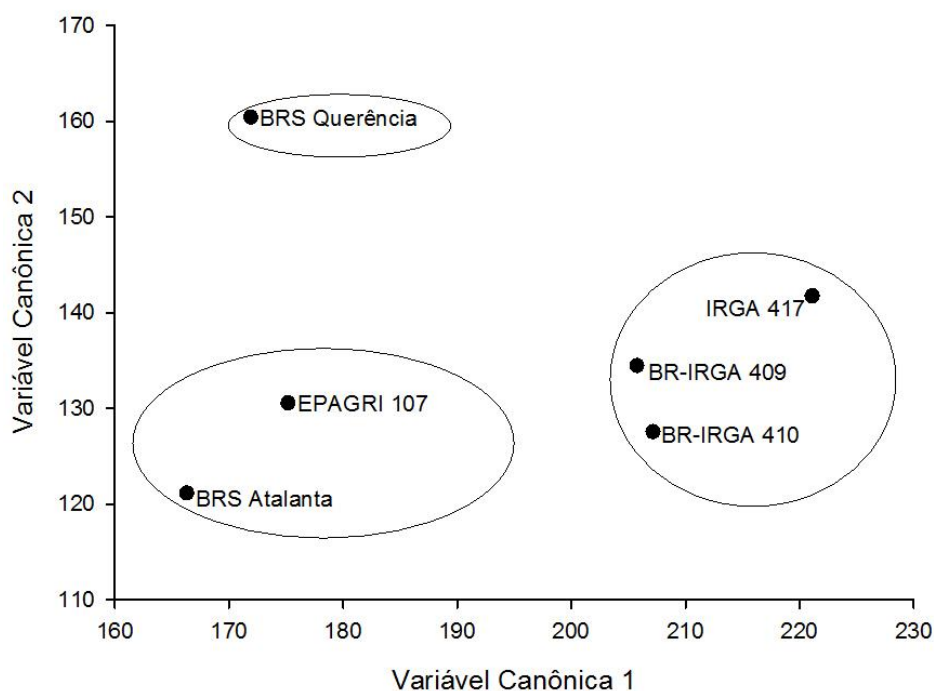


Figura 23. Gráfico de dispersão das seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração 800 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, considerando as duas primeiras variáveis canônicas. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.

Na Tabela 36, observa-se a análise de Tocher onde nota-se a formação de três grupos, sendo o primeiro formado pelas cultivares sensíveis, o segundo reuniu a cultivar moderadamente sensível e a cultivar tolerante e o ultimo grupo foi formado exclusivamente pela cultivar BRS Querência (tolerante).

Tabela 36. Agrupamento das cultivares de arroz irrigado pelo método de otimização de Tocher, com base nos caracteres morfológicos de plântulas cultivadas na concentração 800 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.

Grupos	Genótipos		
1	BR-IRGA 409	BR-IRGA 410	IRGA 417
2	BRS Atalanta	EPAGRI 107	
3	BRS Querência		

Ao analisar a contribuição relativa dos caracteres morfológicos para a dissimilaridade das cultivares (Tabela 37), nota-se que para as plantas cultivadas na concentração de $800 \text{ mg L}^{-1} \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, o caráter de maior contribuição foi o comprimento da parte aérea a qual contribuiu com 40,62%.

Para este caráter houve uma variação nas médias de 31,9 a 25,6 cm, sendo a cultivar que apresentou maior média para o caráter foi a IRGA 417 e a de menor média foi a EPAGRI 107.

O segundo caráter foi o comprimento da segunda folha com uma contribuição de 21,84%. Nesta característica morfológica observamos que a cultivar com maior média foi a BRS Querência (14,1cm) e a cultivar com menor média foi BR-IRGA 490 (7,0 cm).

O terceiro caráter, que também apresentou alta contribuição, foi o número de raízes, com contribuição relativa de 19,72%. Ao se observar as médias nota-se que a cultivar IRGA 417 (17 raízes) apresentou a maior média e a menor foi observada na cultivar BRS Atalanta (10 raízes).

Os resultados obtidos pela importância dos caracteres para as variáveis canônicas (Tabela 35), concordam com a contribuição relativa dos caracteres, pois os caracteres sugeridos para descarte também foram os que apresentaram menor contribuição.

Tabela 37. Contribuição relativa dos caracteres morfológicos para a dissimilaridade entre genótipos de arroz irrigado na concentração 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Variáveis	Contribuição Relativa	
	S.j	VALOR (%)
Comprimento de raízes	3116,79	12,87
Comprimento da parte aérea	9833,57	40,62
Número de raízes	4774,33	19,72
Comprimento da primeira folha	25,27	0,10
Comprimento da segunda folha	5288,17	21,84
Comprimento de coleóptilo	192,13	0,80
Inserção da 1ª folha	47,38	0,20
Inserção da 2ª folha	550,81	2,28
Diferença de inserção entre 1ª e 2ª folha	380,29	1,57

Através da análise de variância (Tabela 22), na concentração 4, constatou-se diferenças significativas entre as seis cultivares de arroz irrigado submetidas à concentração de 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, pelo teste F a 5% de probabilidade de erro, para apenas seis dos nove caracteres morfológicos estudados. As análises multivariadas foram realizadas com os caracteres significativos: comprimento de raízes (CR), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento de coleóptilo (CC), inserção da primeira folha (IPF), inserção da segunda folha.

Pode-se observar as distâncias de Mahalanobis entre todas cultivares de arroz submetidas ao estresse por ferro ($1200 \text{ mg L}^{-1} \text{ FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), na Tabela 38, onde as cultivares BRS Querência e BR-IRGA 409 se mostraram as mais distantes geneticamente, com a distância de maior magnitude ($D^2 = 60671$), a segunda maior distância foi observada entre as cultivares BRS Querência e a IRGA 417 com magnitude de $D^2 = 49440$.

Na mesma tabela é possível observar as cultivares mais próximas geneticamente entre si são a BR-IRGA 410 e a IRGA 417, com a menor magnitude ($D^2 = 452$).

Tabela 38. Distância genética entre seis cultivares de arroz irrigado à concentração 1200 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, calculada pelo método das distâncias de Mahalanobis para os caracteres morfológicos na fase de plântula, sob cultivo hidropônico. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

	BR-IRGA 409	BR-IRGA 410	IRGA 417	BRS Atalanta	EPAGRI 107	BRS Querência
BR-IRGA 409	0					
BR-IRGA 410	2271	0				
IRGA 417	814	452	0			
BRS Atalanta	6058	1326	2947	0		
EPAGRI 107	28210	14870	20046	8365	0	
BRS Querência	60671	41267	49440	28501	7649	0

Ao observar o dendrograma (Figura 24), que foi gerado através o método UPGMA. Para essa análise foram utilizados dois critério para a formação dos grupos: sendo um a dissimilaridade média ($D^2 = 18192,51$) e o outro agrupamento de Tocher (Tabela 41), ambos apresentaram o mesmo resultado, onde nota-se a formação de dois grupos. No dendrograma é possível notar que houve alta correlação cofenética (0,76) mostrando que há consistência da análise de agrupamento em relação à matriz de dissimilaridade.

O primeiro grupo reuniu as cultivares BR-IRGA 409, BR-IRGA 410, IRGA 417 e BRS Atalanta, lembrando que as três primeiras cultivares são consideradas sensíveis ao estresse por ferro e a última cultivar considerada mediantemente sensível.

O segundo grupo foi composto apenas pelas cultivares EPAGRI 107 e BRS Querência, estas cultivares são caracterizadas com tolerantes em testes de campo.

Assim sendo a concentração de 1200 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, não distinguiu a cultivar medianamente sensível das sensíveis, mas isolou as tolerantes das demais. Este resultado é de suma importância, pois auxiliará em estudos futuros, como uma estratégia para selecionar cultivares quanto a sensibilidade ao ferro a nível de plântula, sob cultivo hidropônico para facilitar a seleção assistida para este estresse que é a principal causa da redução da produtividade do arroz irrigado no sul do país.

Um estudo prévio relata que identificação e a seleção de genótipos tolerantes trarão vantagens, independentemente do grau de tecnologia utilizado (FERREIRA; CRUZ; FAGERIA, 1997).

A concentração de 20 mg de Fe foi previamente sugerida como ideal para estudos genéticos em arroz, contudo o Fe suprido foi de fonte diferente da utilizada, além disso os genótipos utilizados eram diferentes e consequentemente respondem de forma diferenciada (FERREIRA; CRUZ; FAGERIA, 1997). No presente trabalho a concentração de 1200 mg L^{-1} $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$, que corresponde a 241,05 mg de Fe, foi a única concentração capaz de separar cultivares sensíveis de tolerantes, concentrações inferiores apenas detectava a existência de variabilidade.

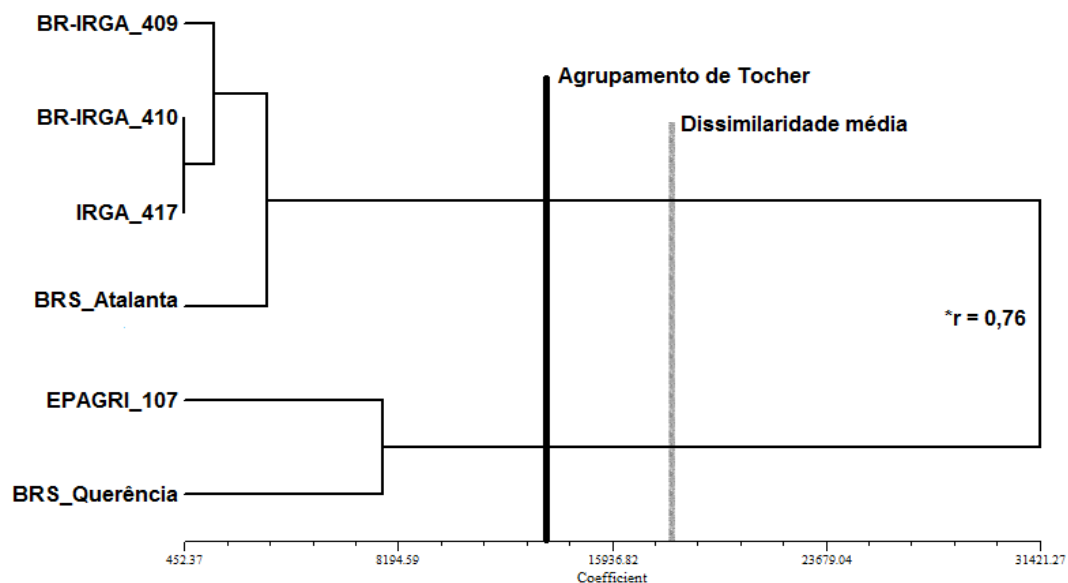


Figura 24. Dendrograma resultante da análise de agrupamento de seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração 1200 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, pelo método UPGMA, utilizando a distância de Mahalanobis, obtida a partir da análise de caracteres Morfológicos. *R:Correlação cofenética. CGF-FAEM/UFPEl, 2013.

Variáveis canônicas são resultados de uma série de transformações ortogonais, maximizando a razão entre as variâncias entre grupos (PERREIRA; CRUZ, 2003).

As plantas cultivadas na concentração de 1200 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, com as duas primeiras variáveis canônicas explicaram cerca de 99,76 % da variação total (Tabela 39).

Com os resultados obtidos foi possível a visualização gráfica bidimensional das cultivares analisadas, utilizando os escores da primeira e da segunda variável canônica, como vista na Figura 25.

Tabela 39. Escore dos genótipos em relação às duas primeiras variáveis canônicas obtidas na avaliação da dissimilaridade genética, em cultivares de arroz, na concentração 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPEl, 2013.

Genótipos	Variáveis Canônicas	
	1 ^a	2 ^a
BR-IRGA 409	-78,08	12,25
BR-IRGA 410	-93,02	23,15
IRGA 417	-87,63	22,02
BRS Atalanta	-117,49	14,58
EPAGRI 107	-154,75	32,75
BRS Querência	-211,22	12,99
Variância (%)	97,40	2,36
Variância acumulada (%)	97,40	99,76

Ainda analisando a importância dos caracteres morfológicos de plântulas submetidas à concentração de 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, para as variáveis canônicas na Tabela 40.

Analisando as últimas variáveis canônicas com pequena variabilidade ou que estão correlacionadas com outras considerada no estudo, nota-se elas representaram menos que 2% da variação total, conclui-se que os caracteres morfológicos sugeridos para descarte para estudos futuros foram CC, IPF e CPA; por estes não apresentarem baixa contribuição no estudo de variabilidade.

Tabela 40. Importância relativa dos caracteres morfológicos comprimento de raízes (CR), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento do coleóptilo (CC), inserção da primeira folha (IPF), das variáveis canônicas em cultivares de arroz submetidas à concentração 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPEl, 2013.

	CR	CPA	CPF	CSF	CC	IPF
V1	-1,234	1,795	-1,571	-2,436	1,647	1,369
V2	1,272	-0,730	0,094	-0,130	0,363	0,459
V3	0,028	0,441	-0,991	0,034	0,519	1,022
V4	0,052	1,039	0,562	-0,020	0,664	-0,594
V5	-0,180	-0,292	0,409	-0,121	0,441	0,515
V6	-0,075	0,063	0,278	-0,021	-0,747	0,349

Através da representação gráfica das duas primeiras variáveis canônicas (Figura 25), foi possível notar a tendência de formação de dois grupos, que concorda com o dendrograma (Figura 24).

Primeiro grupo foi composto pelas cultivares sensíveis (BR-IRGA 409, BR-IRGA 410, IRGA 417), e pela cultivar mediantemente sensível (BRS Atalanta).

O segundo grupo foi composto apenas pelas cultivares tolerantes, indicando que esta concentração foi a mais adequada para discriminar as cultivares.

A análise das variáveis canônicas permitiu a visualização das diferenças entre as cultivares, pela redução da dimensão do conjunto de dados, preservando a maior parte das informações biológicas. Nesta concentração a análise das variáveis canônicas possibilitou a separação das cultivares tolerantes das demais cultivares.

As variáveis canônicas vem sendo utilizadas com várias finalidades como caracterização da coleção de germoplasma (PERREIRA; CRUZ, 2003), avaliação da divergência genética, quanto à tolerância ao sal (BENITEZ, 2011), para estudar os índices de variáveis canônicas em genótipos de aveia preta para determinação dos autovalores, formação de grupos e importância dos caracteres (KAVALCO et al., 2013). No presente estudo as variáveis canônicas, foram utilizadas como ferramenta para selecionar uma concentração capaz de discriminar cultivares sensíveis de tolerantes, a nível de plântula, sob cultivo hidropônico, para facilitar a seleção assistida para o estresse proporcionado pelo ferro.

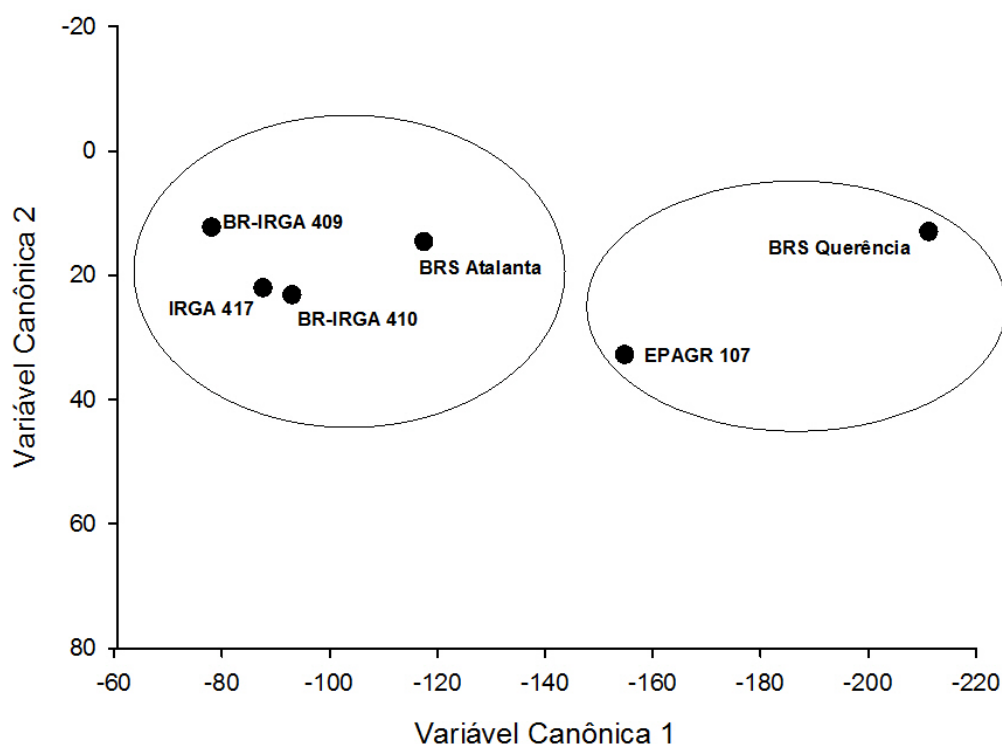


Figura 25. Gráfico de dispersão das seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração 1200 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, considerando as duas primeiras variáveis canônicas. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.

Na Tabela 41, estão apresentados os resultados do agrupamento das cultivares pelo método de otimização de Tocher, o qual reuniu as cultivares mais homogêneas.

Houve a formação de dois grupos onde o primeiro reúne as cultivares sensíveis e a cultivar mediantemente sensível (BRS Atalanta), e o outro reuniu apenas as cultivares tolerantes, este método de agrupamento detecta diferenças entres os grupos.

Resultado semelhante foi observado no dendrograma (Figura 24), e na representação gráfica das variáveis canônicas (Figura 25).

Tabela 41. Agrupamento das cultivares de arroz irrigado pelo método de otimização de Tocher, com base nos caracteres morfológicos de plântulas cultivadas na concentração 1200 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.

Grupos	Genótipos			
1	BR-IRGA 410	IRGA 417	BR-IRGA 409	BRS Atalanta
2	EPAGR 107	BRS Querência		

Na Tabela 42, estão apresentadas as contribuições relativas (SINGH 1981). Onde nota-se que o comprimento da segunda folha contribuiu para a dissimilaridade genética observada com 81,67%. Para este caráter nota-se uma grande variação entre as cultivares, pois em média a cultivar BR-IRGA 409 apresentou comprimento de segunda folha de 6,4 cm e a cultivar que apresentou maior média para o caráter foi a BRS Querência com 14,9 cm.

Os outros cinco caracteres juntos apresentaram apenas 18,33% de contribuição para a diferenciação das cultivares quanto a tolerância ou sensibilidade ao estresse por ferro.

Sendo assim, a variável que mais contribuiu para a dissimilaridade das cultivares estudadas, e na concentração em questão foi o comprimento da segunda folha.

Os resultados obtidos pela contribuição relativa dos caracteres morfológicos (SINGH 1981), concordam com os resultados encontrados pela importância dos caracteres morfológicos para as variáveis canônicas na Tabela 40, pois os caracteres sugeridos para descarte foram de fato os com menor contribuição.

Tabela 42. Contribuição relativa dos caracteres morfológicos para a dissimilaridade entre genótipos de arroz irrigado na concentração 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. Pelotas, RS. 2013.

Variáveis	Contribuição Relativa	
	S.j	VALOR (%)
Comprimento de raízes	2742,50	3,00
Comprimento da parte aérea	2144,85	2,35
Comprimento da primeira folha	6154,78	6,73
Comprimento da segunda folha	74653,63	81,67
Comprimento de coleóptilo	2507,65	2,74
Inserção da 1ª folha	3201,54	3,50

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste experimento, as plantas ficaram expostas ao estresse por 7 dias, para as análises discriminantes utilizou os caracteres morfológicos mensurados nas plantas mantidas na concentração de 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, a qual possibilitou a discriminação das cultivares em sensibilidade e tolerante ao ferro.

As outras concentrações empregadas no estudo não foram eficientes para discriminar as cultivares quanto a toxidez por ferro.

EXPERIMENTO 2

Através da análise de variância (Tabela 43), na concentração 1, constataram-se diferenças significativas entre as seis cultivares de arroz irrigado, previamente classificadas quanto a sensibilidade a toxidez por ferro em testes a campo, pelo teste F a 5% de probabilidade de erro, para todos os caracteres morfológicos estudados.

Na Tabela 43, ao analisar a concentração 1, é possível observar que os valores de coeficiente de variação (CV), para a maioria dos caracteres tiveram valores baixos, apenas os caracteres CPF e CC apresentaram médios valores de CV (PIMENTEL GOMES, 1985).

Tabela 43. Resumo da análise de variância para os caracteres comprimento de raízes (CR), comprimento da parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), inserção da primeira folha (IPF) inserção da segunda folha (ISF), diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF), em cultivares de arroz, submetidas a quatro níveis de estresse por ferro, em solução nutritiva. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

FV		Quadrado médio									
		GL	CR	CPA	NR	CPF	CSF	CC	IPF	ISF	DIPSF
Conc. 1	Cultivar	5	30,41*	66,92*	6,12*	0,59*	4,43*	0,15*	0,32*	0,80*	0,71*
	Resíduo	12	0,03	0,27	1,93	0,04	0,03	0,03	0,06	0,10	0,10
	Médias		7,1	31,6	17,3	1,7	9,1	1,3	3,6	7	3,5
	CV (%)	-	2,4	1,6	8,0	11,2	2,0	13,1	7,0	4,6	8,9
FV		Quadrado médio									
		GL	CR	CPA	NR	CPF	CSF	CC	IPF	ISF	DIPSF
Conc. 2	Cultivar	5	10,06*	57,61*	2,75*	0,43*	7,82*	0,09*	0,40*	1,13*	1,93*
	Resíduo	12	0,07	0,21	0,60	0,04	0,03	0,01	0,10	0,07	0,27
	Médias		5,3	30,8	16,6	1,9	8,8	1,4	3,8	7,1	3,3
	CV (%)	-	4,9	1,5	4,7	10,8	2,0	6,8	8,3	3,8	15,8
FV		Quadrado médio									
		GL	CR	CPA	NR	CPF	CSF	CC	IPF	ISF	DIPSF
Conc. 3	Cultivar	5	2,06*	29,37*	4,59 ^{ns}	0,62*	13,46*	0,19*	0,45*	0,93*	1,78*
	Resíduo	12	0,06	0,28	2,54	0,03	0,01	0,01	0,07	0,08	0,08
	Médias		4,3	29,6	16,7	1,8	8,6	1,4	3,7	6,8	3,2
	CV (%)	-	5,6	1,8	9,6	10,2	1,4	7,1	7,3	4,1	8,7
FV		Quadrado médio									
		GL	CR	CPA	NR	CPF	CSF	CC	IPF	ISF	DIPSF
Conc. 4	Cultivar	5	5,01*	24,11*	11,81*	15,37*	21,79*	0,14*	0,10*	1,31*	1,26*
	Resíduo	12	0,03	0,05	0,16	2,60	0,03	0,01	0,03	0,04	0,07
	Médias		4,4	29,1	15,4	1,7	8,1	1,3	3,5	7,2	3,7
	CV (%)	-	4,2	0,8	2,6	9,3	2,0	9,0	4,6	2,6	7,0

Concentração 1 (solução nutritiva), Concentração 2 (solução nutritiva + 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7 H₂O), Concentração 3 (solução nutritiva + 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7 H₂O) e Concentração 4 (solução nutritiva + 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7 H₂O). ** * significativo a 1 e 5% de probabilidade de erro. ^{ns} não significativo a e 5% de probabilidade de erro.

A distância de Mahalanobis entre todos os pares de cultivares (Tabela 44), obtida através da mensuração de caracteres de plantas cultivada na condição sem estresse. Observa-se que as cultivares BR-IRGA 410 e a IRGA 417, são os mais similares, com a distância de menor magnitude ($D^2 = 827$), a segunda menor distância foi detectada entre a cultivar BR-IRGA 409 e cultivar IRGA 417.

A maior distância de Mahalanobis observada foi entre as cultivares BR-IRGA 410 e BRS Querência ($D^2 = 19.530$) e a segunda maior foi entre as cultivares BR-IRGA 417 e BRS Querência ($D^2 = 16.550$).

Tabela 44. Distância genética entre seis cultivares de arroz irrigado à concentração testemunha, calculada pelo método das distâncias de Mahalanobis para os caracteres morfológicos na fase de plântula, sob cultivo hidropônico. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.

	BR-IRGA 409	BR-IRGA 410	IRGA 417	BRS Atalanta	EPAGRI 107	BRS Querência
BR-IRGA 409	0					
BR-IRGA 410	1606	0				
IRGA 417	1127	827	0			
BRS Atalanta	6727	13892	12812	0		
EPAGRI 107	2887	8550	5722	3833	0	
BRS Querência	10308	19530	16550	1246	4108	0

O dendrograma é um métodos hierárquicos, as cultivares são agrupados por um processo que se repete em vários níveis, sendo estabelecido um dendrograma, sem preocupação com o número ótimo de grupos (BERTAN et al., 2006).

O dendrograma (Figura 26) foi construído utilizando o método UPGMA. Como critério de separação dos grupos foram utilizados dois métodos.

O primeiro método utilizado foi à dissimilaridade média (7314,95), que possibilitou a formação de dois grupos sendo o primeiro BR-IRGA 409, BR-IRGA 410 e IRGA 417 e o segundo grupo formado pelas cultivares BRS Atalanta, BRS Querência e EPAGRI 107.

O segundo método utilizado como critério para a formação de grupos foi o método de Tocher, este por sua vez possibilitou a formação de três grupos o primeiro grupo formado pelas três cultivares sensíveis (BR-IRGA 409, BR-IRGA 410 E IRGA 417), o segundo grupo reuniu as cultivares tolerante (BRS Querência) e mediantemente sensível (BRS Atalanta). O terceiro grupo isolou a cultivar EPAGRI 107 (Tolerante).

Os resultados indicaram que há variabilidade entre as cultivares de arroz, mas que em cultivo hidropônico sem o estresse não é possível separar cultivares sensíveis das tolerantes.

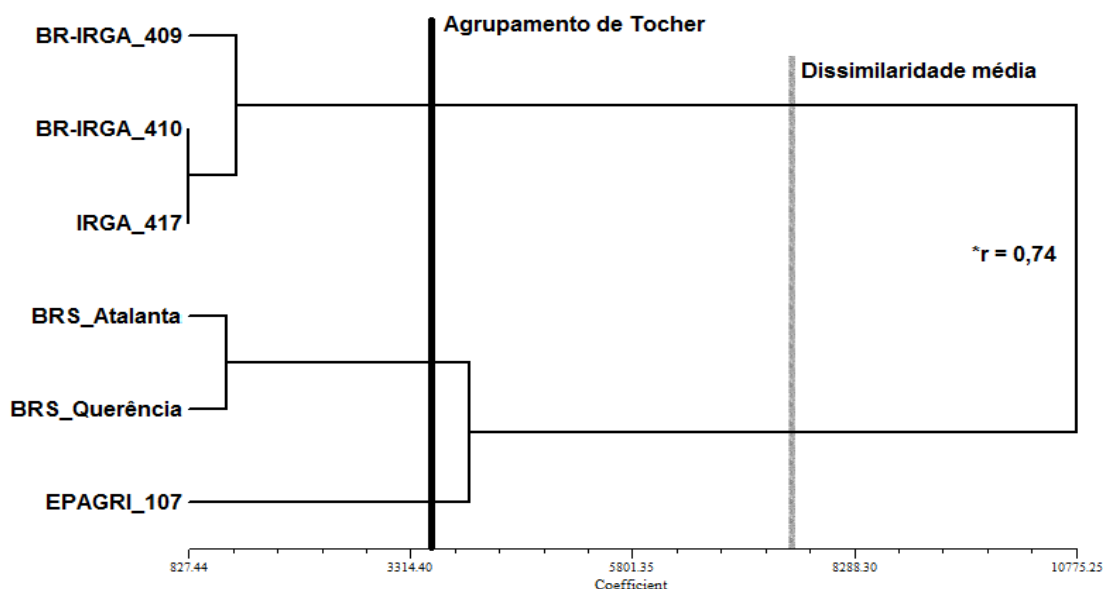


Figura 26. Dendrograma resultante da análise de agrupamento de seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração testemunha, pelo método UPGMA, utilizando a distância de Mahalanobis, obtida a partir da análise de caracteres Morfológicos. *r: correlação cofenética. CGF-FAEM/UFPEl, 2013.

A variável canônica é uma análise multivariada com a finalidade de discriminar grupos através de um conjunto de característica, com esta finalidade foi feita a análise das cultivares estudadas em condições normais de cultivo hidropônico (sem estresse) e nestas condições as duas primeiras variáveis canônicas explicaram cerca de 98,58% da variação (Tabela 45). As duas variáveis cumprem o pré-requisito para uma interpretação satisfatória da variabilidade manifestada nas cultivares (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

Com esses resultados foi possível a visualização gráfica bidimensional das cultivares estudadas, utilizando os escores da primeira e da segunda variável canônica, como mostra a Figura 27.

Tabela 45. Escore dos genótipos em relação às duas primeiras variáveis canônicas obtidas na avaliação da dissimilaridade genética, em cultivares de arroz, na concentração testemunha. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Cultivares	Variáveis Canônicas	
	1 ^a	2 ^a
BR-IRGA 409	-1,52	88,92
BR-IRGA 410	-39,35	100,85
IRGA 417	-29,50	75,57
BRS Atalanta	78,18	108,25
EPAGRI 107	42,24	58,03
BRS Querência	98,91	82,81
Variância (%)	89,69	8,89
Variância acumulada (%)	89,69	98,58

Ainda com base na análise de variáveis canônicas foi estudada a importância relativa dos caracteres morfológicos de cada uma das variáveis canônicas (Tabela 46).

As últimas variáveis canônicas que representaram menos que 5% da variação total, partindo desta informação foram selecionado os caracteres morfológicos IPF, DIPSF, CC e ISF, que menos contribuíram, sendo sugeridos para descarte em estudos futuros.

Tabela 46. Importância relativa dos caracteres morfológicos comprimento de raízes (CR), comprimento da parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento do coleóptilo (CC), inserção da primeira folha (IPF) inserção da segunda folha (ISF), diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF), das variáveis canônicas em cultivares de arroz submetidas à concentração testemunha. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

	CR	CPA	NR	CPF	CSF	CC	IPF	ISF	DIPSF
V1	-2.491	-0.034	-2.326	-4.011	2.590	-0.187	11.018	-11.900	15.184
V2	1.282	-1.394	-2.340	-2.597	2.093	-1.148	5.055	-3.906	7.706
V3	-0.428	1.394	0.581	0.645	0.420	0.807	0.287	0.014	-1.492
V4	0.535	-0.651	-0.132	1.277	0.469	0.281	-1.590	1.658	-2.304
V5	-0.200	0.262	0.794	0.160	-0.163	-0.624	-0.926	1.275	-0.933
V6	0.039	-0.073	0.507	0.115	0.130	0.286	0.510	-1.516	1.000
V7	-0.065	-0.022	0.203	-0.518	-0.159	0.636	0.031	0.182	0.447
V8	-0.097	0.268	-0.361	0.347	-0.256	-0.151	1.022	-0.669	1.286
V9	-0.158	0.316	-0.389	0.067	-0.036	-0.017	-0.583	-0.106	0.284

A representação gráfica das variáveis canônicas na Figura 27, indica a formação de três grupos, os quais foram delimitados pelo agrupamento de Tocher

(Tabela 47). O primeiro grupo foi formado pelas cultivares sensíveis (BR-IRGA 409, BR-IRGA 410, IRGA 417), o segundo grupo reuniu a cultivar BRS Atalanta e EPAGRI 107, e o terceiro grupo isolou a cultivar BRS Querência, resultado semelhantes foram observados no dendrograma (Figura 26), se considerar a formação de grupos pelo critério de agrupamento de Tocher.

Com base nos resultados apresentados pela análise das variáveis canônicas não foi possível separar cultivares quanto a classificação de sensibilidade a toxidez por ferro, em cultivo hidropônico sem estresse.

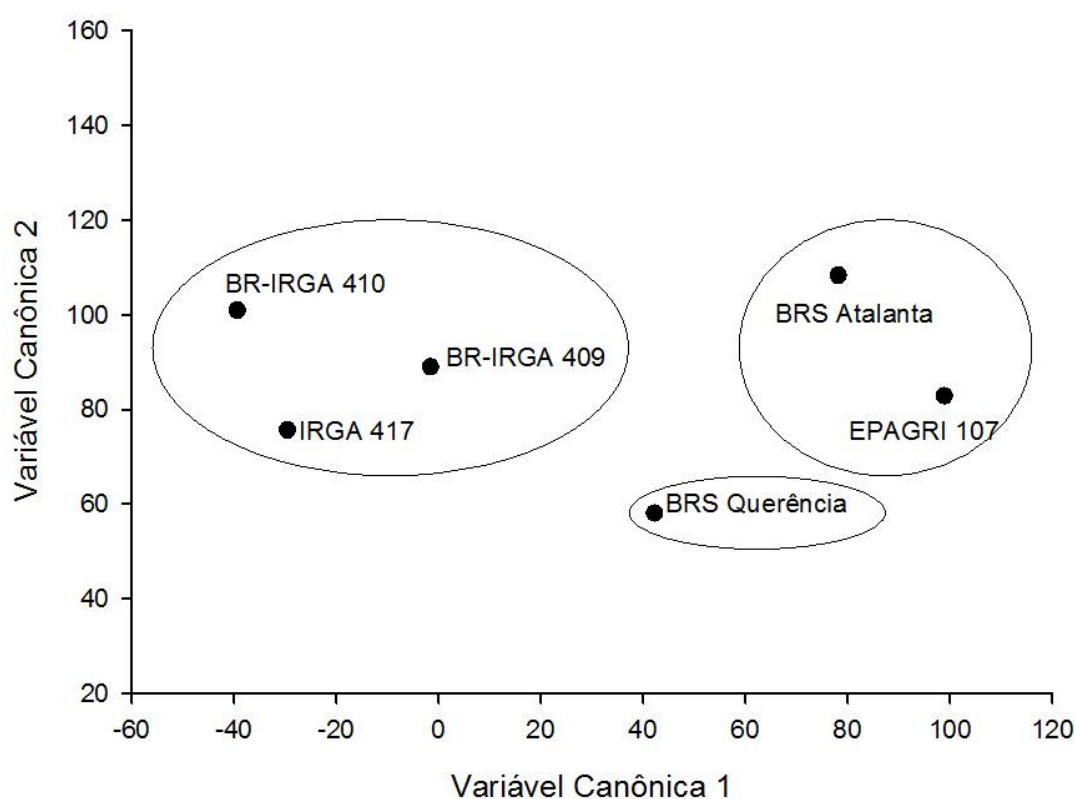


Figura 27. Gráfico de dispersão das seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração testemunha, considerando as duas primeiras variáveis canônicas. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.

Na Tabela 47, podem ser vistos os resultados do agrupamento de Tocher, que tem por finalidade separar grupos com base na análise de um conjunto de características inerentes a cada indivíduo.

O método de otimização de Tocher é um método de agrupamento que se baseia na formação de grupos cujas distâncias dentro dos grupos sejam menores que as distâncias entre grupos (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

Ao analisar as plantas cultivadas na concentração testemunha, observa-se a formação de três grupos (Tabela 47). O primeiro grupo foi formado pelas três cultivares sensíveis (BR-IRGA 409, BR-IRGA 410 e IRGA 417) e segundo grupo reuniu as cultivares mediantemente sensível (BRS Atalanta) e tolerante (BRS Querência) o último grupo isolou a cultivar tolerante EPAGRI 107.

Tabela 47. Agrupamento das cultivares de arroz irrigado pelo método de otimização de Tocher, com base nos caracteres morfológicos de plântulas cultivadas na concentração testemunha. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Grupos	Cultivares		
1	BR-IRGA 410	IRGA 417	BR-IRGA 409
2	BRS Atalanta	BRS Querência	
3	EPAGRI 1;07		

A contribuição relativa dos caracteres pode ser observado na Tabela 48, onde observa-se que o comprimento de raízes apresentou maior contribuição (43,98%), para a discriminação das cultivares. Sendo que as cultivares apresentaram variação de 7,9 cm, onde a cultivar BR-IRGA 410, apresentou média de comprimento de raízes de 11,2 cm, enquanto a cultivar BRS Querência apresentou a menor média (3,3 cm).

A segunda variável em contribuição relativa foi o comprimento da segunda folha que apresentou 15,30% da variação entre as cultivares.

As variáveis comprimento de raízes e comprimento da segunda representaram 59,28%, da variação, mostrando-se importantes para discriminação de cultivares. As outras seis variáveis apresentaram 40,72% de toda variação entre as cultivares.

Tabela 48. Contribuição relativa dos caracteres morfológicos para a dissimilaridade entre genótipos de arroz irrigado na concentração testemunha. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.

Variáveis	Contribuição Relativa	
	S.j	VALOR (%)
Comprimento de raízes	79706,74	43,98
Comprimento da parte aérea	1065,34	0,59
Número de raízes	2275,81	1,26
Comprimento da primeira folha	12009,23	6,63
Comprimento da segunda folha	27733,35	15,30
Comprimento de coleóptilo	460,93	0,25
Inserção da 1ª folha	18236,15	10,06
Inserção da 2ª folha	22676,80	12,51
Diferença de inserção entre 1ª e 2ª folha	17062,69	9,42

Ao analisar a Tabela 43, na concentração 2, que corresponde a 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, detectou-se diferença significativa a 5% de probabilidade de erro pelo teste F, para todos os caracteres morfológicos, sendo todos utilizados para as análises seguintes.

Na Tabela 49, observa-se a distância genética entre todos os pares das seis cultivares de arroz irrigado, em regime hidropônico, submetidas a concentração de 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O por 14 dias.

Nota-se que as cultivares mais próximas geneticamente nestas condições foram EPAGRI 107 e BRS Atalanta com D²= 89 e a segunda menor distância foi detectada entre as cultivares IRGA 417 e BR-IRGA 410 (D²=172).

A maior distância genética foi detectada entre a cultivar IRGA 417 e BRS Atalanta (D²= 1405) e o segundo par de cultivar mais distantes entre si foram as cultivares BRS Querência e IRGA 417 (D²=1226).

Tabela 49. Distância genética entre seis cultivares de arroz irrigado à concentração 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, calculada pelo método das distâncias de Mahalanobis para os caracteres morfológicos na fase de plântula, sob cultivo hidropônico. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.

	BR-IRGA 409	BR-IRGA 410	IRGA 417	BRS Atalanta	EPAGRI 107	BRS Querência
BR-IRGA 409	0					
BR-IRGA 410	444	0				
IRGA 417	422	172	0			
BRS Atalanta	521	895	1405	0		
EPAGRI 107	516	690	1139	89	0	
BRS Querência	1164	861	1226	857	430	0

O dendrograma foi gerado pelo método UPGMA (Figura 28), e como critério de separação de grupos foram utilizados a dissimilaridade média e o agrupamento de Tocher.

A dissimilaridade média (722,12), proporcionou uma divisão das cultivares em dois grupos: sendo a primeiro formado pelas cultivares caracterizadas como sensíveis (BR-IRGA 409, BR-IRGA 410 e IRGA 417) e o segundo grupo reuniu as tolerantes (EPAGRI 107 e BRS Querência) e a mediantemente sensível (BRS Atalanta).

O agrupamento de Tocher (Tabela 52), mostrou-se mais rigoroso, detectando mais diferenças. Por este método houve a formação de quatro grupos, sendo o primeiro grupo formado pelas cultivares BRS Atalanta e EPAGRI 107, o segundo grupo formado pelas cultivares BR-IRGA 410 e IRGA 417, no terceiro grupo a cultivar BR-IRGA 409, ficou isolada e o quarto grupo isolou a cultivar BRS Querência.

O coeficiente de correlação cofenética do dendrograma (*R=0,76) evidenciou um bom ajuste entre a representação gráfica das distâncias e a sua matriz original.

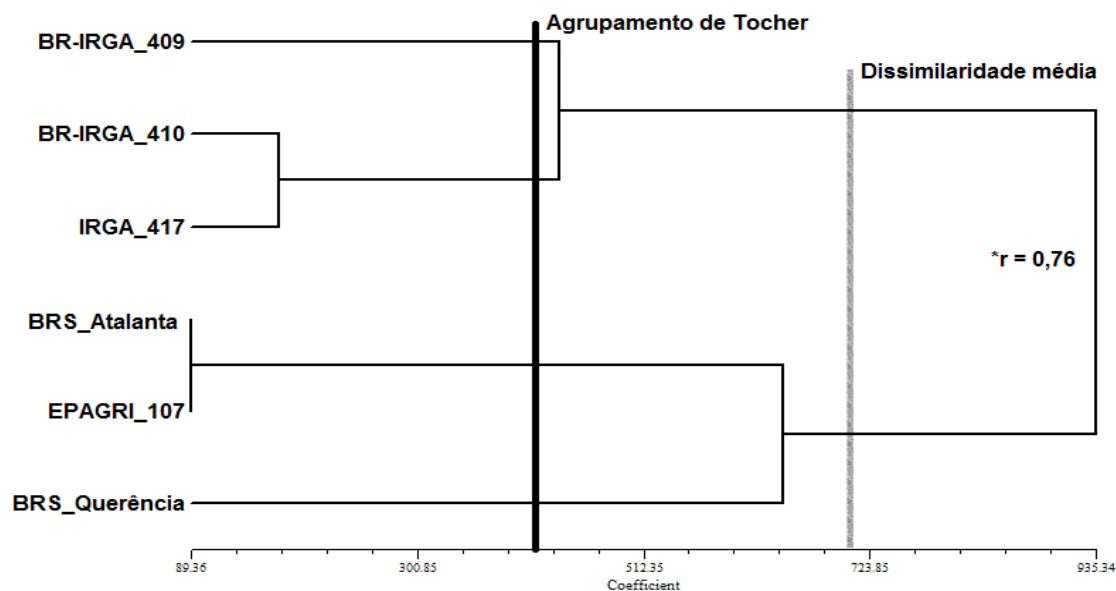


Figura 28. Dendrograma resultante da análise de agrupamento de seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, pelo método UPGMA, utilizando a distância de Mahalanobis, obtida a partir da análise de caracteres Morfológicos. *r: correlação cofenética. Pelotas, CGF-FAEM/UFPel, 2013.

As duas primeiras canônicas variáveis das cultivares de arroz irrigado mantidas em regime hidropônico e submetida á concentração de 400 mg L⁻¹ de

FeSO₄.7H₂O por 14 dias explicaram cerca de 92,31% da variação total apresentada (Tabela 50).

Os resultados possibilitaram a visualização gráfica bidimensional das cultivares analisados, utilizando o escore da primeira e da segunda variável canônica, como mostra a Figura 29.

Tabela 50. Escore dos genótipos em relação às duas primeiras variáveis canônicas obtidas na avaliação da dissimilaridade genética, em cultivares de arroz, na concentração 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPEl, 2013.

	Variáveis Canônicas	
	1 ^a	2 ^a
BR-IRGA 409	75,45	96,74
BR-IRGA 410	80,86	111,25
IRGA 417	89,51	110,72
BRS Atalanta	54,76	97,59
EPAGRI 107	56,26	105,97
BRS Querência	58,08	125,95
Variância (%)	60,21	32,09
Variância acumulada (%)	60,21	92,31

Na Tabela 51, pode-se observar as importâncias relativas dos caracteres morfológicos, no estudo de diversidade genética.

Observando as últimas variáveis canônicas que representaram menos que 10% de toda a variação apresentada, foram selecionados caracteres DIPSF, IPF e ISF, que menos contribuíram no estudo e por isso são recomendado para descarte em estudos futuros.

Tabela 51. Importância relativa dos caracteres morfológicos comprimento de raízes (CR), comprimento da parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento do coleóptilo (CC), inserção da primeira folha (IPF) inserção da segunda folha (ISF), diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF), das variáveis canônicas em cultivares de arroz submetidas à concentração 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

	CR	CPA	NR	CPF	CSF	CC	IPF	ISF	DIPSF
V1	0.437	0.953	0.262	0.021	-0.489	0.613	-0.048	0.219	-0.038
V2	0.848	0.444	-0.918	0.400	1.658	0.028	-8.529	6.684	-12.046
V3	-1.372	0.510	0.958	0.006	-0.590	0.221	8.293	-5.715	12.384
V4	0.079	0.106	-0.358	0.633	0.070	-0.395	-0.500	0.292	-1.082
V5	0.096	0.004	1.159	0.520	-0.099	0.183	3.387	-3.694	5.853
V6	0.194	-0.270	-0.172	0.405	-0.123	0.036	0.385	0.748	0.118
V7	0.110	-0.025	-0.127	-0.295	0.033	0.145	6.162	-4.898	9.248
V8	0.034	-0.038	0.396	-0.580	0.008	-0.418	2.933	-1.304	2.564
V9	-0.186	0.002	0.054	0.329	-0.354	1.150	-2.374	1.919	-3.520

No gráfico de dispersão das variáveis canônicas (Figura 29), observa-se a formação de quatro grupos. O primeiro grupo foi formado pelas cultivares BRS Atalanta e EPAGRI, o segundo grupo reuniu as cultivares 107, BR-IRGA 410 e IRGA 417, o terceiro grupo isolou a cultivar BR-IRGA 409 e o quarto grupo foi formado exclusivamente pela a cultivar BRS Querência. Resultados semelhantes foram observados no dendrograma (Figura 28), quando considerada a formação de grupos pelo critério de agrupamento de Tocher (Tabela 52).

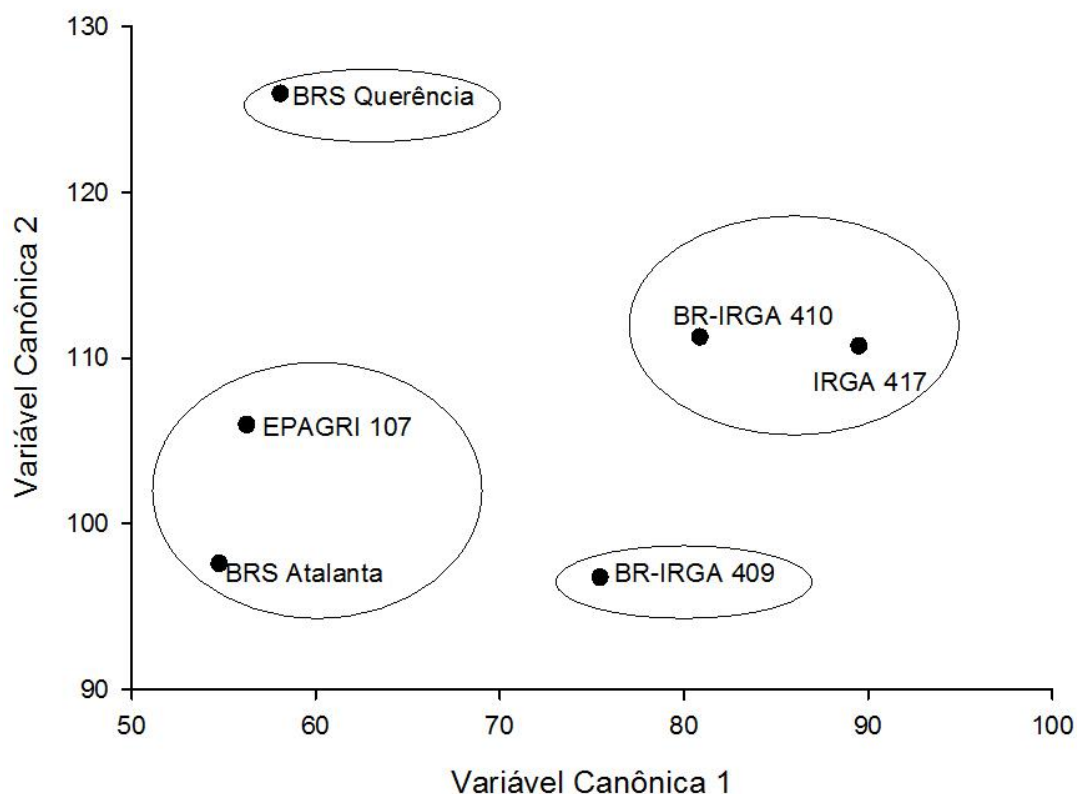


Figura 29. Gráfico de dispersão das seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração 400 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, considerando as duas primeiras variáveis canônicas. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

No agrupamento de Tocher (Tabela 52), nota-se que as cultivares submetidas à concentração de 400 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, houve a formação de quatro. No primeiro grupo reuniu as cultivares BRS Atalanta e EPAGRI 107. No segundo grupo foi composto pelas cultivares BR-IRGA 410 e IRGA 417, que também mostraram-se semelhantes nesta condição. O terceiro grupo foi composto apenas pela cultivar BR-IRGA 409, indicando que esta comportou-se diferentemente das demais, assim com a cultivar BRS Querência que ficou isolada das demais cultivares no quarto grupo.

Tabela 52. Agrupamento das cultivares de arroz irrigado pelo método de otimização de Tocher, com base nos caracteres morfológicos de plântulas cultivadas na concentração 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Grupos	Cultivares	
1	BRS Atalanta	EPAGRI 107
2	BR-IRGA 410	IRGA 417
3	BR-IRGA 409	
4	BRS Querência	

Ao analisar a contribuição relativa dos caracteres morfológicos utilizados na dissimilaridade das cultivares de arroz (Tabela 53), nota-se que comprimento da segunda folha foi a característica que mais contribuiu com 31,72% para a dissimilaridade entre as cultivares em estudo, sendo que a cultivar que apresentou menor média foi a cultivar BR-IRGA 409 (7,4 cm) e a com maior média foi a BRS Querência (11,6 cm).

A segunda característica morfológica de maior contribuição foi o comprimento da parte aérea responsável 29,13% da dissimilaridade das cultivares.

A soma das contribuições destes dois caracteres morfológicos representou 61,05% e os outros sete caracteres junto tiveram contribuição de 39,95%, indicando que estas característica morfológicas não tiveram grande impacto na discriminação das cultivares.

Tabela 53. Contribuição relativa dos caracteres morfológicos para a dissimilaridade entre genótipos de arroz irrigado na concentração 400 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Variáveis	Contribuição Relativa	
	S.j	VALOR (%)
Comprimento de raízes	1662,72	11,22
Comprimento da parte aérea	4314,55	29,13
Número de raízes	153,15	1,03
Comprimento da primeira folha	122,38	0,83
Comprimento da segunda folha	4697,93	31,72
Comprimento de coleótilo	206,40	1,39
Inserção da 1ª folha	1631,12	11,01
Inserção da 2ª folha	1903,14	12,85
Diferença de inserção entre 1ª e 2ª folha	121,81	0,82

Conforme a análise de variância (Tabela 43), na concentração 3, foi detectado diferenças significativas ao nível 5% de probabilidade de erro pelo teste F, entre as

seis cultivares de arroz irrigado, submetidas à concentração 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, por 14 dias. Dentre os caracteres avaliados apenas o número de raízes não foi significativo, sendo assim este caráter foi retirado das análises multivariadas, por não ser capaz de diferenciar as cultivares.

Na Tabela 43, é possível observar os valores de coeficiente de variação (CV), onde verificou-se que apenas o CPF apresentou valor médio de CV, as demais variáveis tiveram baixo CV (PIMENTEL GOMES, 1985).

Na Tabela 54, estão apresentadas as distância genética entre as seis cultivares de arroz, mantidas na concentração de 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O.

As cultivares com menor distância foram IRGA 417 e BR-IRGA 409 (D²=103), mostrando-se as mais similares. O segundo par de cultivar mais semelhantes entre si foram as IRGA 417 e BR-IRGA 410 (D²=123).

As cultivares que apresentaram maior distância genética entre si foram BRS Querência (tolerante), e a cultivar tida com sensível BR-IRGA 409 (D²=2756). A segunda maior distância foi detectada entre as cultivares BRS Querência e IRGA 417.

Tabela 54. Distância genética entre seis cultivares de arroz irrigado à concentração 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, calculada pelo método das distâncias de Mahalanobis para os caracteres morfológicos na fase de plântula, sob cultivo hidropônico. CGF-FAEM/UFPEl, 2013.

	BR-IRGA 409	BR-IRGA 410	IRGA 417	BR Atalanta	EPAGRI 107	BRS Querência
BR-IRGA 409	0					
BR-IRGA 410	379	0				
IRGA 417	103	123	0			
BRS Atalanta	370	634	385	0		
EPAGRI 107	1861	1048	1500	1267	0	
BRS Querência	2756	1933	2457	1896	218	0

O dendrograma representado na Figura 30, foi gerado utilizando o método da UPGMA. O coeficiente de correlação cofenética do dendrograma (*R=0,87) evidenciou um bom ajuste entre a representação gráfica das distâncias e a sua matriz original.

Considerando a formação de grupo baseada na dissimilaridade média houve a formação de dois grupos, o primeiro composto pela cultivares sensíveis (BR-IRGA 409, IRGA 417, BR-IRGA 410) e a cultivar mediantemente sensível (BRS Atalanta), o

segundo grupo foi formado pelas cultivares EPAGRI 107 e BRS Querência, sendo estas classificadas como tolerantes em ensaios a campo.

Quando se considerou o a delimitação dos grupos formados com base no agrupamento de Tocher (Tabela 57), observou-se a formação de três grupos que coincidiram com a classificação das cultivares em testes realizados a campo (SOSBAI, 2012). O primeiro grupo formado por este critério reuniu as três cultivares consideradas como sensíveis a toxidez por ferro (BR-IRGA 409, IRGA 417, BR-IRGA 410). O segundo grupo reuniu as cultivares consideradas tolerantes ao estresse por ferro, sendo elas a cultivar EPAGRI 107 e BRS Querência. O terceiro grupo isolou a cultivar BRS Atalanta que é uma cultivar caracterizada como mediantemente sensível.

Os critérios adotados na formação dos grupos separaram as tolerantes das demais cultivares, contudo o agrupamento de Tocher mostrou-se mais criterioso na formação dos grupos, pois permitiu a separação das cultivares em três classes (sensíveis, mediantemente sensível e tolerante). A dissimilaridade média possibilitou a separação apenas de grupo de cultivares tolerantes e das sensíveis ao estresse de modo geral.

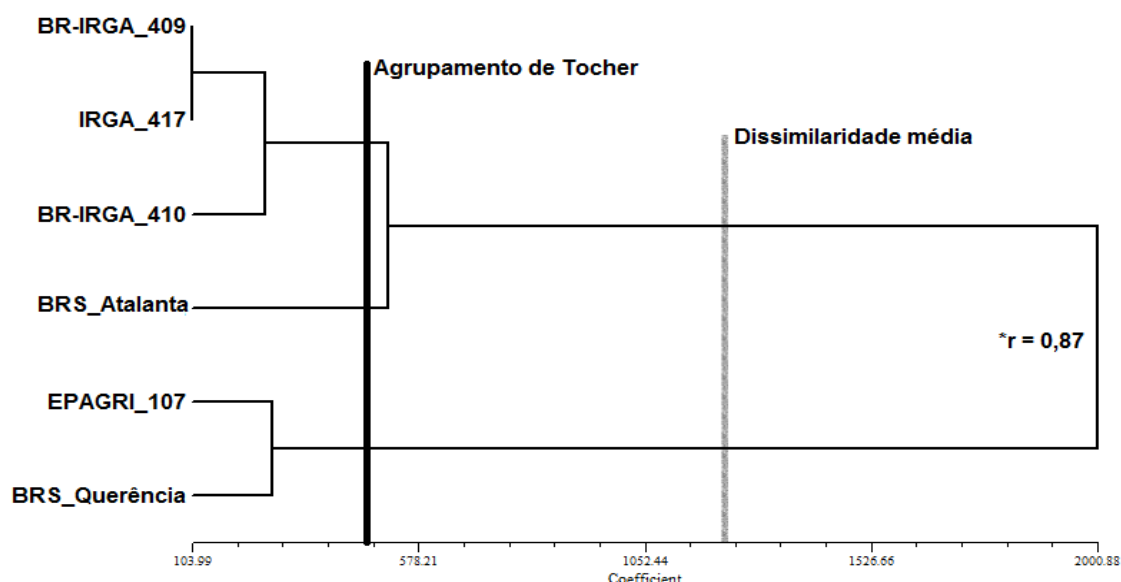


Figura 30. Dendrograma resultante da análise de agrupamento de seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração 800 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, pelo método UPGMA, utilizando a distância de Mahalanobis, obtida a partir da análise de caracteres Morfológicos. *r: correlação cofenética. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

Ao analisar a Tabela 55, têm se as informações das duas primeiras canônicas, para as cultivares de arroz irrigado mantidas em regime hidropônico e submetidas à concentração de 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O por 14 dias. Estas explicaram cerca de 96,13 % da variação total apresentada pelas cultivares nesta condição. Os resultados possibilitaram a visualização gráfica bidimensional das cultivares analisadas, utilizando os escores da primeira e da segunda variável canônica (Figura 31), pois têm os pré requisitos para uma interpretação satisfatória da variabilidade total manifestada (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

Tabela 55. Escore dos genótipos em relação às duas primeiras variáveis canônicas obtidas na avaliação da dissimilaridade genética, em cultivares de arroz, na concentração 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPEl, 2013.

Cultivares	Variáveis Canônicas	
	1 ^a	2 ^a
BR-IRGA 409	109,64	99,62
BR-IRGA 410	120,51	112,99
IRGA 417	112,98	105,58
BRS Atalanta	120,66	87,94
EPAGRI 107	151,43	105,25
BRS Querência	161,92	99,38
Variância (%)	83,58	12,55
Variância acumulada (%)	83,58	96,13

Com base nas variáveis canônicas foi possível verificar a importância relativa dos caracteres morfológicos de plântulas de arroz submetidas à concentração de 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O (Tabela 55).

Considerando que as últimas variáveis canônicas que representaram menos que 10% da variação total, e analisando os dados conclui-se que os caracteres morfológicos IPF, ISF e CC, foram os que tiveram menor importância na análise, e desta forma sendo sugerido para descarte em outros estudos.

Tabela 56. Importância relativa dos caracteres morfológicos comprimento de raízes (CR), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento do coleótilo (CC), inserção da primeira folha (IPF) inserção da segunda folha (ISF), diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF), das variáveis canônicas em cultivares de arroz submetidas à concentração 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPEL, 2013.

	CR	CPA	CPF	CSF	CC	IPF	ISF	DIPSF
V1	0.452	0.325	0.374	1.433	-1.233	0.249	0.211	0.378
V2	1.431	1.020	0.422	0.437	-0.834	0.235	-0.169	-0.352
V3	0.320	1.458	0.191	0.661	-2.072	-0.809	0.984	1.358
V4	-0.822	0.244	-1.176	-0.086	1.607	-0.038	0.224	-0.720
V5	0.269	-0.215	0.011	-0.028	0.251	-0.526	-0.311	0.151
V6	-0.141	-0.316	0.552	-0.314	1.096	0.184	-0.167	-0.309
V6	0.076	-0.149	0.240	-0.084	0.239	-0.620	0.780	-0.779
V8	0.415	0.031	-0.619	0.063	0.143	0.665	0.371	0.379

A representação gráfica das variáveis canônicas (Figura 31), das cultivares submetidas à concentração de 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, por 14 dias, permitiu a visualização de três grupos, estando estes de acordo com a classificação das cultivares.

O primeiro grupo formado pelas cultivares BR-IRGA 409, BR-IRGA 410 e IRGA 417, cultivares que se demonstram sensíveis a toxidez por ferro em teste de campo. O segundo grupo reuniu as cultivares previamente classificadas como tolerantes (BRS Querência e EPAGRI 107), e o terceiro grupo isolou a cultivar considerada mediantemente sensível.

Estes resultados coincidem com os apresentados no dendrograma (Figura 30), ao se considerar o agrupamento de Tocher (Tabela 57), como formador dos grupos.

Com o aumento do tempo de exposição ao estresse foi possível discriminar as cultivares com uma concentração menor, pois a mesma concentração e as mesmas cultivares quando submetidas ao estresse por apenas sete dias não apresentaram a mesma resposta. O fator tempo de exposição a toxidez por ferro evidencia efeito sobre o crescimento de plântulas de arroz em cultivo hidropônico, de maneira diferencial para os genótipos testados (BRESOLIN, 2010). Este fato possivelmente explica a diferença obtida nos resultados, entre os experimentos 1 e 2.

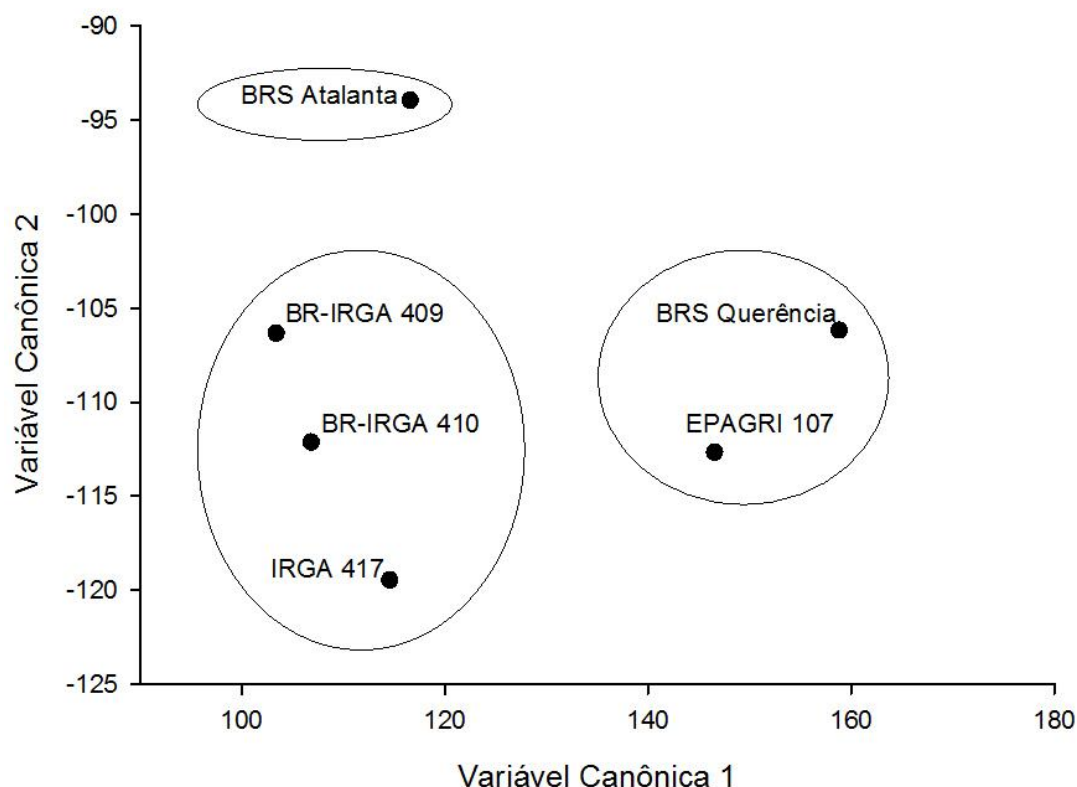


Figura 31. Gráfico de dispersão das seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração 800 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, considerando as duas primeiras variáveis canônicas. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.

O agrupamento de Tocher (Tabela 57), formado com base em caracteres morfológicos de cultivares de arroz, cultivadas em hidroponia e submetidas à concentração de 800 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, por 14 dias, permitiu a formação de três grupos.

O primeiro grupo foi formado pelas cultivares de arroz caracterizadas como sensíveis (BR-IRGA 409, BR-IRGA 410 e IRGA 417). O segundo grupo reuniu as cultivares classificadas como tolerantes (BRS Querência e EPAGRI 107). O terceiro grupo isolou a cultivar considerada mediamente sensível (BRS Atalanta), sugerindo que esta faz parte de um mesmo grupo heterotico diferente das cultivares sensíveis a toxidez por ferro.

Tabela 57. Agrupamento das cultivares de arroz irrigado pelo método de otimização de Tocher, com base nos caracteres morfológicos de plântulas cultivadas na concentração 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPEl, 2013.

Grupos	Cultivares		
1	BR-IRGA 409	IRGA 417	BR-IRGA 410
2	EPAGRI 107	BRS Querência	
3	BRS Atalanta		

Na Tabela 58, observa-se a contribuição relativa dos caracteres morfológicos para a dissimilaridade de seis cultivares de arroz irrigado.

A principal característica morfológica na discriminação das cultivares nesta condição foi a comprimento da segunda folha, onde apenas esta característica contribuiu com quase 80% de toda a variação entre as cultivares. As outras sete características morfológicas, juntas contribuíram com 20,25%, estas mostrando-se pouco influentes na dissimilaridade genética.

Tabela 58. Contribuição relativa dos caracteres morfológicos para a dissimilaridade entre genótipos de arroz irrigado na concentração 800 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPEl, 2013.

Variáveis	Contribuição Relativa	
	S.j	VALOR (%)
Comprimento de raízes	542,97	2,59
Comprimento da parte aérea	240,70	1,15
Comprimento da primeira folha	622,67	2,97
Comprimento da segunda folha	16625,49	79,25
Comprimento de coleótilo	2023,75	9,65
Inserção da 1ª folha	242,96	1,16
Inserção da 2ª folha	238,80	1,14
Diferença de inserção entre 1ª e 2ª folha	439,12	2,09

Ao analisar Tabela 43, na concentração 4, que corresponde a 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, detectou-se diferença significativa a 5% de probabilidade de erro pelo teste F, para todos os caracteres morfológicos

Na Tabela 59, observa-se a distância genética de seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas em regime hidropônico, submetidas a concentração de 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O por 14 dias.

Nestas condições as cultivares que se mostraram mais próximas geneticamente foram as cultivares BR-IRGA 410 e IRGA 417, com uma distância

(D²) de 30. A segunda menor distância foi detectada entre as cultivares BR-IRGA 409 e BR-IRGA 410.

As cultivares EPAGRI 107 e BR-IRGA 409 mostraram se as mais distantes geneticamente, pois ao comparar essas duas cultivares observa-se a maior D² (7352). A segunda maior distância genética foi detectada entre a cultivar IRGA 417 e EPAGRI 107 (D²= 6112).

Tabela 59. Distância genética entre seis cultivares de arroz irrigado à concentração 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, calculada pelo método das distâncias de Mahalanobis para os caracteres morfológicos na fase de plântula, sob cultivo hidropônico. CGF-FAEM/UFPEl, 2013.

	BR-IRGA 409	BR-IRGA 410	IRGA 417	BRS Atalanta	EPAGRI 107	BRS Querência
BR-IRGA 409	0					
BR-IRGA 410	108	0				
IRGA 417	126	30	0			
BRS Atalanta	1116	723	695	0		
EPAGRI 107	7352	5989	6112	4336	0	
BRS Querência	3581	2857	3149	2029	1950	0

Para construção do dendrograma, foram empregados os caracteres morfológicos mensurados em plântulas de seis cultivares de arroz, previamente caracterizadas quanto a sensibilidade e tolerância ao ferro, quando essas plântulas foram submetidas à concentração de 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, por 14 dias .

O dendrograma gerado pelo método UPGMA (Figura 32). Neste dendrograma foi utilizado dois critérios de separação de grupos, sendo eles a dissimilaridade média e o agrupamento de Tocher sendo que ambos os métodos apresentaram os mesmos resultados. Houve a formação de dois grupos onde o primeiro reuniu as cultivares sensíveis (BR-IRGA 409, BR-IRGA 410 e IRGA 417) e a cultivar mediantemente sensível (BRS Atalanta). O outro grupo reuniu as tolerantes (EPAGRI 107 e BRS Querência).

Com o aumento da concentração de ferro a cultivar mediantemente sensível (BRS Atalanta), respondeu de forma diferente da concentração anterior, onde esta havia ficado isolada em um grupo, contudo nesta concentração mostrou se mais semelhante as cultivares sensíveis. Estudo recente, relata que as plantas respondem diferentemente a toxidez causada por um metal, e que a resposta depende da concentração do elemento no ambiente (MOTHÉ, 2012).

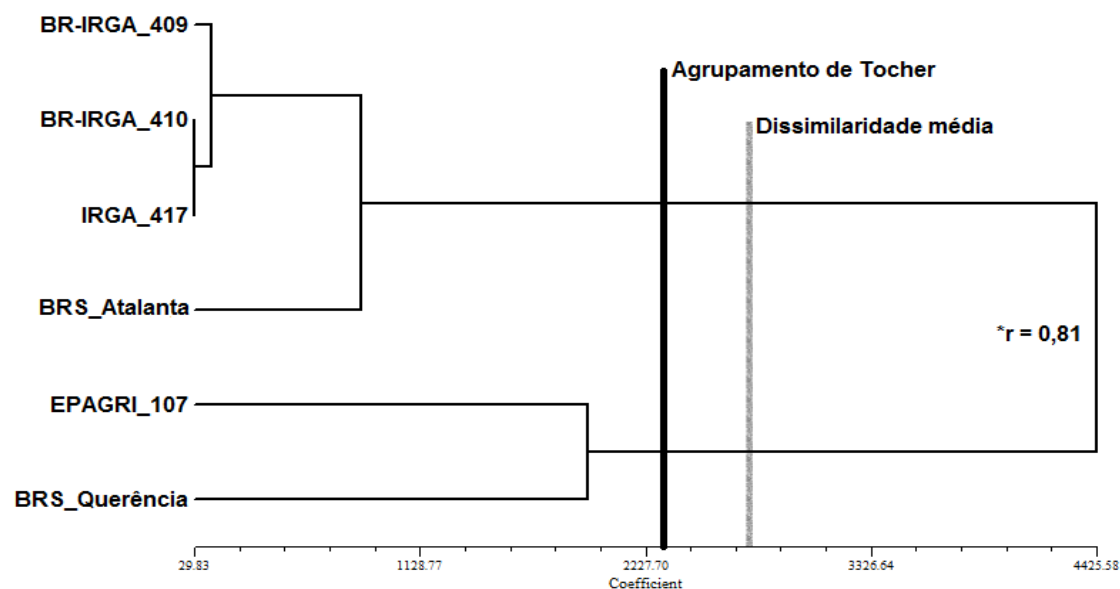


Figura 32. Dendrograma resultante da análise de agrupamento de seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração 1200 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, pelo método UPGMA, utilizando a distância de Mahalanobis, obtida a partir da análise de caracteres Morfológicos. *r: correlação cofenética. CGF-FAEM/UFPEl, 2013.

As duas primeiras variáveis canônicas resultante de caracteres de plântulas cultivadas na concentração de 1200 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, por 14 dias explicaram cerca de 93,82% da variação total (Tabela 60).

Os resultados obtidos permitem uma interpretação satisfatória da variabilidade manifestada nas cultivares. Com esses resultados foi possível a visualização gráfica bidimensional das cultivares analisadas, utilizando os escores da primeira e da segunda variável canônica, como mostra a Figura 33.

Tabela 60. Escore dos genótipos em relação às duas primeiras variáveis canônicas obtidas na avaliação da dissimilaridade genética, em cultivares de arroz, na concentração 1200 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. CGF-FAEM/UFPEl, 2013.

Cultivares	Variáveis Canônicas	
	1 ^a	2 ^a
BR-IRGA 409	-91,41	94,03
BR-IRGA 410	-83,43	90,91
IRGA 417	-84,69	87,15
BRS Atalanta	-68,47	88,49
EPAGRI 107	-6,91	79,86
BRS Querência	-35,25	113,43
Variância (%)	84,15	9,67
Variância acumulada (%)	84,15	93,82

A importância relativa dos caracteres avaliados em plantas de arroz irrigado, submetidas a concentração de 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, por 14 dias, pode ser vista na Tabela 61.

Quando observa as últimas variáveis canônicas que representaram menos que 10% da variação total, nota-se que os caracteres morfológicos DIPSF e ISF, pouco contribuíram, sendo estes sugeridos para o descarte para estudos futuros.

Tabela 61. Importância relativa dos caracteres morfológicos comprimento de raízes (CR), comprimento da parte aérea (CPA), número de raízes (NR), comprimento da primeira folha (CPF), comprimento da segunda folha (CSF), comprimento do coleótilo (CC), inserção da primeira folha (IPF) inserção da segunda folha (ISF), diferença de inserção entre a primeira e segunda folha (DIPSF), das variáveis canônicas em cultivares de arroz submetidas à concentração 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. CGF-FAEM/UFPel, 2013.

	CR	CPA	NR	CPF	CSF	CC	IPF	ISF	DIPSF
V1	0.419	-1.260	0.752	0.057	1.374	-0.890	0.448	-0.283	0.256
V2	-0.738	0.411	0.133	-0.120	0.492	-0.194	0.016	0.848	-0.149
V3	0.719	0.118	1.152	-0.284	0.016	-0.572	1.595	-1.417	2.307
V4	0.408	0.117	-0.339	-0.754	0.115	0.153	-1.544	3.271	-3.931
V5	0.104	-0.246	0.202	-0.260	-0.158	0.920	2.511	-3.188	5.253
V6	-0.293	-0.639	1.009	-0.530	-0.202	-0.357	-0.195	1.904	-1.332
V7	0.033	0.140	-0.516	1.121	-0.115	-0.188	-0.400	0.757	-1.126
V8	-0.020	-0.124	0.325	-0.211	-0.087	0.268	3.865	-4.121	5.817
V9	-0.016	-0.091	0.335	-0.258	-0.074	0.698	-1.131	1.611	-2.454

A dispersão gráfica das variáveis canônicas (Figura 33), permitiu a separação das cultivares em dois grupos, sendo o primeiro grupo formado pela cultivares classificadas em testes a campo como sensíveis e mediantemente sensíveis. O outro grupo reuniu apenas as cultivares classificadas como tolerantes ao estresse por ferro. Os resultados apresentados pelas variáveis canônicas concordam com o dendrograma (Figura 32).

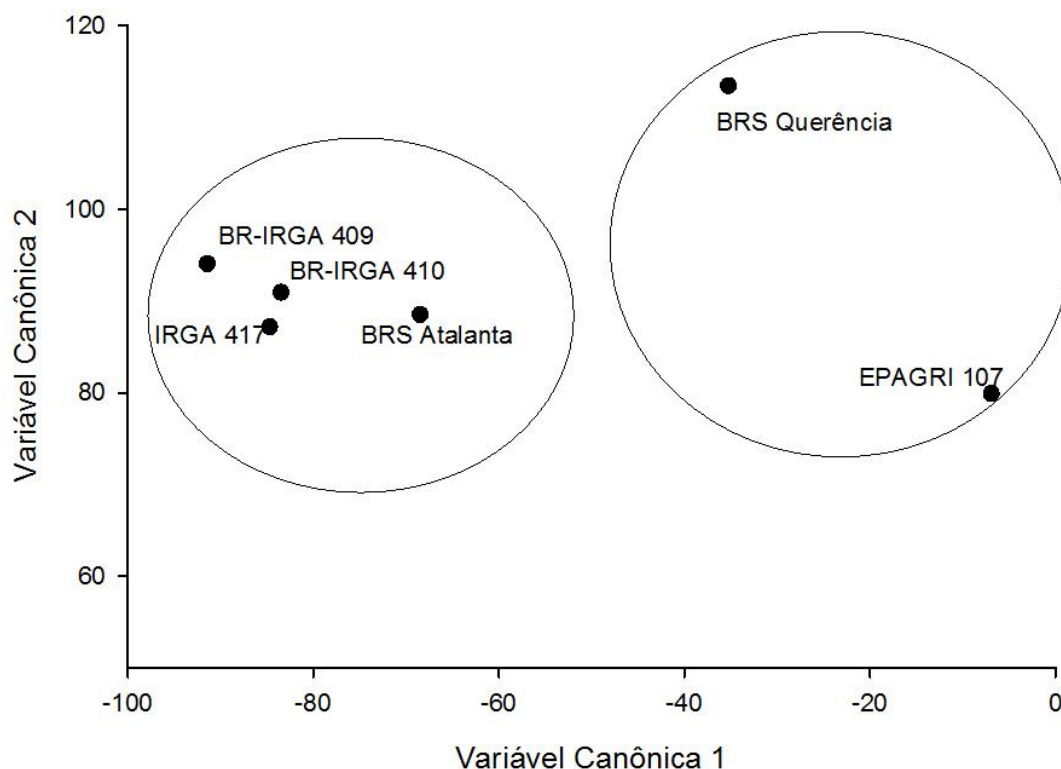


Figura 33. Gráfico de dispersão das seis cultivares de arroz irrigado, cultivadas na concentração 1200 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, considerando as duas primeiras variáveis canônicas. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.

O agrupamento de Tocher, representado na Tabela 62, é um método de otimização formado com base em caracteres morfológicos de cultivares de arroz cultivadas em hidroponia e submetidas à concentração de 1200 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, onde as plantas permaneceram por 14 dias.

O primeiro grupo foi formado pelas cultivares BR-IRGA 410, IRGA 417, BR-IRGA 409 e BRS Atalanta., O segundo grupo reuniu as cultivares classificadas como tolerantes (BRS Querência e EPAGRI 107).

Tabela 62. Agrupamento das cultivares de arroz irrigado pelo método de otimização de Tocher, com base nos caracteres morfológicos de plântulas cultivadas na concentração 1200 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. CGF-FAEM/UFPeI, 2013.

Grupos	Cultivares			
1	BR-IRGA 410	IRGA 417	BR-IRGA 409	BRS Atalanta
2	EPAGRI 107	BRS Querência		

As contribuições relativas dos caracteres morfológicos para a dissimilaridade das cultivares estão apresentadas na Tabela 63.

Os caracteres fenotípicos de maior contribuição para discriminar as cultivares foram o comprimento da segunda folha e o comprimento da parte aérea. O comprimento da segunda folha foi o que mais contribuiu com cerca de 52%, para a dissimilaridade entre as cultivares. O comprimento da parte aérea também apresentou elevada contribuição, com cerca de 32% da dissimilaridade.

As demais características morfológicas contribuíram menos que 30% para a dissimilaridade.

Tabela 63. Contribuição relativa dos caracteres morfológicos para a dissimilaridade entre genótipos de arroz irrigado na concentração 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O. Pelotas, RS. 2013.

Variáveis	Contribuição Relativa	
	S.j	VALOR (%)
Comprimento de raízes	3276,81	7,78
Comprimento da parte aérea	13338,55	31,69
Número de raízes	1442,56	3,43
Comprimento da primeira folha	15,68	0,04
Comprimento da segunda folha	21871,86	51,96
Comprimento de coleóptilo	971,27	2,31
Inserção da 1ª folha	4,81	0,01
Inserção da 2ª folha	854,50	2,03
Diferença de inserção entre 1ª e 2ª folha	318,91	0,76

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No experimento 2, em que as plantas ficaram por 14 dias no estresse, foram utilizando os caracteres morfológicos mensurado nas plantas mantidas nas concentrações de 800 e 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, as quais discriminaram as cultivares quanto a sensibilidade ao ferro.

As outras concentrações empregadas no estudo não foram eficientes para discriminar as cultivares quanto a toxidez por ferro.

CONCLUSÃO

No experimento 1, utilizando análises multivariadas, apenas a concentração de 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, durante sete dias, possibilita a discriminação das plantas de arroz tolerantes das demais com algum nível de sensibilidade ao ferro.

No experimento 2, através da mensuração de características morfológicas de plantas submetidas as concentrações de 800 e 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, por 14 dias, é possível discriminar as cultivares, utilizando análises multivariadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENITEZ, L. C.; PETERS, J. A.; BACARIN, M.A.; KOPP, M.M.; OLIVEIRA, A.C. de; MAGALHÃES JUNIOR, A. M de; BRAGA, E. J. B. Tolerância à salinidade avaliada em genótipos de arroz cultivados *in vitro*. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n.3, p. 330-337, 2010.
- BENITEZ, L. C.; Rodrigues, I.C.da S.; Arge, L.W.P.; Márcia Vaz Ribeiro, M.V.; BRAGA, E. J. B. Análise multivariada da divergência genética de genótipos de arroz sob estresse salino durante a fase vegetativa. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 409-416, 2011.
- BERTAN, I.; CARVALHO, F. I. F. de; OLIVEIRA, A. C. de; VIEIRA, E. A.; HARTWIG, I.; SILVA, J. A. G. da; SHIMIDT, D. A. M.; VALÉRIO, I. P.; BUSATO, C. C.; RIBEIRO, G. Comparação de métodos de agrupamento na representação da distância morfológica entre genótipos de trigo. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 3, p. 279-286, 2006.
- BRESOLIN, A. P. S. **Caracterização morfológica e análise da expressão gênica em arroz (*Oryza sativa* L.) sob estresse por ferro**. 2010. 144 f. Tese (doutorado em fitomelhoramento)- Univesidade Federal de Pelotas.
- CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento Disponível em: <
http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_08_09_10_43_44_boletim_portugues_agosto_2013_port.pdf> Acesso em 02 set 2013.
- CONNOLLY, E.L.; GUERINOT, M.L. Iron stress in plants. **Genome Biology**. v. 3, n. 8, p. 1024.1–1024.4., 2002.
- CRESTANI, M.; CARVALHO, F. I. F.; MAGALHÃES, A. M. J.; SILVA, J. A. G.; LUCHE, H. S.; FONSECA, D. A. R.; NORMBERG, R.; BISOGNIN, M.; TERRES, L. R.; LUZ, V. K. Avaliação de protocolo para determinação de tolerância ao ferro em arroz sob condições de hidroponia. In: XV Congresso de Iniciação e VIII Encontro de pos graduação, 2006, Pelotas. **Anais do...** Pelotas, 2006
- CRESTANI, M.; SOUZA, V. Q.; SILVA, J. A. G.; HARTWIG, I.; LUCHE, H. S. de; SOUSA, R.O de.; CARVALHO, F. F. I. de. Comportamento de genótipos de arroz irrigado submetidos ao estresse por ferro em condições de hidroponia. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. v. 9, p.85-93, 2009.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes: Aplicativo computacional em genética e estatística**. Versão Windows - 2007, Viçosa, UFV.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v 2, 2. ed.rev. Viçosa: Editora UFV, 2006, 585 p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, v 1, editora UFV, 2004, 480 p.

FERREIRA, R. de P.; CRUZ, C. D.; FAGERIA, N.K. TOLERÂNCIA DE GENÓTIPOS DE ARROZ AO FERRO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v.32, n.11, p. 1177-1182,1997.

KAVALCO, S. A. F.; BARETTA, D.; GROLI, E. L.; DANIELOWSKI, R.; THUROW, L. B.; NORBERG, R.; MOLITERNO, E.; SILVA, J. A. G.; OLIVEIRA, A. C. de. Variáveis canônicas em genótipos de aveia preta. In XXXIII Congresso Brasileiro de Pesquisa de Aveia, Pelotas. **Anais do...** Pelotas, 2013.

MARINI, N. **Qualidade de grãos, tolerância ao estresse por ferro e variabilidade genética em arroz**. 2012. 126 f. Tese (doutorado em fitomelhamento)- Univesidade Federal de Pelotas.

MOTHÉ, G. P. B. **Capacidade fotossintética e crescimento de dois genótipos de *Ricinus communis* L. em resposta a doses de material sólido particulado à base de ferro aplicadas ao solo**. 2012. 64f. Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro.

PERREIRA, J. J.; CRUZ, C. D. Comparação de métodos de agrupamento para o estudo da diversidade genética de cultivares de arroz. **Revista Ceres**, v 50, p 41-60, 2003.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 11 ed., Piracicaba. 1985. 466p.

PONNAMPERUMA, F.N. The chemical of submerged soils. **Advances in Agronomy**, v.24, p. 29-96, 1972.

ROHLF, F.J. **NTSYS-pc: numerical taxonomy and multivariate analysis system**, version 2.1. Exeter Software, New York, 2000.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **The Indian Journal of Genetic Plant Breeding**, New York, v. 41, n. 2, p. 237-245, 1981.

SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxon**, Berlin, v.11, n.1, p.30-40, 1962.

SOSBAI – Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. Itajaí: SOSBAI, 2012, 179p.

WOLTER, R. C. D.; SEHN, C. F. S; SONCINI, M. M.; SOUSA, R. O.; VAHL, L. C. Fração molar do ferro em relação aos cátions divalentes em solução nutritiva e a toxidez por ferro em arroz irrigado. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 8. Santa Maria. **Anais do...** Santa Maria, 2013. p. 790-793.

ANEXO

PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE PLÂNTULAS DE ARROZ QUANTO A TOXIDEZ POR FERRO

1- Desinfestar as semente

Fazer uma solução de hipoclorito de sódio à 10%, e deixar as sementes em contato por um minuto, para remoção de micro-organismos. E após lavá-las com água destilada.

2- Germinar as sementes.

Colocar as sementes desinfestadas em gerbox, sobre faixas de papel filtro umedecidos com água ultrapura e levá-las à BOD (câmara de germinação) com temperatura de 25°C, com fotoperíodo de 16 horas e umidade relativa de 100% por 96 horas.

3- Selecionar as plântulas a serem utilizadas no experimento

Selecionar plântulas uniformes quanto ao vigor, e padronizar o tamanho das raízes.

4- Acomodação das plântulas no balde.

Fixar as plantas em uma tampa adaptada para o balde, de forma que possibilite o contato das raízes com a solução nutritiva (exemplo placas de isopor). Utilizar a solução proposta por Wolter et al. (2013).

5- Cultivo das plântulas

As plântulas devem ser mantidas em tanque hidropônico à temperatura de 25°C, iluminação artificial simulando o fotoperíodo de 12h. As mesmas devem permanecer nesta condição por 14 dias, porém a solução nutritiva deve ser trocada a cada 7 dias e o pH deve ser ajustado diariamente para $4 \pm 0,3$, com adição de HCl ou NaOH 0,5 M.

6- Submissão ao estresse

No décimo quinto dia da implantação do experimento, parte das plântulas de cada genótipo devem ser mantidas na condição sem estresse (controle) e parte deve ser submetida a condição de estresse na concentração de 1200 mg L⁻¹ de FeSO₄.7 H₂O. A manutenção nos dois ambientes (estresse e

controle) possibilita a análise de desempenho relativo. As plântulas devem permanecer nesta condição por 7 dias.

7- Avaliações a serem realizadas

Com o auxílio de régua graduada, avalia-se os caracteres: comprimento de raiz (CR) e comprimento da segunda folha (CSF).

Genótipos com desempenho relativo inferior a 70 % para o comprimento de raízes e 85 % para o comprimento da segunda folha são indicativos de sensibilidade ao ferro.

VITAE

Danyela de Cássia da Silva Oliveira nasceu no dia 18 de setembro de 1986, em Barra do Garças - MT. Coursou o ensino fundamental em instituições públicas de Santa Terezinha-MT e o ensino médio no Centro Federal de Educação Tecnológica de Cuiabá CEFET-Cuiabá. Em 2007 ingressou no curso de Agronomia, na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT-Sinop), onde obteve o título de Engenheira Agrônoma em março de 2012, data em que ganhou o prêmio de Destaque Acadêmico por obter o melhor desempenho acadêmico entre os formandos. No início de sua vida acadêmica foi bolsista do Programa de Permanência, no qual possibilitou desenvolver várias atividades como por exemplo ser monitora de geometria analítica e álgebra linear, bioquímica e trabalhar no laboratório de tecnologia de alimentos. Neste laboratório conheceu a DR^a Carmen Wobeto, que foi orientadora do projeto de monografia e desenvolveu outros trabalhos. No segundo semestre de 2011 realizou seu estágio curricular obrigatório na Universidade Federal de Pelotas, sob orientação do professor Antonio Costa de Oliveira, onde teve a oportunidade de trabalhar com arroz, aveia e trigo, adquirindo conhecimento na área de melhoramento clássico e na área de biologia molecular. Em março de 2012 ingressou no curso de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Fitomelhoramento. Em 12 de julho de 2013, cumprindo as exigências do programa, progrediu ao nível de doutorado. Durante sua trajetória acadêmico-científica, publicou na qualidade de autor e co-autor 52 resumos e 7 artigos científicos.