

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS - UFPEL
Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia



Tese

**Seleção de genótipos de trigo visando à tolerância ao
estresse por encharcamento**

Sydney Antonio Frehner Kavalco

Sydney Antonio Frehner Kavalco

**Seleção de genótipos de trigo visando à tolerância ao
estresse por encharcamento**

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

Orientador: Prof. Dr. Antonio Costa de Oliveira
Co-Orientador: Dr. Ariano Martins de Magalhães
Júnior

PELOTAS, 2013

Banca examinadora:

Dr. Antonio Costa de Oliveira, Professor da Universidade Federal de Pelotas;

Dr. Ariano Martins de Magalhães Júnior, Pesquisador da Embrapa Clima Temperado;

Dr. Velci Queiróz de Souza, Professor da Universidade Federal de Santa Maria – Campus de Frederico Westphalen;

Dr. Willian Silva Barros, Professor da Universidade Federal de Pelotas;

Dedico este trabalho a Deus;

A meus pais, irmãos e familiares por estarem sempre ao meu lado;

A minha esposa Ariane pela força nos momentos de dificuldade.

AGRADECIMENTOS

Ao programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal de Pelotas, pela oportunidade de realizar o curso.

Ao meu orientador, Professor Ph.D. Antonio Costa de Oliveira, pela oportunidade de trabalhar em um centro renomado na área vegetal e me ajudar na conclusão desse trabalho.

Aos meus pais Magli e Sydney e minhas irmãs Karine e Tatiana, pelo apoio nos momentos de dificuldade e por estarem comigo também nos momentos de alegria.

A minha esposa Ariane, por todo apoio e motivação mesmo nas horas mais difíceis de realização deste sonho.

Aos meus avós Friedrich e Hiltrud Frehner; Antonio (*in memoriam*) e Nory Kavalco, pois sem eles eu não existiria.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação e à Comissão de Acompanhamento pelos ensinamentos passados.

À Embrapa Clima Temperado por ter cedido à área para experimentação no ano de 2009 e 2012, em especial ao Pesquisador Dr. Ariano Magalhães pelo auxílio, disponibilidade de pessoal e recursos técnicos.

Aos amigos do Centro de Genômica e Fitomelhoramento, pela amizade e assistência durante esse período de trabalho, em especial a Diego Baretta, Franciele Cima, Glacy da Silva, Emilio Arenhardt, Elisane Tessmann, Henrique Luche, Leomar Woyman, Liamara Thurrow, Mateus Olivo, Rafael Nornberg, Railson dos Santos, Renata Ahlert, Rodrigo Danielowsk, Solange Silveira, Taciane Finatto, Taiane Viana, Tatiane Souza, Viviane Luz e Willian Pacheco.

Aos amigos da Iniciação científica que me ajudaram na condução dos experimentos e pelos momentos de descontração, Cristiano Zimmer, Eder Grolli, Giordano Conte, Helaine Claire, Henrique Carbonari, Leonardo Fernandes, Pagiel Kelling, Raissa Martins, Ricardo Figueiredo, Rodrigo Lisboa e Victoria Oliveira.

A CAPES pelo apoio financeiro do projeto.

E a todos que contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho.

Muito Obrigado!

“Melhoramento de Plantas é a arte e ciência de melhorar geneticamente plantas para o benefício da humanidade” - Poehlman (1965).

RESUMO

KAVALCO, Sydney Antonio Frehner **Seleção de genótipos de trigo visando à tolerância ao estresse por encharcamento** 2013. 94f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

O encharcamento, assim como a salinidade, o déficit hídrico, a toxicidade (Na, Fe, Al, B, Mn) e o congelamento são os principais estressores abióticos que restringem o crescimento e desenvolvimento, promovendo a diminuição da manifestação do potencial genético das plantas. As respostas fisiológicas de sensibilidade ou não ao estresse são diferentemente reportadas, sendo que a tolerância ao encharcamento pode variar de somente poucas horas para muitos dias ou semanas. Esta diferença de tempo se dá pelas possíveis diferenças estruturais entre as espécies, pelo número de afilhos da planta, pela especificidade dos tecidos diretamente afetados, pelo estágio de desenvolvimento e pelas condições de temperatura do cultivo. O afilhamento é um dos três principais componentes do rendimento de grãos em cereais e é determinado pela capacidade que a planta possui de produzir e encher as espigas. Estando intimamente ligada a capacidade que as plantas possuem de tolerar o estresse por encharcamento. Solos encharcados estão presentes em vários estados brasileiros. Somente no Rio Grande do Sul 5,4 milhões de ha são de solos encharcados, destes em torno de 1 milhão de ha é utilizado com o cultivo do arroz, o restante desta área permanece subaproveitada para a produção de cereais. Neste cenário a busca de cultivares melhor adaptadas ao estresse por encharcamento, se faz de suma importância, devido à necessidade de genótipos mais produtivos, tolerantes e mais competitivos em relação ao custo benefício da produção de cereais. Neste trabalho 15 populações segregantes e 6 cultivares de trigo foram avaliadas para tolerância ao estresse por encharcamento, nos anos agrícolas de 2010, 2011 e 2012. O Objetivo deste trabalho foi de identificar se o método genealógico é eficiente para seleção em solos encharcados, se existe variabilidade genética para tolerância ao encharcamento em trigo, qual o efeito do estresse sobre caracteres do rendimento de grãos e do ciclo e quais os melhores genitores em relação às populações segregantes pela capacidade de combinação de cada genótipo. As análises estatísticas dos dados coletados foram realizadas pelos programas GENES (CRUZ, 2006) e R (Core Team, 2012), utilizando análises de variância, normalidade dos dados, teste de médias pelo método de Tukey a 5% de significância, estimativas da capacidade de combinação geral e específica para cada genótipo e a análise por variáveis canônicas. Os resultados indicam que o estresse por encharcamento em trigo está intimamente ligado à capacidade que as plantas têm de detectar e responder aos estímulos do estresse, diferenças estatísticas significativas foram encontradas para caracteres do rendimento de grãos e de ciclo. Os genitores que apresentaram maior capacidade geral de combinação foram o BRS177, o Figueira e o IPR85. Os genótipos mais promissores para seleção visando à tolerância ao encharcamento são representados pelos cruzamentos 02 (Juriti x IPR85), 07 (CEP29 x BRS177), 08 (CEP29 x Safira), 12 (IPR85 x Figueira), 13 (BRS177 x Safira) e 14 (BRS177 x Figueira) com maior destaque para os cruzamentos 02, 13 e 14.

Palavras chaves: Afilhamento. Encharcamento. Melhoramento vegetal. Componentes do rendimento. Análise dialética. Variáveis canônicas.

ABSTRACT

KAVALCO, Sydney Antonio Frehner **Selection of wheat genotypes in order to obtain the tolerance to flooding**. 2013. 94f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Flooding, as well as salinity, drought, toxicity (Na, Fe, Al, B, Mn) and freezing are the main abiotic stressors that restrict the growth and development, promoting the expression reduction of the genetic potential in plants. The physiological responses of sensitivity to stress are differently reported, and flooding tolerance may vary from only a few hours to several days or weeks. This time difference is given by the structural differences possibilities among species, by number of tillers per plant, by specific tissues directly affected, by the development stage and the temperature conditions of cultivation. The tillering is one of the three main components of grain yield in cereals and is determined by the capacity of the plant has to produce and fill the ears. Is closely linked to the ability of plants have to tolerate the flooding stress. Flooded soils are present in several Brazilian states. Only in Rio Grande do Sul are 5.4 million ha of flooded soils, from these around 1 million ha is used to produce rice, the rest of these area remains under-utilized for the cereal production. In this scenario the pursuit of better adapted cultivars to flooding stress, has very importance due to the need for more productive, tolerant and more competitive genotypes with a better relation of cost and crop production. In this work 15 segregating populations and six wheat cultivars were evaluated for tolerance to flooding stress, in the years 2010, 2011 and 2012. The objective of this study was to identify the effectiveness of pedigree method for selection in flooded soils, if there is genetic variability for flooding tolerance in wheat, the effect of stress on grain yield and cycle traits and what are the best parents in respect to segregating populations by combining ability of each genotype. Statistical analyzes of data were performed using the programs GENES (CRUZ, 2006) and R (CORE TEAM, 2012), using analysis of variance, data normality, average test by Tukey method at 5% of significance level, estimating the general and specific combining abilities for each genotype and canonical variable analysis. The results indicate that the flooding stress in wheat is closely linked to the ability of the plants have to detect and respond to the stress stimulation, statistically significant differences were found for grain yield and cycle traits. The parents who had higher general combining ability were BRS177, Figueira and IPR85. The most promising genotypes for selection to flooding tolerance are represented by populations 02 (Juriti x IPR85), 07 (CEP29 x BRS177), 08 (CEP29 x Safira), 12 (Figueira x IPR85) 13 (BRS177 x Safira) and 14 (BRS177 x Figueira) with greater emphasis on the populations 02, 13 and 14.

Keywords: Tillering. Flooding. Crop breeding. Yield components. Diallel analyses. Canonical variables.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 2 – USE OF DIALLEL AND CANONICAL VARIABLE ANALYSES TO EVALUATE TOLERANCE TO FLOODING IN BRAZILIAN WHEAT GENOTYPES.....	60
Figure 1. Graphic dispersion of the scores of the first (VC1) and second (VC2) canonical variables of wheat genotypes conducted without flooding in the year 2010. CGF / FAEM / UFPEL, 2013.....	82
Figure 2. Graphic dispersion of the scores of the first (VC1) and second (VC2) canonical variables of wheat genotypes conducted with flooding in the year 2010. CGF / FAEM / UFPEL, 2013.....	83
Figure 3. Graphic dispersion of the scores of the first (VC1) and second (VC2) canonical variables of wheat genotypes conducted without flooding in the year 2011. CGF / FAEM / UFPEL, 2013.....	83
Figure 4. Graphic dispersion of the scores of the first (VC1) and second (VC2) canonical variables of wheat genotypes conducted with flooding in the year 2011. CGF / FAEM / UFPEL, 2013.....	84
Figure 5. Graphic dispersion of the scores of the first (VC1) and second (VC2) canonical variables of wheat genotypes conducted without flooding in the year 2012. CGF / FAEM / UFPEL, 2013.....	84
Figure 6. Graphic dispersion of the scores of the first (VC1) and second (VC2) canonical variables of wheat genotypes conducted with flooding in the year 2012. CGF / FAEM / UFPEL, 2013.....	85
Figure 7. Graphic dispersion for joint analysis of the scores of the first (VC1) and second (VC2) canonical variables of wheat genotypes conducted with and without flooding in the years 2010, 2011 and 2012. CGF / FAEM / UFPEL, 2013.....	85

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1 – Agronomic Progress for Flooding Tolerance in Brazilian Wheat Genotypes.....	37
Table 1: Parents identification for each cross used in the experiments conducted with and without flooding, CGF / FAEM / UFPEL, 2013.....	50
Table 2: Estimates of mean squares for factorial variance analysis in wheat genotypes (populations and their parents), grown with (FD) and without flooding (NFD) for three consecutive years (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPEL, 2013.....	51
Table 3: Means analysis for the character number of fertile tillers (NFT), evaluated in wheat genotypes in factorial diallel model (populations and their parents) by Tukey test at 5% of significance, cultivated with flooding (FD) and without flooding (NFD) for three consecutive years (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPEL, 2013.....	52
Table 4: Means analysis for the character grain yield (GY), evaluated in wheat genotypes in factorial diallel model (populations and their parents) by Tukey test at 5% of significance, cultivated with flooding (FD) and without flooding (NFD) for three consecutive years (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPEL, 2013.....	53
Table 5: Means analysis for the character grain spike weight (GSW), evaluated in wheat genotypes in factorial diallel model (populations and their parents) by Tukey test at 5% of significance, cultivated with flooding (FD) and without flooding (NFD) for three consecutive years (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPEL, 2013.....	54
Table 6: Means analysis for the character grain spike number (GSN), evaluated in wheat genotypes in factorial diallel model (populations and their parents) by Tukey test at 5% of significance, cultivated with flooding (FD) and without flooding (NFD) for three consecutive years (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPEL, 2013.....	55
Table 7: Means analysis for the character thousand grain weight (TGW), evaluated in wheat genotypes in factorial diallel model (populations and their parents) by Tukey test at 5% of significance, cultivated with flooding (FD) and without flooding (NFD) for three consecutive years (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPEL, 2013.....	56
Table 8: Means analysis for the character days from emergence to flowering (DEF), evaluated in wheat genotypes in factorial diallel model (populations and their parents) by Tukey test at 5% of significance, cultivated with flooding (FD) and without flooding (NFD) for three consecutive years (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPEL, 2013.....	57

Table 9: Means analysis for the character days from flowering to maturity (DFM), evaluated in wheat genotypes in factorial diallel model (populations and their parents) by Tukey test at 5% of significance, cultivated with flooding (FD) and without flooding (NFD) for three consecutive years (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPel, 2013.....	58
Table 10: Means analysis for the character days from emergence to maturity (DEM), evaluated in wheat genotypes in factorial diallel model (populations and their parents) by Tukey test at 5% of significance, cultivated with flooding (FD) and without flooding (NFD) for three consecutive years (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPel, 2013.....	59
ARTIGO 2 – Use of Diallel and Canonical Variable Analyses to Evaluate Tolerance to Flooding in Brazilian Wheat Genotypes.....	60
Table 1: Mean square of multivariety variance analysis for two joint cultivation environments, with and without flooding, three years of experiment (2010, 2011 and 2012) and 21 wheat genotypes (15 segregating populations and 6 parentals) in eight adaptive and agronomic traits. Effect of Enviroment (ENV) and Genotype (GEN) and interactions between effects. CGF / FAEM / UFPel, 2013.....	73
Table 2: Estimated effect of General Combining Ability (GCA) and Specific Combining Ability (SCA) among wheat genotypes for the character Number of Fertile Tillers (NFT) evaluated in six cultivating environments, Non Flooded (NFLO) and Flooded (FLO) in three years of evaluation (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPel, 2013.....	74
Table 3: Estimated effect of General Combining Ability (GCA) and Specific Combining Ability (SCA) among wheat genotypes for the character Grain Yield (GY) evaluated in six cultivating environments, Non Flooded (NFLO) and Flooded (FLO) in three years of evaluation (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPel, 2013.....	75
Table 4: Estimated effect of General Combining Ability (GCA) and Specific Combining Ability (SCA) among wheat genotypes for the character Grain Spikelet Weight (GSW) evaluated in six cultivating environments, Non Flooded (NFLO) and Flooded (FLO) in three years of evaluation (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPel, 2013.....	76
Table 5: Estimated effect of General Combining Ability (GCA) and Specific Combining Ability (SCA) among wheat genotypes for the character Grain Spikelet Number (GSN) evaluated in six cultivating environments, Non Flooded (NFLO) and Flooded (FLO) in three years of evaluation (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPel, 2013.....	77

Table 6: Estimated effect of General Combining Ability (GCA) and Specific Combining Ability (SCA) among wheat genotypes for the character Thousand Grain Weight (TGW) evaluated in six cultivating environments, Non Flooded (NFLO) and Flooded (FLO) in three years of evaluation (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPel, 2013.....	78
Table 7: Estimated effect of General Combining Ability (GCA) and Specific Combining Ability (SCA) among wheat genotypes for the character Days from Emergence to Flowering (DEF) evaluated in six cultivating environments, Non Flooded (NFLO) and Flooded (FLO) in three years of evaluation (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPel, 2013.....	79
Table 8: Estimated effect of General Combining Ability (GCA) and Specific Combining Ability (SCA) among wheat genotypes for the character Days from Flowering to Maturity (DFM) evaluated in six cultivating environments, Non Flooded (NFLO) and Flooded (FLO) in three years of evaluation (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPel, 2013.....	80
Table 9: Estimated effect of General Combining Ability (GCA) and Specific Combining Ability (SCA) among wheat genotypes for the character Days from Emergence to Maturity (DEM) evaluated in six cultivating environments, Non Flooded (NFLO) and Flooded (FLO) in three years of evaluation (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPel, 2013.....	81
Table 10: Estimate of variance (eigenvalues), autovalue estimative (AV) and accumulated percentage variances (APV) of the canonical variables (VC), to estimate the distribution between 21 wheat genotypes evaluated in six cultivating environments, Non Flooded (NFLO) and Flooded (FLO) in three years of evaluation (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPel, 2013.....	82

LISTA DE ABREVEATURAS

Al	- Elemento químico alumínio.
B	- Elemento químico boro.
Ca	- Elemento químico cálcio.
CAP	- Centro Agropecuário da Palma.
cm	- Centímetros.
CGF	- Centro de Genômica e Fitomelhoramento.
DNA	- Ácido Desoxirribonucleico.
FAEM	- Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel.
Fe	- Elemento químico ferro.
F ₁	- Primeira geração de plantas em relação aos genitores.
F ₂	- Segunda geração de plantas em relação aos genitores.
F ₃	- Terceira geração de plantas em relação aos genitores.
F ₄	- Quarta geração de plantas em relação aos genitores.
F ₅	- Quinta geração de plantas em relação aos genitores.
F ₆	- Sexta geração de plantas em relação aos genitores.
ha	- Hectare.
K	- Elemento químico potássio.
kg ha ⁻¹	- Kilogramas por hectare.
MAPA	- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
Mbp	- Mil pares de bases.
Mg	- Elemento químico magnésio.
Mg ha ⁻¹	- Megagrama por hectare ou mil quilogramas por hectare.
Mn	- Elemento químico manganês.
N	- Elemento químico nitrogênio.
Na	- Elemento químico sódio.
P	- Elemento químico fósforo.
UFPeI	- Universidade Federal de Pelotas.
X ²	- Ki quadrado.
Zn	- Elemento químico zinco.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	18
2 REVISÃO DA LITERATURA	20
2.1 O TRIGO E SEU CULTIVO	20
2.2 O GENOMA DO TRIGO	22
2.3 SOLOS ENCHARCADOS	23
2.4 TOLERÂNCIA AO ENCHARCAMENTO	24
2.5 NÚMERO DE AFILHOS	26
2.6 MÉTODOS DE SELEÇÃO DE PLANTAS AUTÓGAMAS	28
3 OBJETIVO GERAL	30
4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
5 HIPÓTESE GERAL	31
6 HIPÓTESES ESPECÍFICAS	31
7 MATERIAL E MÉTODOS	32
8 AVALIAÇÃO DOS EXPERIMENTOS	33
9 ANÁLISE ESTATÍSTICA	34
10 RESULTADOS ESPERADOS	35
11 ATIVIDADES REALIZADAS	35
12 PLANO DE PUBLICAÇÃO	36
ARTIGO 1 – AGRONOMIC PROGRESS FOR FLOODING TOLERANCE IN BRAZILIAN WHEAT GENOTYPES	37
ABSTRACT	37
INTRODUCTION	38

MATERIAL AND METHODS	39
PLANT MATERIAL.....	39
EXPERIMENTAL DESIGN.....	39
PHENOTYPE EVALUATION.....	40
STATISTICAL ANALYZES.....	41
RESULTS	41
DISCUSSION	45
CONCLUSIONS	48
REFERENCES	48
ARTIGO 2 – USE OF DIALLEL AND CANONICAL VARIABLE ANALYSES TO EVALUATE TOLERANCE TO FLOODING IN BRAZILIAN WHEAT GENOTYPES	60
ABSTRACT	60
ABBREVIATIONS	61
INTRODUCTION	61
MATERIAL AND METHODS	63
PLANT MATERIAL.....	63
EXPERIMENTAL DESIGN.....	63
PHENOTYPE EVALUATION.....	64
STATISTICAL ANALYSES.....	64
RESULTS	65
DISCUSSION	69
CONCLUSION	71
ACKNOWLEDGMENTS	71

REFERENCES.....	71
13 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
14 CONCLUSÕES.....	86
15 REFERÊNCIAS.....	87
VITAE.....	94

1 INTRODUÇÃO GERAL

Em condições naturais e agrícolas, as plantas estão expostas a ambientes desfavoráveis, o que resulta em algum grau de estresse. O encharcamento, assim como a salinidade, o déficit hídrico, a toxicidade por elementos (Na, Fe, Al, B e Mn) e o congelamento são os principais estressores abióticos que restringem o crescimento e desenvolvimento, promovendo a diminuição da manifestação do potencial genético das plantas (TAIZ e ZEIGER, 2004).

As respostas fisiológicas de sensibilidade ou não ao estresse são diferentemente mensuradas, sendo que a tolerância ao encharcamento pode variar de somente poucas horas para muitos dias ou semanas. Esta diferença de tempo se dá pelas possíveis diferenças estruturais entre as espécies, pela especificidade dos tecidos diretamente afetados, pelo estágio de desenvolvimento e pelas condições de temperatura (VARTAPETIAN e JACKSON, 1997), assim como pelo número de afilhos de cada planta. O melhoramento de plantas, por meio das técnicas de seleção, pode promover o incremento da tolerância ao encharcamento a genótipos superiores.

Uma das principais etapas de um programa de melhoramento é a escolha dos genitores onde atuará a seleção natural e/ou artificial. Tal escolha é delimitada pela baixa capacidade em prever a intensidade e de que forma os efeitos genéticos dos genitores se manifestará em suas progênes. O desafio do melhorista é reunir em um só genótipo a maior frequência possível

de alelos favoráveis à espécie para determinado ambiente, provindos de diferentes genitores. Na escolha de genitores em trigo, os melhores cruzamentos são aqueles que apresentam maior probabilidade de fornecer progênies com desempenho superior, com elevado rendimento aliado a características agronômicas desejáveis (BENIN et al., 2009), como os caracteres relacionados a qualidade de grãos, resistência a doenças e a tolerância ao encharcamento.

Solos encharcados são caracterizados por apresentarem um horizonte “A” raso e um horizonte “B” impermeável, o que dificulta a drenagem natural da água, mantendo-a no solo por um longo período, causando prejuízos a culturas que não possuem adaptações que permitam o estabelecimento em condições de encharcamento. O Brasil possui aproximadamente 28 milhões de hectares de solos com ocorrência de encharcamento, sendo que o cultivo de arroz irrigado por encharcamento é realizado apenas no Sul do país em menos de dois milhões de hectares. O restante desta área permanece em repouso, ou como pastagem, resultando em um sub-aproveitamento para a produção de cereais (GOMES et al., 2006). Esta grande capacidade de exploração de fronteiras agrícolas demonstra que a seleção de genótipos mais promissores e tolerantes ao estresse por encharcamento tem grande importância e se torna uma necessidade dos programas de melhoramento vegetal localizados nestas regiões. Neste sentido, a busca de constituições genéticas que possibilitem melhores relações de custo/benefício para o cultivo de trigo nestes solos é vital para os produtores de cereais.

O padrão de afilhamento em trigo está intimamente ligado à tolerância ao encharcamento e consequentemente é influenciado pela quantidade de água no desenvolvimento da cultura, reduzindo o tamanho e o número de afilhos quando em deficiência antes da antese (LAWLOR et al., 1981) e causando a morte de afilhos quando ocorre após a antese (MUSICK e DUSEK, 1980), e pelo excesso promovendo a diminuição da emissão e a morte de afilhos e plantas quando submetidas a um longo período de encharcamento.

A seleção de genótipos superiores tem o objetivo de identificar simultaneamente vários caracteres agronomicamente interessantes. O conhecimento do desempenho agrônomo, das capacidades geral e específica

de combinação e das diferenças entre os genótipos pode auxiliar na seleção de um genótipo mais adequado às exigências de uma agricultura voltada aos solos característicos da região de Pelotas-RS.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 O Trigo e seu cultivo

Antigamente classificado como gramínea, atualmente pertencente à família Poaceae, mesma família do milho e do arroz, o trigo é uma planta originária do Oriente Médio da antiga região da Mesopotâmia (planalto de origem vulcânica, delimitado entre os vales dos rios Tigre e Eufrates, ocupado pelo atual território da Síria, Irã e Iraque). Relatos de seu plantio datam de aproximadamente 6700 anos atrás, estando intimamente ligado à história da humanidade, presente desde a mudança de hábitos das tribos nômades para sedentárias (OSÓRIO, 1989). Desde então, seu cultivo, produção e armazenamento foram amplamente difundidos para diversas regiões do mundo.

Considerado um dos principais alimentos produzidos e ocupando cerca de 20% da área agrícola útil mundial, é a principal fonte de carboidratos da humanidade, podendo ser cultivado nos mais variados climas, desde solos com características peculiares do Oriente Médio a regiões subtropicais com alto índice pluviométrico. No Brasil, seu plantio é realizado em três regiões bem distintas: Sul, Centro Sul e Brasil Central, cada uma com características climáticas, variedades e sistemas de produção diferenciados (RCBPTT; EMBRAPA, 2010).

O cultivo de trigo no Brasil teve seu início em 1534 na antiga Capitania de São Vicente (atual região dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Paraná), mas foi a partir de 1940, que a cultura começou a se expandir comercialmente nos estados do Rio Grande do Sul e do Paraná (EMBRAPA, 2010). Agricultores da região sul do Paraná plantavam sementes de trigo trazidas da Europa em solos relativamente pobres, onde as cultivares de porte alto, tolerante ao alumínio tóxico presente no solo, apresentavam melhor adaptação.

A partir de 1970, o trigo expandiu-se para as áreas de solos mais férteis do norte e oeste do Paraná e em 1979 este estado assumiu a liderança na produção de trigo no Brasil. As maiores áreas semeadas e produção foram registradas em 1986/87 quando, em uma área de 3.456 mil ha, o Brasil produziu seis milhões de toneladas de trigo. Naquela safra, o Paraná produziu três milhões de toneladas e a produtividade média alcançou $1,894 \text{ Mg ha}^{-1}$ (EMBRAPA, 2010).

A cadeia produtiva do trigo no Brasil, devido as suas particularidades, há muito necessita de uma atuação mais direta e integrada entre os diversos setores, tanto públicos, como privados. Entre os anos de 2001 e 2007, o Brasil produziu apenas 40% da demanda interna do produto, sendo o valor médio anual das importações para garantir nosso abastecimento da ordem de US\$ 929 milhões (MEZIAT e VIEIRA, 2009).

A necessidade de maiores investimentos é explicada pelas elevadas despesas com as importações, sendo que a busca de cultivares mais adaptadas, mais produtivas e com qualidades específicas pode ajudar a sanar o déficit produtivo no Brasil, cuja produtividade média é de apenas 3 Mg ha^{-1} .

O melhoramento de plantas pode agregar a produtividade dos cereais, visto que países como China (4 Mg ha^{-1}) e EUA ($4,7 \text{ Mg ha}^{-1}$), possuem produtividades superiores a média do Brasil, com uso de técnicas de melhoramento, tendo uma maior oferta de alimentos, sem necessariamente, ter que expandir a fronteira agrícola, mantendo um maior equilíbrio ambiental (BACALTCHUK, 2002). Este incremento pode ser obtido de duas formas, direta e indiretamente. De forma indireta têm-se fatores como a tolerância de plantas a insetos e/ou tolerância a herbicidas não seletivos, o que faz com que a competição com insetos e plantas daninhas seja de menor impacto, possibilitando um campo de cultivo limpo. Os caracteres como o afilhamento, massa de mil grãos, número de grãos por espiga e tamanho do grão possuem influências diretas sobre o rendimento de grãos.

2.2 O Genoma do Trigo

As espécies de trigo conhecidas formam uma série poliploide e suas relações dentro da tribo Triticeae foram extensivamente estudadas por meio da análise genômica.

A subtribo Triticinae é formada pelos gêneros *Triticum*, *Aegilops*, *Agropyron*, *Secale* e *Haynaldia*, os quais apresentam origem relativamente recente. A hibridação entre esses gêneros é possível, permitindo que ocorra a introgressão gênica. Consequentemente constituem valiosos recursos genéticos à prospecção de genes e posterior uso no melhoramento do trigo cultivado. As relações entre tais espécies são estudadas pela análise dos respectivos genomas (MORAES-FERNANDES et al., 2000) e dos genomas de seus híbridos.

No caso do trigo, cada genoma ou grupo haploide contém sete cromossomos e é designado por uma letra maiúscula. Assim, têm-se trigos diploides, tetraploides e hexaploides: *Triticum monococcum* L ($2n=2x=14$, AA), *Triticum turgidum* L ($2n=4x=28$, AABB) e *Triticum aestivum* L ($2n=6x=42$ AABBDD) (MACKEY, 1975).

Sendo assim, no trigo de panificação (*T. aestivum*) combinam-se os genomas completos de três espécies diploides distintas (AABBDD), mas relacionadas geneticamente. A complexidade deste tornou-se um problema relevante quando realizado o mapeamento genético, o desenvolvimento de marcadores moleculares, o sequenciamento de genes funcionais e a transferência de genes, o que justifica ainda mais as pesquisas com a cultura.

Essa combinação de genomas influencia diretamente no tamanho do mesmo, o qual apresenta aproximadamente 17.000Mbp, 40 vezes maior que o genoma do arroz. Possui em torno de 90 mil genes e apresenta uma grande quantidade de DNA repetitivo.

Desse modo, muitos genes apresentam herança polissômica, isto é, parte dos genes presentes no genoma A pode estar repetida nos genomas B e D, tornando mais complexos os padrões de segregação mendeliana e dificultando as análises genéticas (MORAES-FERNANDES, 1982).

Além do mencionado, a poliploidia natural confere ao trigo certas características que facilitam a incorporação de genes de espécies próximas. A

associação entre melhoramento genético vegetal e princípios básicos da genética têm sido importante para os grandes avanços na adaptação de novos ambientes, bem como nos aumentos de rendimento e na qualidade do produto comercial (FEDERIZZI et al., 1999).

2.3 Solos encharcados

Solos encharcados ou solos hidromórficos são aqueles desenvolvidos sobre sedimentos e encontrados nas planícies adjacentes aos rios e lagos (KLAMT et al., 1985), normalmente caracterizados por possuírem um horizonte A raso e um horizonte B impermeável, sendo um solo sem muita capacidade de infiltração da água. Como estes sedimentos apresentam grande heterogeneidade quanto à composição granulométrica e mineralógica, os solos deles desenvolvidos apresentam grande variação de características de um local para outro, as quais se refletem na aptidão de uso dos mesmos (MACHADO et al., 1996).

Além disso, os solos hidromórficos do Rio Grande do Sul ocupam extensas áreas com relevo variando de plano a suavemente ondulado. Apresentando, em sua maioria, densidade naturalmente elevada e relação micro/macro poros muito alta, além da fertilidade natural de média a baixa, o que contribui de forma negativa para o cultivo de espécies de sequeiro. Abrangem uma área de aproximadamente 5,4 milhões de hectares, representando 20% da área total do Estado (GOMES et al., 2006).

O uso intensivo de máquinas e implementos agrícolas pesados para o preparo de solos, cultivados com arroz irrigado, contribui, segundo Soares (1989) para o aumento dos problemas estruturais já existentes nestes solos, tais como a formação de camadas compactadas que provocam redução do volume de poros, aumentando assim, a densidade do mesmo (MACHADO et al., 1981; NOVAK, 1992).

Por serem tecidos aeróbicos, as raízes e rizomas submetidos ao encharcamento, diminuem a absorção e transporte de íons, promovendo um déficit energético em toda a planta, causado pela precária oxigenação das camadas superiores do solo. As plantas que desenvolvem a capacidade de sobreviver em ambientes alagados, o fazem por diferentes mecanismos. Um

deles é a formação de aerênquimas, canais que permitem as trocas gasosas entre os tecidos da planta. Outro é a regulação da expressão gênica em resposta ao estresse anaeróbico (VARTAPETIAN et al., 2003).

A possibilidade de uso mais intensivo e lucrativo destes terrenos, está diretamente ligada à disponibilização de espécies mais adaptadas a este tipo de solo e com a implantação de um sistema de sucessão de culturas que possibilite a cobertura permanente do solo com os restos culturais, além do manejo eficiente da água superficial.

O arroz daninho (vermelho e preto), por suas características, e pela prática do monocultivo e do uso de sementes de arroz de baixa pureza física, é uma das plantas daninhas que mais tem concorrido para a redução da produtividade do arroz irrigado no RS, podendo reduzir em até 20% a produção total do Estado, contribuindo, assim, de forma decisiva para a redução dos lucros dos orizicultores. Em decorrência da infestação com plantas daninhas, os solos encharcados, cultivados com arroz irrigado no RS, são utilizados com arroz um ano, no máximo dois em sequência, e após ficam em pousio, por períodos de três ou mais anos. Durante este intervalo de tempo, os solos são explorados com pecuária de corte extensiva, a qual apresenta índices de produtividade muito baixos. Esses solos poderiam ser mais bem utilizados, se fossem introduzidas no sistema produtivo culturas alternativas ao arroz irrigado, como milho, soja, sorgo e trigo (GOMES et al., 2002). Portanto, a disponibilização de cultivares de trigo tolerante ao estresse por encharcamento ajudará, por exemplo, no controle de um grande problema para a cultura do arroz que é o arroz vermelho além de se tornar uma alternativa como espécie produtora de grãos para essas regiões.

2.4 Tolerância ao Encharcamento

A maioria das espécies vegetais cultivadas tem seu desenvolvimento afetado pelo excesso de água em solos encharcados ou mal drenados. A pequena taxa de oxigênio livre para troca nestes ambientes é o que impossibilita a sobrevivência das plantas, sendo que pouco tempo sob encharcamento é suficiente para causar danos permanentes nas plantas.

Além disso, alguns fatores contribuem para o desequilíbrio fisiológico das plantas nessas condições, como a baixa disponibilidade de nutrientes e minerais, causada pela diminuição da permeabilidade das raízes, o excesso ou falta de hormônios relacionados com as raízes, o decréscimo de nitrogênio e matéria orgânica no solo, o aumento de substâncias tóxicas às plantas e a maior ocorrência de pragas e doenças (GOMES et al., 2006).

O encharcamento impõe uma pressão de seleção severa nas plantas, principalmente porque o excesso de água pode privá-las de certas necessidades básicas, como o oxigênio e o dióxido de carbono reduzindo a fotossíntese. É uma das principais influências abióticas sobre a distribuição das espécies e da produtividade agrícola em todo o mundo (JACKSON et al., 2009). Estudos na Índia e na Austrália (SETTER et al., 2009), mostraram que a quantidade de elementos disponíveis e solúveis em solo encharcado também são relevantes pelos danos causados a cultura do trigo. A interação do solo altamente reduzido quando encharcado (baixo potencial redox), aumenta a disponibilidade e absorção de Na, Fe, Al, B e Mn promovendo um efeito tóxico sobre as plantas e diminui a absorção e transporte dos íons N, P, K, Ca, Mg e Zn promovendo um decréscimo na produtividade. Estes resultados representam um grande desafio para o desenvolvimento de novos genótipos tolerantes, uma vez que estes genótipos serão cultivados em diferentes locais e em diferentes tipos de solo (JACKSON et al., 2009).

Estudando a reação fisiológica de várias espécies vegetais sob prolongadas condições de encharcamento, Yu et al. (1969) elucidaram o fato de que quando o solo está saturado a difusão do oxigênio é fortemente reduzida. Entretanto, alguns mecanismos podem suprir a falta de oxigênio em algumas plantas específicas, como a aeração interna, através de espaços intracelulares ou aerênquimas.

Em milho o estresse por encharcamento induz a formação de grandes espaços intercelulares, formando aerênquimas do tipo lisígeno, devido a aumentos nas atividades das enzimas de degradação e afrouxamento da parede celular, como, por exemplo, celulase, poligalacturonase e xiloglucano Endo-transglicosilase (DANTAS et al., 2001).

Sob anoxia, a mobilização do cálcio de reservatórios intracelulares até o citoplasma induz a transcrição dos mRNAs *adh1* e *sh1*, que quando

traduzidos, levam à síntese de proteínas anaeróbicas desidrogenases alcoólicas e sintases da sacarose, respectivamente (SHEEN, 1996), tornando as plantas mais tolerantes ao estresse.

Sendo assim, a absorção de oxigênio é muito dependente da porosidade das raízes e esta característica está ligada à capacidade de tolerância à anoxia. A tolerância ao encharcamento pelas plantas está intimamente relacionada à anatomia e ao seu metabolismo e vários são os fatores relacionados a isso.

2.5 Número de Afilhos

O caráter número de afilhos férteis é bastante complexo quanto ao seu melhor aproveitamento ao melhoramento de plantas em diversas espécies, seja pela complexidade do controle genético e dos processos envolvidos na sua manifestação fenotípica, como pela sua resposta diferencial às condições edafoclimáticas e sistemas de manejo (KURAPARTHY et al., 2007). Estudos com a cultura do trigo permitiram inferências sobre o controle genético de genótipos com elevado número de afilhos, por meio da análise dialélica, destacando a ação gênica de sobredominância como a principal responsável pela sua expressão (DERE e YILDIRIM 2006). Embora um gene, mapeado no braço curto do cromossomo 1^a do trigo diploide (*Triticum monococcum*), tenha sido identificado pela inibição do afilhamento (SPIELMEYER e RICHARDS, 2004), a maior parte do entendimento da variação para o afilhamento em trigo hexaplóide (*Triticum aestivum*) foi encontrado relacionado a locos de caracteres quantitativos (QTL – *Quantitative trait loci*) (KURAPARTHY et al., 2007).

A concentração de hormônios também está relacionada ao afilhamento em trigo, sendo que o balanço entre auxinas e citocininas tem um importante papel na regulação do crescimento e desenvolvimento meristemático (LEYSER, 2006; VEIT, 2006). O controle do desenvolvimento dos afilhos em gramíneas parece ocorrer devido à sincronização entre a divisão e o alongamento celular, e estes processos estão relacionados às condições hormonais das plantas. A ação exercida pela auxina (divisão e alongamento celular) e citocinina (divisão celular) está associada, respectivamente, à

inibição e promoção do desenvolvimento de gemas laterais (TAIZ e ZEIGER, 2004). Vários fatores ambientais atuam com grande efeito sobre o número de afilhos em trigo, sendo eles: a luminosidade, a quantidade de nitrogênio e o fotoperíodo.

A quantidade de radiação solar incidente e o efeito da relação entre a luz vermelha e vermelho extremo (V:VE) sobre o dossel (área foliar) da planta se destacam com grande efeito sobre a dominância apical (BALLARÉ et al., 1987). Em trigo pode ser evidenciado que o efeito da intensidade da luz durante o desenvolvimento das plantas tem um incremento direto na taxa de crescimento e de afilhamento (ASPINAL e PALEG, 1964), em função da maior quantidade de fotoassimilados disponíveis, oriundos da maior área fotossinteticamente ativa.

A disponibilidade de nitrogênio é considerada um elemento essencial para as plantas, por fazer parte das moléculas de clorofila, aminoácidos, DNA, citocromos e de todas as enzimas e coenzimas (MARIOT et al., 2003). Além disto, quando em deficiência, no período de afilhamento, ocasiona assincronia na emissão de afilhos. Quando a deficiência ocorre neste período, os afilhos têm pouca chance de sobreviver, mesmo que a planta receba suplementação de nitrogênio em períodos posteriores (MUNDSTOCK, 1999), afetando consideravelmente o rendimento de grãos da cultura, justamente em virtude da exportação de carboidratos do colmo principal para os novos afilhos ser diminuta.

O aumento do fotoperíodo reduz a relação do número de afilhos por folha emergida por planta em trigo e cevada sendo que a taxa de surgimento de afilhos aumenta quando as plantas se desenvolvem em fotoperíodo curto e decrescem quando transferidas para fotoperíodo longo (MIRALLES; RICHARDS, 2000). O padrão de afilhamento pode ser muito influenciado pela quantidade de água no desenvolvimento da cultura, reduzindo o tamanho e o número de afilhos quando em deficiência antes da antese (LAWLOR et al., 1981) e causando a morte de afilhos quando ocorre após a antese (MUSICK e DUSEK, 1980), e pelo excesso promovendo a diminuição da emissão e morte de afilhos e plantas quando submetidas a um longo período de encharcamento.

2.6 Métodos de Seleção de Plantas Autógamas

A seleção é uma das principais ferramentas do melhorista de plantas, independente do tipo de método de melhoramento utilizado. A seleção é utilizada tanto no melhoramento de espécies autógamas como de alógamas. As autógamas, como é o caso do trigo, são plantas que realizam sua reprodução de forma sexuada, sem a ocorrência de fecundação cruzada. Entre os métodos de seleção utilizados para o melhoramento de plantas autógamas existem dois grandes grupos bem definidos, aqueles que utilizam hibridação e aqueles que não utilizam (ALLARD, 1966).

A hibridação é uma técnica que consiste em cruzar genótipos distintos para ampliação da variabilidade genética, na qual atuará a seleção natural e artificial. Basicamente consiste em retirar os grãos de pólen (gametas masculinos) de uma planta e inseri-los no aparelho reprodutor feminino de outra planta, obtendo assim genótipos variados na segunda geração de filhos.

A autofecundação pode ser motivada por diferentes mecanismos, dos quais o mais positivo é a cleistogamia, situação na qual os antécios nunca abrem. Outro mecanismo ocorre em espécies como o trigo, a cevada, a aveia e o arroz, onde o pólen pode ser transportado por insetos ou outros mecanismos, porém a polinização do estigma ocorre antes da abertura do antécio, denominado casmogamia (BRIGGS e KNOWLES, 1967), não permitindo a fecundação cruzada.

O melhoramento genético de plantas requer três etapas fundamentais para a obtenção de genótipos superiores: 1) Presença de variabilidade genética; 2) Eficiência na seleção dos genótipos genitores; 3) Ajuste das melhores constituições ao ambiente (testes e avaliações).

Os métodos de seleção de plantas autógamas que não utilizam hibridação são: 1) Introdução – método de adaptação de cultivares estrangeiras ou de variedades de outras regiões; 2) Seleção de plantas individuais sem teste de progênie – seleção de plantas dentro de uma população, mistura das sementes das plantas selecionadas e avaliação em ensaios com repetição. 3) Seleção de plantas individuais com teste de progênie – cada planta selecionada é mantida em uma parcela individual na próxima geração, onde serão avaliadas e, se aprovadas, são submetidas a ensaios de competição.

As hibridações, por permitirem a recombinação de caracteres encontrados em dois ou mais indivíduos e a posterior segregação constitui a forma mais frequentemente utilizada para formação de populações com variabilidade genética em espécies autógamas. O grau de variabilidade genética na nova população está diretamente relacionado com a distância genética dos genitores envolvidos nos cruzamentos. O desenvolvimento de novas cultivares por meio de hibridações envolve quatro etapas básicas: 1) formação das populações segregantes (variabilidade genética); 2) condução das populações formadas; 3) avaliação e seleção de linhagens superiores e 4) multiplicação das sementes e distribuição aos agricultores (ALLARD, 1966).

Dentre os métodos de seleção de plantas autógamas com hibridação, destacam-se: 1) Seleção Massal, 2) Populacional, 3) Genealógico e 4) Descendente de Uma Semente (SSD). Cada um com suas particularidades e utilizados com ou sem modificações. Todos os métodos são empregados a partir da segunda geração de descendentes F₂, pois em F₁ todas as plantas do mesmo cruzamento não apresentam diferenças genotípicas.

A Seleção Massal representa o método de condução mais simples, de F₂ a F₄ onde na colheita são selecionadas as melhores plantas misturadas e utilizadas na próxima semeadura. Em F₅ a amostra das melhores plantas selecionadas da geração anterior será conduzida de forma espaçada, promovendo grande participação da seleção artificial, onde as melhores plantas serão selecionadas e mantidas individualmente para comporem linhas na geração F₆ na qual é realizada a seleção entre linhas (ALLARD, 1966; BORÉM e MIRANDA, 2013).

O método Populacional compreende a semeadura das gerações segregantes (F₂-F₄) em uma única parcela, a qual não sofre seleção artificial e sua colheita é realizada em Bulk (colheita de todas as plantas juntas), visando o avanço de geração sem perda de variabilidade genética aumentando a cada geração a frequência de homozigotos. A geração F₁ deve ser grande para garantir todos os possíveis genótipos em F₂. A seleção é realizada com as plantas em alta homozigose (F₅ e F₆), as plantas selecionadas em F₅ irão compor as linhas em F₆ onde realiza-se a seleção entre as linhas (ALLARD, 1966; BORÉM e MIRANDA, 2013).

O método Genealógico é o mais indicado para condução de populações segregantes de trigo, este método baseia-se na seleção de espigas de uma única planta em todas as gerações. As plantas F1 são semeadas espaçadas para permitir a produção máxima de sementes, em F2 ocorre à seleção das melhores plantas que irão compor as linhas da próxima geração, isso é realizado até F5. Em todas as gerações é possível realizar o teste de progênie com a identificação de todas as plantas e linhagens em todas as gerações. A interação do genótipo com o ambiente é máxima neste método, sendo a contribuição do ambiente no fenótipo de muita importância. Em F6 é realizado a seleção das melhores linhas que irão compor os ensaios de rendimento (ALLARD, 1966; BORÉM e MIRANDA, 2013).

O método SSD (Single Seed Descent) foi elaborado na premissa de ausência de seleção tanto natural como artificial em todas as gerações, a cada geração são colhidas uma ou poucas sementes de cada planta que são utilizadas na próxima geração, este método possibilita realizar o avanço de mais de uma geração por ano, sendo a variabilidade da população mantida e a homozigose das plantas aumentada a cada geração. Das gerações F2 a F5, é realizado o avanço de geração com as plantas semeadas espaçadas, sendo então selecionadas as melhores linhagens em F6, para serem utilizadas nos ensaios de rendimento. Toda a variabilidade presente em F2 é mantida até a geração F6 (ALLARD, 1966; BORÉM e MIRANDA, 2013).

3 Objetivo Geral

Este trabalho teve o objetivo de determinar os efeitos principais de ambiente, ano e genótipo, por meio de cruzamento dialélico, a fim de obter informações genéticas úteis para a seleção de genitores em trigo para tolerância ao encharcamento.

4 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos este trabalho buscou avaliar:

- O efeito do estresse por encharcamento nos componentes do rendimento de grãos e em caracteres de ciclo em trigo;
- A influência do estresse por encharcamento no número de afilhos em trigo;
- A relação do ciclo de cada genótipo com a tolerância ao encharcamento;
- A influência dos anos de cultivo para a cultura do trigo;
- A relação da perda de produtividade frente ao estresse proposto.

5 Hipótese Geral

A partir da variabilidade obtida em um modelo dialélico completo sem os recíprocos, com 6 genótipos genitores, utilizando ambientes de cultivo e repetição em três diferentes anos é possível obter linhagens superiores em relação a tolerância ao estresse por encharcamento em trigo.

6 Hipóteses Específicas

- Caracteres de rendimento e de ciclo em trigo não são afetados pelo estresse por encharcamento.
- O número de afilhos possui relação com o estresse por encharcamento.
- O ciclo da cultura não interfere na resposta ao estresse por encharcamento em trigo.
- Diferentes anos de cultivo não possuem efeito sobre o cultivo de trigo.
- O estresse por encharcamento não afeta a produtividade em trigo.

7 Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos no campo experimental do Centro de Genômica e Fitomelhoramento (CGF), pertencente ao Centro Agropecuário da Palma (CAP) da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), no período de inverno/primavera dos anos de 2010, 2011 e 2012.

Foram utilizados seis genótipos genitores (FUNDACEP 29, IPR 85, OCEPAR 11-JURUTI, SAFIRA, BRS FIGUEIRA e BRS 117) e 15 populações segregantes de trigo de origem brasileira em gerações diferentes (F_4 , F_5 e F_6) para cada ano de experimentação. Foi utilizado o esquema de blocos casualizados, com três repetições para cada ambiente de condução por ano.

Os genitores foram escolhidos devido ao seu desempenho agrônomico e variabilidade de suas características em relação ao afilhamento, pois tal caráter é altamente associado ao estresse por encharcamento. As cultivares FUNDACEP 29, IPR 85 e OCEPAR 11-JURUTI são plantas com reduzido número de afilhos, já as cultivares SAFIRA, BRS FIGUEIRA e BRS 117 são plantas com grande número de afilhos. Tais genótipos foram submetidos a cruzamentos artificiais conforme modelo dialélico completo sem os recíprocos, resultando em 15 combinações híbridas (Tabela 1). Tal experimento foi realizado nos anos de 2005, 2006 e 2007 (VALÉRIO et al., 2008).

Os tratos culturais foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do trigo (CBPTT, 2010, 2011 e 2012), sendo a adubação de base realizada com uma dosagem de 350 kg ha^{-1} , de adubo comercial com formulação 5-20-20. A adubação de cobertura foi realizada em duas repetições de 30 kg ha^{-1} , cada uma com metade da quantidade recomendada de uréia para a cultura. A primeira, quando as plantas atingiram o estágio V4 de desenvolvimento e a segunda logo após o término da indução do encharcamento sob as plantas.

Cada linha foi considerada uma repetição e avaliada individualmente. Para cada ano de experimentação foi utilizado diferente número de linhas no experimento. Em 2010, foram semeadas 3 linhas de 10 plantas para cada família segregante. A avaliação em 2010 foi realizada para todas as plantas do experimento. Das 180 plantas avaliadas em cada família, 18 foram

selecionadas para composição do experimento de 2011. Em 2011 foram semeadas 18 linhas com 10 plantas em cada linha sendo que para os caracteres avaliados a campo foram consideradas todas as plantas da linha. Para os caracteres avaliados em laboratório foi realizado a amostragem de 5 plantas de cada linha. Das 540 plantas avaliadas para cada família segregante, 18 foram selecionadas para o experimento de 2012. Em 2012 foram semeadas 18 linhas com 10 plantas cada, sendo que para os caracteres avaliados a campo, todas as plantas foram utilizadas e para os caracteres avaliados em laboratório novamente foi feita amostragem de 5 plantas de cada linha. A semeadura dos 3 experimentos foi realizada com plantas espaçadas a 30 cm dentro e 20 cm entre as linhas.

O estresse por encharcamento foi realizado do início do afilhamento (estádio 10) ao início do florescimento (estádio 10.5) na escala de Feeks e Large (1954), totalizando aproximadamente 20 dias. Durante o período foi mantido a saturação de água no solo com reposição quando necessária, sem a formação de lâmina de água, mas com saturação total do solo. As plantas foram avaliadas no período anterior ao encharcamento, posterior e ao final do ciclo. Dados relativos ao afilhamento, florescimento e maturação foram avaliados no decorrer do cultivo. A incidência de pragas e doenças também foi considerada nas avaliações.

8 Avaliação dos Experimentos

A avaliação dos experimentos foi realizada durante o ciclo de desenvolvimento da cultura e também após a colheita para os caracteres do rendimento de grãos.

O Número de Afilhos Fértis (NAF) foi avaliado a campo ao final do período reprodutivo das plantas, quando pelo menos 50% delas estavam em estado de maturação fisiológica.

O Rendimento Grãos (RG) foi avaliado em laboratório com a pesagem em gramas de todos os grãos de todas as espigas, para cada planta do experimento.

A Massa de Grãos por Espiga (MGE) foi mensurada em laboratório com o auxílio de uma balança de precisão, com a pesagem da massa de grãos de uma espiga, dada em gramas.

O Número de Grãos por Espiga (NGE) foi avaliado em laboratório com a contagem de todos os grãos de uma espiga de cada planta.

A Massa de Mil Grãos (MMG) foi mensurada em laboratório, após a contagem de duzentos grãos de cada planta e obtenção do volume de mil grãos foi realizada sua pesagem.

O caráter de Dias da Emergência ao Florescimento (DEF) foi avaliado a campo, com o registro da data de emergência e registro da data em que 50% mais uma planta da linha avaliada apresentavam florescimento, estipulando assim o período entre as duas datas como o caráter avaliado.

O caráter de Dias do Florescimento à Maturação (DFM) foi avaliado a campo, com o registro da data em que 50% mais uma planta da linha apresentavam florescimento até a data em que 50% das plantas mais uma apresentavam maturação fisiológica. A diferença entre as datas correspondeu ao caráter mensurado.

O caráter de Dias da Emergência a Maturação (DEM) foi mensurado como a totalidade dos dias de desenvolvimento, da emergência a maturação fisiológica das plantas em cada linha.

O Acamamento (ACAM), a Ferrugem da Folha (FFO), a Ferrugem do Colmo (FCO), a Giberela (GIB), a Mancha (MAN) e o Vírus do Nanismo Amarelo da Cevada (VNAC) foram mensurados a campo, estipulando porcentagens de ocorrência para cada linha de plantas, contudo não foram utilizados como caracteres na análise estatística.

9 Análise estatística

Cada parcela, constituída por diferentes números de linhas e plantas em cada ano, foi utilizada como uma repetição para a análise estatística, realizada em blocos casualizados sem parcelas perdidas, com três repetições e 21 genótipos, sendo as 15 famílias segregantes e os seis genitores utilizados nos cruzamentos. Os dados obtidos foram avaliados pela análise de variância,

análise de médias pelo método de Tukey a 5% de significância, análise dialélica e de variáveis canônicas.

10 Resultados Esperados

Estabelecer uma metodologia eficiente para seleção de genótipos tolerantes ao estresse por encharcamento, identificando a melhor maneira de realizar a seleção para uso em solos encharcados. Obter linhagens melhor adaptadas a solos encharcados do que os genótipos hoje disponíveis para cultivo. Promover o cultivo de trigo na região de aplicação deste projeto, definindo épocas de semeadura e cultivo dos genótipos obtidos.

11 Atividades realizadas

Condução do experimento de 2010, com a comparação entre ambientes de seleção e da avaliação dos genótipos para seleção.

Condução do experimento de 2011, com a comparação entre métodos de seleção e da avaliação do ganho genético das populações selecionadas de 2010 para 2011.

Condução do experimento de 2012, semeadura realizada em junho, para comparação das populações formadas em 2011, com cultivo em ambiente encharcado e não encharcado, avaliação da eficiência dos métodos de seleção e comparação entre ambientes de cultivo.

Condução do experimento de 2013, semeadura realizada em junho, para comparação das populações formadas em 2012, com cultivo em ambiente encharcado e não encharcado, avaliação da eficiência dos métodos de seleção e comparação entre ambientes de cultivo.

Outros experimentos foram realizados na busca de respostas da interferência do encharcamento no desenvolvimento do trigo. Em 2009, no campo experimental a EMBRAPA Clima Temperado unidade Terras Baixas, foi realizado o primeiro experimento, mas por motivos de publicação tal experimento não foi utilizado nas análises estatísticas. Assim como os experimentos realizados em casa de vegetação nos anos de 2010, 2011 e

2012, com o objetivo de avanço de geração e de avaliação de outros genótipos para tolerância ao encharcamento.

Análises moleculares também foram conduzidas para associação de marcadores microssatélites relacionados ao número de afilhos em trigo. Estes trabalhos foram desenvolvidos durante o mestrado para posterior utilização nas populações de mapeamento que foram conduzidas a campo. Existe possibilidade de trabalhos futuros utilizarem os marcadores desenvolvidos e as linhagens desenvolvidas com este trabalho para associação do número de afilhos com o estresse por encharcamento.

12 Plano de publicação

Publicação de mais de 30 resumos e 20 apresentações entre eventos relacionados ao melhoramento vegetal e a cultura do trigo.

Três artigos foram escritos, por enquanto apenas um foi aceito para publicação com estimativas de publicação de pelo menos 6 artigos até o final de 2014.

Possibilidade de publicação em revistas nacionais e internacionais de mais de 10 artigos com os trabalhos realizados a campo.

ARTIGO 1 – CROP SCIENCE

Agronomic Progress for Flooding Tolerance in Brazilian Wheat Genotypes

Sydney Antonio Frehner Kavalco, Cristiano Mathias Zimmer, Eder Licieri Groli,
Ricardo Figueiredo, Diego Baretta, Ariano Martins de Magalhães Júnior and Antonio
Costa de Oliveira.

Sydney Antonio Frehner Kavalco, Eder Licieri Groli, Cristiano Mathias Zimmer,
Ricardo Figueiredo, Diego Baretta and Antonio Costa de Oliveira at Plant Genomics
and Breeding Center at Faculty of Agronomy, 3° Floor, of Federal University of
Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. Ariano Martins de Magalhães Júnior at Embrapa
Temperate Climate, BR 392, km 78, P.O. Box 403, Pelotas, RS, Brasil.

Abstract

The flooding, as well as salinity, drought and freezing are the main abiotic stressors that restrict the growth and development of plants. The flooding tolerance may vary from only a few hours to several days or weeks. This time difference is given by the possible structural differences between the species, the tissue specificity directly affected, the stage of development and the temperature conditions of cultivation. In this work 15 segregating populations and six wheat cultivars were evaluated for tolerance to waterlogging stress, in the years 2010, 2011 and 2012 in a randomized block design with three replications per environment per year. The flooding stress directly affects the

components of grain yield and the characters of cycle. Genotypes with higher period of emergency to flowering have better response to flooding stress.

Introduction

Plants may be exposed to adverse environments when cultivated in natural and agricultural conditions, resulting in some degree of stress. The waterlogging as well as salinity, drought and freezing are the main abiotic stressors that restrict the plant growth and development, promoting the reduction of the potential genetic expression of plants (TAIZ; ZEIGER, 2004).

The physiological responses of sensitivity or not to the stress are differently reported, so waterlogging tolerance may vary from few hours to several days or weeks. This time difference is possible given by the structural differences between species, the tissue specificity directly affected by the stress, the stage of development and the temperature conditions (VARTAPETIAN; JACKSON, 1997).

The tillering pattern in wheat is closely connected to the flooding tolerance and therefore is influenced by the water amount of the crop, reducing the size and number of tillers while on disability before anthesis (LAWLOR et al., 1981) and causing the death of tillers when it occurs after anthesis (MUSICK; DUSEK, 1980), and by excess promoting the reduction of emission and death of tillers and plants when subjected to a long period of waterlogging.

Waterlogged soils are present in several Brazilian states, only in Rio Grande do Sul are 5.4 million ha of lowland soils, from these one million ha is used to cultivate rice, the rest of the area remains under-utilized for the production of cereals. In this scenario, the search for better adapted cultivars to waterlogging stress, it is very important due to the need for more productive, tolerant and more competitive genotypes with a better cost-effective production of cereals, mainly by the lack of a suitable crop for the succession in rice production system.

One of the main steps of a breeding program is the choice of the parents where natural and/or artificial selection will act. Such choice is bounded by the low ability to predict the intensity and how the genetic effects of parents will manifest in their progenies.

The challenge of the breeder is to gather in just one genotype, as often as possible, all the favorable alleles coming from different parents, for the specific

environment of selection. In the choice of parents in wheat, the best cross are those that are most likely to provide progenies with superior performance, high yield combined with desirable agronomic traits (BENIN et al., 2009).

This work was carried out to determine the correlations and the main effects of environment, genotype and year, through diallel cross and the use of statistical analysis in order to obtain useful genetic information for flooding tolerance in wheat.

Material and Methods

Plant Material

Six wheat genotypes: FUNDACEP 29, IPR 85, OCEPAR 11-JURITI, SAFIRA, BRS FIGUEIRA, BRS 117 and 15 segregating populations in different generations (F4, F5 and F6), were used in each year of experiments. The parents were selected because of their differences in tillering ability and agronomic potential. The genotypes FUNDACEP 29, IPR 85 and OCEPAR 11-JURITI produce a small number of tillers, while genotypes SAFIRA, BRS FIGUEIRA and BRS 117 produce a large numbers of tillers. These genotypes were subjected to controlled hybridization, according to a diallel complete model without reciprocals, resulting in 15 hybrid combinations (Valério et al. 2009).

Experimental Design

The field experiment was installed in the agricultural years 2010, 2011 and 2012, in the Agricultural Center of Palma, in the area of the Plant Genomics and Breeding Center - FAEM / UFPel located in Capão do Leão (RS). The city is located at 31°52'00" latitude south and 5°21'24" longitude west at an altitude of 13.24m, having a Cfa climate, with an average annual rainfall of 1280.2 mm (Moreno 1961).

Cultural practices were performed in agreement with the technical recommendations for wheat (Castro et al. 2010), and the base fertilization performed at a dose of 350 kg ha⁻¹, with commercial fertilizer formulation 10-20-20. Nitrogen fertilization was performed in two replicates totaling 60 kg ha⁻¹, each one with half the recommended amount of urea to the crop. The first on stage 10 (Feeks and Large, 1954) and the second, shortly after the flooding in plants (20 days after).

On July 2010 the first experiment was installed at the field with the F4 populations derived from the crosses and the selected parentals in a randomized block design with three replications in two different environments. Each experimental unit was consisted of three lines (30 plants) spaced 30 cm within plants and 20 cm between rows. From each population, 18 plants were selected, considering the productivity, cycle and stress tolerance characters, to the next experiment. On July 2011, the second experiment was installed in the field with the populations (F5) and the parentals in a randomized block design with three replications in two different environments. Each experimental unit was consisted of 18 rows (180 plants) spaced 30 cm within plants and 20 cm between rows. Of each population 18 plants were selected, considering the productivity, cycle and stress tolerance characters, to the next experiment. On July 2012, the third and last experiment were installed in the field with the populations (F6) and the parents following a randomized block design with three replications in two different environments. Each experimental unit was consisted of 18 rows (180 plants) spaced 30 cm within plants and 20 cm between rows.

Two types of environments were tested: with and without flooding. The stress was conducted from early tillering to early flowering, totaling twenty days. The plants were evaluated in the period before flooding, and after, towards the end of the cycle. Data relating to flowering and maturity were evaluated during the cultivation. The incidence of pests and diseases was also considered in the evaluations.

Phenotype Evaluation

The characters evaluated in each plant were the Number of Fertile Tillers (NFT), Grain Yield per plant (GY), Grain Ear Weight (GEW), Grain Ear Number (GEN) and Thousand Grain Weight (TGW). The characters evaluated for each line of the experiment were: Days from Emergence to Flowering (DEF), Days from Flowering to Maturity (DFM) and Days from Emergence to Maturity.

Each plot consisted of an experimental unit were used as a repeat unit for statistical analysis, performed as a factorial randomized block without lost plots, with three replications and twenty one genotypes (six parental genotypes plus fifteen segregating families).

Statistical Analysis

Each plot consisted of different numbers of rows and plants in each year was used as a repeat for the statistical analysis, performed in randomized blocks without lost plots, with three replicates and twenty one genotypes, the fifteen segregating families and the six parents used in the crosses. Data was subjected to analysis of variance and means analysis by Tukey's method at 5% of significance level using the R software (R CORE TEAM, 2012).

Results

The summary of analysis of variance for the characters can be seen in Table 2. It was observed that for the triple interaction between YEAR, ENVIRONMENT and GENOTYPE, the traits that showed significant statistical differences were: NFT, GEW, DEF, DFM and DEM for $p < 0.01$. For characters GY, GEN and TGW the triple interactions were not significant, but significant differences for interaction between YEAR x ENVIRONMENT and YEAR x GENOTYPE, highlight the need to split the analysis of averages.

It can be observed for the character NFT (Table 3), that the comparison between years, 2011 had the most interference in the number of tillers, reducing the average among genotypes for both environments with and without flooding. In 2010, for those genotypes that showed significant differences, there was a higher mean for the environment not flooded. In 2011, the number of tillers did not differ between environments, indicating less effect of stress and higher effect of the year. In 2012 the genotypes had higher mean for the environment not flooded. The genotypes that showed the highest average for the number of tillers for the interaction between environment and year was the cultivars BRS177 and Figueira, and populations 05 and 13. The genotypes that had lower average for interaction between environment and year were the cultivars Juriti and IPR85 and the population 01. It is noteworthy that possibly the year 2011 was atypical because of these results, with due to the small influence of stress on the proposed genotypes. The NFT character was affected by the year of assessment by the environment, as well as the genotype, with large variations between the proposed environments.

For the character GY (Table 4), it can be noted the occurrence of statistical differences between years of assessment for the genotypes, being the year of 2012 with higher grain yield between genotypes, possibly by selection gains achieved during the period. Some genotypes (cultivars used as parents) did not differ in relation to the year 2012 and 2010, the second best year among those evaluated. Again the 2011 year, showed a lower average among genotypes, indicating the negative effect of this year for the experiment. For environmental analysis the highest means were for the 2012 year, followed by 2010 and the third by 2011, with averages lower than the other years, for both environments with and without flooding. For the evaluation between environments we highlight the 2010 year, there were no significant differences. For the years 2011 and 2012 the growth environment not flooded presented higher averages than the flooded. The 06 population remained constant for the 3 years of evaluation, indicating increased stability in terms of production. Populations with higher grain yield per plant for the three years of evaluation were: 02, 03, 07, 08, 09, 13 and 14 due to the fact that the average includes a large number of different genotypes within each hybrid. The highest average of the experiment was observed for the population 07 in 2010 for the environment not flooded. The GY was affected differently than for the NFT, since the triple interaction between year, genotype and environment was not significant, however both the year as the waterlogging stress affected the averages for grain yield.

For the GEW character analysis (Table 5), it can be observed that for the environment with flooding the 2010 year showed an average higher than the year 2012, and these two had higher means than the year 2011. For the not flooded environment it can be observed that the years 2012 and 2010 were not statistically different, although 2012 has presented averages above 2010 and these two years presented higher averages than the year 2011. For the years 2010 and 2012 the environment not flooded had higher averages by the flooded, a fact that highlights the influence of waterlogging stress on the grain mass in the spike in wheat. For 2011 year there were few differences between the environments with and without flooding. Genotypes with higher averages in all environments were the CEP29 cultivar and the population 02. The highest mean of the whole experiment was for the population 02 for the 2010 year in the environment not flooded.

For the character GEN (Table 6), the years 2010 and 2012 were not significantly different, but were higher than the year 2011, except for the population 10 that showed a higher average in 2012 and lower and no significant difference in 2010

and in 2011. For the environment with flooding the years 2010 and 2012 did not differ and were higher than the year 2011. It was observed that the year 2012 had higher and different average than the years 2010 and 2011, and that 2010 presented different average and higher than the year 2011. The genotypes which maintained higher averages for the grains per spike number in all the years of assessment were the cultivars BRS177, CEP29, Figueira, Juriti, Safira and populations 01, 02, 03, 07, 08, 9 and 13. The IPR85 cultivar remained lower averages in the 3 years of assessment. The GSN in wheat was affected by crop year and by the flooding stress. The population 02 stood out from the other genotypes by higher average obtained in the experiment.

For TGW character analysis (Table 7), it is observed that the year 2012 was statistically higher, followed by the year 2010 and the last year 2011. This fact occurred also for the analysis between environments (flooded and not flooded) within the three years. The genotypes that did not differ between 2012 and 2010, were the cultivars CEP29, Safira and populations 03, 04, 07, 08 and 14. The genotypes that did not differ between 2010 and 2011 were the cultivars CEP29, IPR85, Juriti, Safira and populations 06, 09, 10, and 15. Cultivar Figueira showed no statistical differences between years. It was observed that the genotypes had higher thousand grain weight for the environment not flooded for all the evaluated years. The genotype that had lower averages in all years of assessment was Figueira cultivar. The genotypes that showed higher means for all the years of assessment were cultivars CEP29, IPR85 and populations 01, 02, 06, 08, 10, 11 and 15.

It was noted for the DEF character (Table 8), that the 2011 year had higher average for the genotypes, with the exception of population 12, followed by the year 2012 and the year 2010, and that the years 2012 and 2010 showed some significant differences. The flooded environment showed higher means for the 2011 year, followed by 2012 and by 2010. The 2012 year had different results for 2010 to cultivars BRS177, CEP29, Figueira, IPR85, Juriti and Safira, and populations 01, 02, 05, 07, 09, 10 and 14, the other genotypes showed similar behavior between these two years. The environment not flooded showed higher means for 2011 compared to the other years, and averages statistically equals for the years 2010 and 2012, except for the cultivars Figueira and IPR85 and populations 03, 05 and 12. For the analysis of environments within each year was observed that for 2010 with higher means for the environment not flooded the cultivars BRS177 and CEP29, and for the environment flooded the genotypes that showed higher mean were populations 02, 03, 05 and 12. For 2011 it is observed that all

genotypes had higher means for the environment not flooded. The 2012 year showed genotypes with higher means for the environment flooded, were they cultivars BRS177, Juriti and Safira and populations 07, 08 and 09, the others genotypes showed no statistical differences between environments for this year of assessment. The genotypes which maintained higher averages in all cultivating environments were the cultivar Figueira and populations 05 and 07. The genotypes that had lower means in all cultivating environments were cultivars IPR85, Juriti and populations 01, 02, 03, 06, 11 and 12. Genotypes with higher DEF also have greater cycle of development in contrast some genotypes have lower DEF and earlier development cycles, characteristic that is sought by plant breeding. To be directly correlated with the development cycle of the crop, the DEF proves very important for the plant breeding, as to lessen the crop cycle should decrease the DEF, not changing the DFM.

For the DFM character analysis (Table 9), it was observed that for the environment with flooding populations 01, 02, 04, 07, 08, 10, 11, 13, 14, 15 and cultivars CEP29, Figueira and Safira not presented significantly differences and that the other genotypes showed varied behavior within the years of assessment. For the environment not flooded it was observed that the average of populations 07, 08, 09, 14 and cultivars Juriti and Safira for 2012 were higher than 2010, the other genotypes had statistically similar averages for the years 2012 and 2010, the 2012 year led to higher average for all genotypes compared to the 2010 and the 2010 also had higher means than 2011. For the analysis within each year was observed for 2010 that populations 02, 03, 05, 11, 12, 13, 14 and the cultivar Juriti for the not flooded environment had higher average than the flooded environment and population 09 and cultivar IPR85 had higher averages for the flooded environment, whereas the other genotypes showed no statistical differences. For 2011 the environment flooded showed higher means for all genotypes with significant differences, and those that did not differ were the population 08 and the cultivars IPR85, Juriti and Safira. For 2012 the environment not flooded provided higher average for all genotypes. In the general evaluation it was observed that the populations 06, 12 and cultivar BRS177 had higher averages for all environments of the experiment and that the population 09 and IPR85 cultivar had lower averages in all cultivating environments.

It was observed for the DEM character analysis (Table 10), that the year 2011 showed higher means for genotypes cultivated in flooded environment compared to 2012 except for the populations 01, 02, 03, 05, 07, 10 and cultivars BRS177 and

CEP29. For 2010 the year 2011 also provided higher averages for genotypes with the exception of populations 08, 09 and 11. The 2012 year showed higher means for genotypes compared to 2010 except for the populations 08, 09, 11 and cultivars IPR85 and Safira. For the environment not flooded the 2011 year showed higher averages than in 2012 with the exception of populations 02, 03, 06 and 11 as well as for the year 2010, but in this case for all the genotypes used. The 2012 year had higher averages than in 2010 for all genotypes. For individual assessment of each year, it was observed that for the 2010 year populations 01, 02, 10, 13 and 14 and cultivars BRS177, CEP29 and Juriti had higher averages for the environment not flooded and the populations 08, 09, 12 and cultivar IPR85 had higher averages for the flooded environment, whereas the other genotypes showed no statistically significant differences. For 2011, not flooded environment showed higher means for all genotypes. For 2012 the environment not flooded also showed higher means for all genotypes except for populations 06 and 07 which showed no significant differences. The overall evaluation of the character was observed that the populations 02, 08, 09, 10, 11 and cultivars IPR85 and Juriti were earlier than the other genotypes and populations 07, 15 and cultivar Figueira were later in all environments of experimentation.

Discussion

The character Number of Fertile Tillers is quite complex as to their best use for plant breeding in many species, because of the complexity of the genetic control and the processes involved in their phenotypic expressions, as its differential response to environmental conditions and management systems (KURAPARTHY et al., 2007). Studies with the crop allowed inferences about the genetic control of genotypes with high number of tillers, through diallel analysis, highlighting the overdominance gene action as primarily responsible for its expression (DERE; YILDIRIM 2006). Although a gene mapped in the short arm of chromosome one in the diploid wheat (*Triticum monococcum*), has been identified by inhibition of tillering (SPIELMEYER; RICHARDS, 2004), most of the understanding of variation for tillering in hexaploid wheat (*Triticum aestivum*) was found related to quantitative trait loci (QTL).

The concentration of hormones also is related to tillering in wheat, where the balance between auxin and cytokinin has an important role in regulating growth and development meristem (LEYSER, 2006; VEIT 2006). The control of the development

of tillers in grasses seems to occur due to the synchronization between the division and cell elongation, and these processes are related to the hormonal conditions of the plants. The action exerted by auxin (division and cell elongation) and cytokinin (cell division) are associated, respectively, to inhibition and promotion of the development of lateral buds (TAIZ; ZEIGER, 2004). Several environmental factors act to a great effect on the number of tillers in wheat, namely: The solar radiation, the amount of nitrogen and the photoperiod.

The amount of solar radiation and the effect of the relationship between the red and far red (R:FR) on the canopy (leaf area) of the plant stand with great effect on apical dominance (BALLARÉ et al., 1987). In wheat can be shown that the effect of light intensity during the plant development has a direct increase in the rate of growth and tillering (ASPINAL; PALEG, 1964), due to the greater amount of available assimilates originated from the largest photosynthetic active area.

The availability of nitrogen is considered an essential element for plants, because is a constituent of the chlorophyll molecules, amino acids, DNA, cytochromes and all the enzymes and coenzymes (MARIOT et al., 2003). Moreover, when restricted, in the period of tillering, causes asynchrony of tiller emission. When the deficiency occurs during this period, the tillers have little chance to survive, even if the plant receives nitrogen supplementation in later periods (MUNDSTOCK, 1999), considerably affecting the grain yield of culture, precisely because of the export of carbohydrates from the stalk leading to new tillers be diminished.

The increased in the photoperiod reduces the number of tillers per sheet in wheat and barley, so the rate of tillers increases when the plants are growing in short photoperiod and decreases when transferred to long photoperiod (MIRALLES; RICHARDS, 2000). The tillering pattern can be greatly influenced by the amount of water, reducing the size and number of tillers while on disability before anthesis (LAWLOR et al., 1981) and causing the death of tillers when it occurs after anthesis (MUSICK; DUSEK, 1980), and promoting the reduction of emission and death of tillers and plants when subjected to a long period of waterlogging.

The flooding imposes a strict selection pressure on plants, mainly because the excess of water can deprive them of some basic requirements, such as oxygen and carbon dioxide reducing the photosynthesis. It is a major abiotic influence on the distribution of species and agricultural worldwide productivity (JACKSON et al., 2004). Studies in India and Australia (SETTER et al., 2009), showed that the amount of

available and soluble elements in flooded soils are also relevant for damage the wheat crop. The interaction of the highly reduced soil when flooded (low redox potential) increases the availability and absorption of Na, Fe, Al, B and Mn promoting a toxic effect on plants and decreases the absorption and transport of ions N, P, K, Ca, Mg and Zn promoting a decrease in the productivity. These results represent a major challenge to the development of new tolerant genotypes, as these genotypes will be grown in different places and in different types of soil (JACKSON et al., 2009).

The flooding stress reduces the grain mass between genotypes, showing a large effect of stress on the character. The reduction of grain weight in wheat is reported not only under the influence of abiotic stresses, the number of viable plants, the sowing density and tillering potential of each genotype also interfere in grains per spike, and plants with more tillers per square meter tend to have lower grain weight (VALÉRIO et al., 2008). The number of grains also is reduce by flooding, with similar effects for the plant density on the grain yield were also observed in studies with the grain ear number (VALÉRIO et al., 2008). Possibly under flooding stress wheat plants have less ability to produce assimilates and does the process of grain filling. The thousand grain weight also is reduced by flooding stress. Possibly the effect of stress is directly associated with the plant's ability to emit fertile tillers, perform the photosynthesis, produce assimilates and execute the grain filling having a great effect on the process of flowering to maturity.

The occurrence of abiotic stresses before the full flowering in wheat is closely linked to the shortening of the period of plant emergence to flowering, which ends up interfering with the whole development of the crop, reducing the grain yield, the grain ear weight, the number of fertile tillers, the thousand grain weight and the number of grains per ear (OLIVEIRA et al., 2011). Most studies of stress on wheat take into account the heat and drought, nevertheless, similar results to these stresses occur in plants subjected to flooding which indicates that these characteristics are jointly controlled by genes involved in metabolic pathways of response to the stress.

The period of flowering to maturity is strongly related to grain yield in cereals, so the decrease of this character can damage the grain yield. Since a greater reproductive cycle can lead to increase the grain yield because of the longer period providing to the plant a higher production of assimilates and for formation and grain filling.

Pronounced effects on the period of emergency to maturity were more observed between years of assessment than for the effect of flooding. However the stress promotes the shortening of this period possibly caused by the reduction on the period of emergency to flowering and that implies in the reduction of the total cycle of development in wheat. The flooding stress influences earlier genotypes as well as later genotypes. Genotypes with longer cycles usually can best overcome adversities imposed by the environment possibly, due to increase assimilates accumulation during the plant development culture.

Conclusions

The waterlogging stress directly affects the grain yield components in wheat, reducing the crop yield.

Characters of cycle are also affected by the flooding, which causes a decrease in the crop cycle in relation to the environment without stress.

Genotypes with higher period of emergency to flowering have better response to flooding stress.

Years of unfavorable weather conditions (excess or lack of rain) directly affect grain yield in wheat.

Under proper conditions of cultivation, genotypes more tolerant to flooding stress are usually less productive than susceptible genotypes.

References

- Aspinal D, Paleg LG, (1964) Effects of day length and light intensity of growth of barley. II. Vegetative development. **Australian Journal of Biological**, Washington, v. 17, p. 807-822.
- Ballaré CL, Sánchez RA, Scopel AL, Casal JJ, Ghera CM, (1987) Early detection of neighbour plants by phytochrome perception of spectral changes in reflected sunlight. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 10, n. 7, p. 551-557.
- Benin G, da Silva GO, Pagliosa ES, Lemes C, Signorini A, Beche E, Capelin MA (2009) Capacidade de combinação em genótipos de trigo estimada por meio de análise multivariada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 44: 9 1145-1151.

- Dere S, Yildirim MB, (2006) Inheritance of plant height, tiller number per plant, spike height and 1000-kernel weight in a 8x8 diallel cross population of bread wheat. **Cereal Research Communications**, Szeged, v. 34, n. 2-3, p. 965-972.
- Jackson AB, Souza Dias MJ, Vieira LB, Gutemberg PD (2004) Resistência ao cisalhamento de um argissolo vermelho-amarelo submetido ao tráfego de um trator agrícola. **Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, n 2-3 p 01-12, Dez.
- Kuraparthi V, Sood S, Dhaliwal H, (2007) Identification and mapping of a tiller inhibition gene (tin3) in wheat. **Theoretical and Applied Genetic**, New York, v. 114, n. 2, p. 285-294.
- Lawlor DW, Day W, Johnston AE, Legg BJ, Parkinson KJ, (1981) Growth of spring barley under drought: crop development, photosynthesis, dry-matter accumulation and nutrient content. **Journal of Agricultural Science**, New York, v. 96, n .2, p. 167-186.
- Leyser O, (2006) Dynamic integration of auxin transport and signalling. **Current Biology**, Cambridge, v. 16, n. 1, p. 424-433.
- Oliveira DM, Souza MA, Rocha VS, Assis JC (2011) Desempenho de genitores e populações segregantes de trigo sob estresse de calor. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p.25-32.
- Mariot CHP, Silva PRF, Menezes VG, Teichmann LL, (2003) Resposta de duas cultivares de arroz irrigado à densidade de semeadura e à adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 233-241.
- Miralles DJ, Richards A, (2000) Responses of leaf and tiller emergence and primordium initiation in wheat and barley to interchanged photoperiod. **Annals of Botany**, London, v. 85, n. 5, p. 655-663.
- Mundstock CM, (1999) **Planejamento e manejo integrado da lavoura de trigo**. Porto Alegre: UFRGS, 228p.
- Musick JT, Dusek DA, (1980) Planting date and water deficit effects on development and yield of irrigated winter wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, n. 1, p. 45-52.
- R Core Team (2012) **R: A language and environment for statistical computing**. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. Disponível em <http://www.R-project.org/>.

RCBPTT (2010). Reunião da comissão brasileira de pesquisa de trigo e triticales. **Indicações Técnicas da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticales**. Cascavel: COODETEC.

Setter TL, Waters I, Sharma SK, et al. (2009) Review of wheat improvement for waterlogging tolerance in Australia and India: the importance of anaerobiosis and element toxicities associated with different soils. **Annals of Botany** 103:221-235.

Spielmeyer W, Richards RA, (2004) Comparative mapping of wheat chromosome 1AS which contains the tiller inhibition gene (tin) with rice chromosome 5S. Theoretical and **Applied Genetic**, Berlin, v.109, n. 6, p. 1303-1310.

Taiz L, Zeiger E, (2004) **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 3: 719.

Valério IP, Carvalho FIF, Costa de Oliveira A, Machado AA, Benin G, Scheeren PL, Souza VQ, Hartwig I. (2008) Desenvolvimento de afilhos e componentes do rendimento em genótipos de trigo sob diferentes densidades de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 43: 3 319-326.

Vartapetian Bb, Jackson Mb, (1997) Plant Adaptations to Anaerobic stress. **Annals of Botany**, London, v. 79, p. 3-20.

Veit B, (2006) Stem cell signalling networks in plants. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 60, n. 6, p. 793-810.

Table 1: Parents identification for each cross used in the experiments conducted with and without flooding, CGF / FAEM / UFPEL, 2013

Cross	Parental A	Parental B
HP_1	Juriti	CEP29
HP_2	Juriti	IPR85
HP_3	Juriti	BRS177
HP_4	Juriti	Safira
HP_5	Juriti	Figueira
HP_6	CEP29	IPR85
HP_7	CEP29	BRS177
HP_8	CEP29	Safira
HP_9	CEP29	Figueira
HP_10	IPR85	BRS177
HP_11	IPR85	Safira
HP_12	IPR85	Figueira
HP_13	BRS177	Safira
HP_14	BRS177	Figueira
HP_15	Safira	Figueira

Cross performed in a diallel model. Abbreviations: Hybrid Population (HP).

Table 2: Estimates of mean squares for factorial variance analysis in wheat genotypes (populations and their parents), grown with (FD) and without flooding (NFD) for three consecutive years (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPel, 2013

Source	DF	NFT	GY	GEW	GEN	TGM	DEF	DFM	DEM
BLOCK	2	55.81	137.70	0.01	47.46	53.46	89.57	144.61	29.29
YEAR	2	504.48**	917.69**	4.43**	8058.39**	2285.29**	9909.45**	2876.69**	2835.88**
ENV	1	463.76**	223.81**	10.33**	2538.56**	1198.90**	619.67**	156.74**	1390.66**
GEN	20	181.60**	143.20**	0.25**	151.91**	92.49**	163.39**	77.88**	170.37**
YEAR*ENV	2	87.16**	33.03**	0.66**	265.94**	251.72**	1958.61**	1313.45**	127.49**
YEAR*GEN	40	9.72**	18.55**	0.10**	45.81**	11.74*	15.28**	22.49**	14.60**
ENV*GEN	20	5.12	6.36 ^{NS}	0.06**	10.505 ^{NS}	4.47 ^{NS}	10.63**	14.50**	8.28**
YEAR*ENV*GEN	40	8.34**	7.71 ^{NS}	0.05**	6.770 ^{NS}	9.66 ^{NS}	25.70**	22.30**	15.53**
RESIDUALS	250	3.50	5.79	0.02	14.80	8.10	4.82	5.99	2.60
TOTAL	375	18.91	21.04	0.10	75.56	29.87	82.29	37.23	34.14
Mean		12.14	13.25	1.53	42.02	36.05	66.29	43.78	110.05
CV(%)		14.55	17.36	9.87	9.14	7.72	3.24	5.25	1.38

^{NS}: Not Significant and ^{***}, ^{**} Significant at 1 and 5% of probability by the *F* test for the characters Number of Fertile Tillers (NFT), Grain Yield (GY), Grain Ear Weight (GEW), Grain Ear Number (GSN), Thousand Grain Weight (TGW), Days from Emergency to Flowering (DEF), Days from Flowering to Maturity (DFM) and Days from Emergency to Maturity (DEM). Abbreviations: Degrees of freedom (DF), Environment (ENV), Genotypes (GEN) and Coefficient of Variation (CV).

Table 3: Means analysis for the character number of fertile tillers (NFT), evaluated in wheat genotypes in factorial diallel model (populations and their parents) by Tukey test at 5% of significance, cultivated with flooding (FD) and without flooding (NFD) for three consecutive years (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPel, 2013

GENOTYPES	NFT (unity)									
	2010		2011		2012					
	FD	NFD	FD	NFD	FD	NFD	FD	NFD	FD	NFD
BRS_117	A 17.00 ^{NS} ab	A 16.68 ^{NS} b-d	B 11.16 ^{NS} a-c	B 12.31 ^{NS} a-c	B 12.25 B ab	A 17.00 A a-c				
CEP_29	^{NS} 14.86 B b-d	A 18.78 A a-c	^{NS} 11.42 ^{NS} ab	B 11.58 ^{NS} b-d	^{NS} 13.38 B ab	A 17.99 A ab				
FIGUEIRA	A 21.45 ^{NS} a	AB 20.37 ^{NS} ab	B 14.73 ^{NS} a	B 17.24 ^{NS} a	B 15.34 B a	A 21.86 A a				
HP_01	A 10.01 ^{NS} d-g	^{NS} 8.51 ^{NS} ef	B 5.66 ^{NS} c-e	^{NS} 6.22 ^{NS} d	B 6.24 ^{NS} c-e	^{NS} 8.64 ^{NS} de				
HP_02	B 6.61 B fg	A 16.45 A b-d	AB 9.39 ^{NS} a-e	B 8.90 ^{NS} b-d	^{NS} 11.51 B a-c	A 15.15 A bc				
HP_03	^{NS} 12.86 ^{NS} b-e	A 14.49 ^{NS} cd	^{NS} 9.46 ^{NS} a-e	B 10.23 ^{NS} b-d	^{NS} 10.55 B a-d	A 14.53 A bc				
HP_04	^{NS} 11.53 ^{NS} b-f	^{NS} 11.83 ^{NS} de	^{NS} 8.25 ^{NS} b-e	^{NS} 9.41 ^{NS} b-d	^{NS} 8.81 B b-e	^{NS} 12.39 A cd				
HP_05	^{NS} 12.10 B b-f	A 18.46 A a-c	^{NS} 11.49 ^{NS} ab	B 11.90 ^{NS} a-c	^{NS} 13.25 B ab	A 17.95 A ab				
HP_06	^{NS} 7.70 B e-g	A 12.09 A de	^{NS} 7.33 ^{NS} b-e	B 7.42 ^{NS} cd	A 8.61 ^{NS} b-e	A 11.57 ^{NS} c-e				
HP_07	AB 14.75 B b-d	A 23.03 A a	B 11.29 ^{NS} ab	C 8.76 ^{NS} b-d	A 15.47 B a	B 19.35 A ab				
HP_08	^{NS} 12.54 ^{NS} b-e	^{NS} 14.83 ^{NS} cd	^{NS} 10.55 ^{NS} a-d	^{NS} 12.22 ^{NS} a-c	^{NS} 11.11 B a-c	^{NS} 15.74 A bc				
HP_09	A 16.12 ^{NS} a-c	^{NS} 14.66 ^{NS} cd	B 10.61 ^{NS} a-d	^{NS} 12.42 ^{NS} a-c	B 11.04 B a-c	^{NS} 15.74 A bc				
HP_10	^{NS} 10.83 ^{NS} c-g	^{NS} 11.65 ^{NS} de	^{NS} 8.25 ^{NS} b-e	^{NS} 9.50 ^{NS} b-d	^{NS} 8.71 B b-e	^{NS} 12.32 A c-e				
HP_11	^{NS} 10.66 ^{NS} c-g	^{NS} 12.01 ^{NS} de	^{NS} 8.22 ^{NS} b-e	^{NS} 9.24 ^{NS} b-d	^{NS} 8.88 B b-e	^{NS} 12.42 A cd				
HP_12	A 21.31 A a	A 15.45 B b-d	B 9.84 ^{NS} a-e	B 10.42 ^{NS} b-d	B 11.17 B a-c	A 15.25 A bc				
HP_13	A 16.81 ^{NS} ab	A 19.46 ^{NS} a-c	B 11.98 ^{NS} ab	B 12.28 ^{NS} a-c	AB 13.92 B ab	A 18.79 A ab				
HP_14	A 14.95 B b-d	A 18.68 A a-c	B 10.43 ^{NS} a-d	B 9.65 ^{NS} b-d	AB 12.99 B ab	A 16.96 A a-c				
HP_15	^{NS} 12.03 ^{NS} b-f	A 14.66 ^{NS} cd	^{NS} 9.10 ^{NS} b-e	B 9.39 ^{NS} b-d	^{NS} 10.51 B a-d	A 14.22 A bc				
IPR_85	^{NS} 6.80 ^{NS} fg	^{NS} 7.05 ^{NS} ef	^{NS} 5.64 ^{NS} de	^{NS} 7.04 ^{NS} cd	^{NS} 5.50 ^{NS} de	^{NS} 8.11 ^{NS} de				
JURITI	^{NS} 5.80 ^{NS} g	^{NS} 5.76 ^{NS} f	^{NS} 4.81 ^{NS} e	^{NS} 6.16 ^{NS} d	^{NS} 4.56 ^{NS} e	^{NS} 6.82 ^{NS} e				
SAFIRA	^{NS} 12.42 ^{NS} b-e	^{NS} 14.97 ^{NS} b-d	^{NS} 11.15 ^{NS} a-d	^{NS} 13.31 ^{NS} ab	^{NS} 11.38 B a-c	^{NS} 16.38 A a-c				

Means preceded by different capital letters in the same row and environment (FD or NFD) present statistical significant differences for the environment comparison with the year of evaluation (2010, 2011 and 2012). Means followed by different capital letters in the same row and year show statistical significant differences for the comparison between environments (FD and NFD) within each year of assessment (2010, 2011 or 2012). Means followed by different small letters in the same column show statistical significant differences among genotypes for each environment (FD or NFD) within a single year (2010, 2011 or 2012). "^{NS}" Not significant for means comparison. Abbreviations: Hybrid Population (HP), Flooded (FD) and Not Flooded (NFD).

Table 4: Means analysis for the character grain yield (GY), evaluated in wheat genotypes in factorial diallel model (populations and their parents) by Tukey test at 5% of significance, cultivated with flooding (FD) and without flooding (NFD) for three consecutive years (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPel, 2013

GENOTYPES	GY (grams / plant)		
	2010	2011	2012
BRS_117	A 17.54 a-e	B 11.23 a-c	A 18.14 a-d
CEP_29	B 16.63 a-e	B 13.70 a	A 20.96 a
FIGUEIRA	A 18.82 a	B 12.10 ab	A 19.29 a-c
HP_01	A 13.12 b-g	B 6.84 c	A 10.90 gh
HP_02	B 15.79 a-f	C 10.75 a-c	A 20.28 ab
HP_03	A 16.09 a-f	B 10.89 a-c	A 16.66 a-e
HP_04	^{NS} 11.22 f-h	^{NS} 8.91 a-c	^{NS} 11.49 f-h
HP_05	B 12.71 d-g	B 10.45 a-c	A 16.72 a-e
HP_06	A 10.25 g-i	A 9.81 a-c	A 13.00 e-h
HP_07	A 17.76 a-c	B 9.51 a-c	A 16.83 a-e
HP_08	AB 14.76 a-g	B 13.03 ab	A 16.57 a-e
HP_09	AB 15.23 a-g	B 12.17 ab	A 16.47 a-f
HP_10	AB 12.84 c-g	B 11.71 a-c	A 15.71 b-g
HP_11	AB 12.53 eg	B 10.64 a-c	A 15.00 c-g
HP_12	A 14.13 a-g	B 8.04 bc	A 13.31 d-g
HP_13	A 17.57 a-d	B 11.20 a-c	A 19.33 a-c
HP_14	A 18.13 ab	B 9.17 a-c	A 19.03 a-c
HP_15	A 12.88 c-g	B 8.81 a-c	A 14.71 c-g
IPR_85	^{NS} 5.26 i	^{NS} 8.08 bc	^{NS} 7.99 h
JURITI	^{NS} 6.44 hi	^{NS} 6.72 c	^{NS} 8.17 h
SAFIRA	AB 13.22 b-g	B 12.03 ab	A 15.73 b-g
ENVIROMENT	2010	2011	2012
FD	A 13.54 b	B 9.72 c	B 14.18 a
NFD	A 14.35 b	A 10.83 c	A 16.89 a

Means preceded by different capital letters in the same row present statistically significant differences for the comparison of genotypes and environments for the three years of assessment (2010, 2011 and 2012). Means followed by different small letters in the same column show statistically significant differences between genotypes and environments within a single year (2010, 2011 or 2012) of evaluation. "^{NS}" Not Significant for means comparison. Abbreviations: Hybrid Population (HP), Flooded (FD) and Not Flooded (NFD).

Table 5: Means analysis for the character grain ear weight (GEW), evaluated in wheat genotypes in factorial diallel model (populations and their parents) by Tukey test at 5% of significance, cultivated with flooding (FD) and without flooding (NFD) for three consecutive years (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPel, 2013

GENOTYPES	GSW (grams)									
	2010		2011		2012					
	FD	NFD	FD	NFD	FD	NFD	FD	NFD	FD	NFD
BRS_117	A 1.59 B b-d	^{NS} 2.08 A ab	AB 1.10 B bc	^{NS} 1.87 A a	A 1.37 B ab	^{NS} 1.84 A a-c				
CEP_29	A 1.70 ^{NS} a-c	^{NS} 1.86 ^{NS} a-c	B 1.29 B a-c	^{NS} 1.87 A a	AB 1.44 B ab	^{NS} 2.03 A a-c				
FIGUEIRA	A 1.49 B b-e	^{NS} 1.88 A a-c	B 0.95 B c	^{NS} 1.76 A ab	B 1.18 B b	^{NS} 1.82 A a-c				
HP_01	A 1.89 ^{NS} ab	A 1.92 ^{NS} ab	B 1.18 ^{NS} bc	B 1.22 ^{NS} cd	B 1.47 B ab	A 1.88 A a-c				
HP_02	A 2.03 ^{NS} a	A 2.26 ^{NS} a	B 1.45 ^{NS} ab	B 1.49 ^{NS} a-d	B 1.62 B a	A 2.21 A a				
HP_03	A 1.60 B a-d	A 1.97 A ab	B 1.09 ^{NS} bc	B 1.18 ^{NS} cd	AB 1.35 B ab	A 1.77 A a-c				
HP_04	A 1.39 B c-e	A 1.82 A bc	B 1.03 ^{NS} bc	B 1.10 ^{NS} d	AB 1.29 B ab	A 1.59 A c				
HP_05	^{NS} 1.21 B de	A 1.66 A b-d	^{NS} 1.04 ^{NS} bc	B 1.23 ^{NS} cd	^{NS} 1.25 B ab	A 1.70 A bc				
HP_06	^{NS} 1.55 B bd	A 1.82 A bc	^{NS} 1.35 ^{NS} a-c	B 1.49 ^{NS} a-d	^{NS} 1.40 B ab	A 2.04 A ab				
HP_07	A 1.53 B b-e	A 1.92 A ab	B 1.05 ^{NS} bc	B 1.22 ^{NS} cd	B 1.18 B b	A 1.66 A bc				
HP_08	A 1.64 B a-d	A 1.97 A ab	B 1.18 ^{NS} bc	B 1.24 ^{NS} cd	A 1.49 B ab	A 1.83 A a-c				
HP_09	A 1.62 ^{NS} a-d	A 1.72 ^{NS} b-d	B 1.14 ^{NS} bc	B 1.19 ^{NS} cd	AB 1.38 B ab	A 1.83 A a-c				
HP_10	^{NS} 1.29 B c-e	A 1.75 A b-d	^{NS} 1.30 ^{NS} a-c	B 1.38 ^{NS} b-d	^{NS} 1.39 B ab	A 2.00 A a-c				
HP_11	A 1.58 ^{NS} b-d	A 1.68 ^{NS} b-d	B 1.20 ^{NS} a-c	B 1.23 ^{NS} cd	AB 1.32 B ab	A 1.87 A a-c				
HP_12	^{NS} 1.47 B b-e	^{NS} 1.76 A b-d	^{NS} 1.38 ^{NS} a-c	^{NS} 1.53 ^{NS} a-d	^{NS} 1.30 B ab	^{NS} 1.75 A bc				
HP_13	A 1.52 B b-e	A 1.88 A a-c	B 1.13 ^{NS} bc	B 1.12 ^{NS} d	AB 1.39 B ab	A 1.89 A a-c				
HP_14	A 1.53 B b-e	A 1.78 A b-d	A 1.25 ^{NS} a-c	B 1.39 ^{NS} b-d	A 1.30 B ab	A 1.76 A bc				
HP_15	AB 1.46 ^{NS} b-e	^{NS} 1.68 ^{NS} b-d	A 1.64 ^{NS} a	^{NS} 1.57 ^{NS} a-c	B 1.27 B ab	^{NS} 1.74 A bc				
IPR_85	^{NS} 1.11 B e	B 1.37 A d	^{NS} 1.17 B bc	AB 1.58 A a-c	^{NS} 1.15 B b	A 1.72 A bc				
JURITI	A 1.53 ^{NS} b-e	A 1.47 ^{NS} cd	B 1.16 B bc	A 1.46 A a-d	B 1.20 B ab	A 1.75 A bc				
SAFIRA	A 1.64 ^{NS} a-d	^{NS} 1.73 ^{NS} b-d	B 1.11 B bc	^{NS} 1.88 A a	B 1.31 B ab	^{NS} 1.80 A a-c				

Means preceded by different capital letters in the same row and environment (FD or NFD) present statistical significant differences for the environment comparison with the year of evaluation (2010, 2011 and 2012). Means followed by different capital letters in the same row and year show statistical significant differences for the comparison between environments (FD and NFD) within each year of assessment (2010, 2011 or 2012). Means followed by different small letters in the same column show statistical significant differences among genotypes for each environment (FD or NFD) within a single year (2010, 2011 or 2012). "^{NS}" Not significant for means comparison. Abbreviations: Hybrid Population (HP), Flooded (FD) and Not Flooded (NFD).

Table 6: Means analysis for the character grain ear number (GEN), evaluated in wheat genotypes in factorial diallel model (populations and their parents) by Tukey test at 5% of significance, cultivated with flooding (FD) and without flooding (NFD) for three consecutive years (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPel, 2013

GENOTYPES	GSN (unity)		
	2010	2011	2012
BRS_117	A 51.11 a-c	B 30.13 ab	A 49.04 a-c
CEP_29	A 49.91 a-d	B 36.85 a	A 53.64 a
FIGUEIRA	A 51.44 ab	B 29.82 ab	A 49.81 a-c
HP_01	A 47.96 a-e	B 32.92 ab	A 46.62 a-d
HP_02	A 52.90 a	B 36.83 a	A 52.45 ab
HP_03	A 47.81 a-e	B 34.58 ab	A 46.05 a-d
HP_04	A 41.91 d-f	B 31.81 ab	A 41.92 cd
HP_05	A 42.03 d-f	B 32.88 ab	A 46.41 a-d
HP_06	A 43.31 c-f	B 35.64 ab	A 47.49 a-c
HP_07	A 48.38 a-e	B 31.01 ab	A 47.23 a-c
HP_08	A 49.17 a-d	B 34.61 ab	A 48.41 a-c
HP_09	A 49.35 a-d	B 32.28 ab	A 48.71 a-c
HP_10	B 39.60 fg	B 34.55 ab	A 47.21 a-c
HP_11	A 40.87 ef	B 32.79 ab	A 44.50 b-d
HP_12	A 46.79 a-f	B 28.30 b	A 46.33 a-d
HP_13	A 47.31 a-f	B 33.29 ab	A 49.21 a-c
HP_14	A 45.12 a-f	B 30.67 ab	A 45.62 b-d
HP_15	A 44.29 b-f	B 30.17 ab	A 45.01 b-d
IPR_85	A 31.68 g	B 31.27 ab	A 39.09 d
JURITI	A 45.51 a-f	B 36.14 ab	A 46.69 a-d
SAFIRA	A 49.67 a-d	B 32.60 ab	A 50.77 ab
ENVIROMENT	2010	2011	2012
FD	B 44.40 a	B 30.90 b	B 42.99 a
NFD	A 47.60 b	A 34.73 c	A 51.51 a

Means preceded by different capital letters in the same row present statistically significant differences for the comparison of genotypes and environments for the three years of assessment (2010, 2011 and 2012). Means followed by different small letters in the same column show statistically significant differences between genotypes and environments within a single year (2010, 2011 or 2012) of evaluation. "NS" Not Significant for means comparison. Abbreviations: Hybrid Population (HP), Flooded (FD) and Not Flooded (NFD).

Table 7: Means analysis for the character thousand grain weight (TGW), evaluated in wheat genotypes in factorial diallel model (populations and their parents) by Tukey test at 5% of significance, cultivated with flooding (FD) and without flooding (NFD) for three consecutive years (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPel, 2013

GENOTYPES	TGW (grams)		
	2010	2011	2012
BRS_117	B 35.65 a-d	C 30.64 b-e	A 39.62 a-d
CEP_29	AB 37.20 a-d	B 33.54 a-e	A 39.83 a-d
FIGUEIRA	^{NS} 32.16 d	^{NS} 29.90 de	^{NS} 33.65 e
HP_01	B 37.71 a-d	C 32.98 a-e	A 42.25 a-d
HP_02	B 39.44 a	C 31.85 a-e	A 43.42 a-c
HP_03	A 37.34 a-d	B 30.31 c-e	A 40.34 a-d
HP_04	A 37.09 a-d	B 30.99 b-e	A 39.76 a-d
HP_05	B 33.47 b-d	C 28.51 de	A 38.26 c-e
HP_06	B 38.29 a-c	A 36.56 ab	B 44.62 a
HP_07	A 35.48 a-d	B 30.73 b-e	A 37.10 de
HP_08	A 36.27 a-d	B 32.20 a-e	A 39.63 a-d
HP_09	B 32.49 cd	B 31.93 a-e	A 38.58 b-e
HP_10	B 37.98 a-d	B 36.10 a-c	A 44.41 ab
HP_11	B 38.93 ab	C 34.20 a-d	A 43.69 a-c
HP_12	B 34.85 a-d	C 29.85 de	A 39.72 a-d
HP_13	B 36.09 a-d	C 28.95 de	A 40.22 a-d
HP_14	A 36.53 a-d	B 28.22 e	A 40.20 a-d
HP_15	B 35.21 a-d	B 32.07 a-e	A 41.12 a-d
IPR_85	B 37.76 a-d	B 37.39 a	A 44.93 a
JURITI	B 32.49 cd	B 31.29 b-e	A 38.62 b-e
SAFIRA	AB 33.25 b-d	B 29.97 de	A 37.04 de
ENVIROMENT	2010	2011	2012
FD	B 35.00 b	B 30.87 c	B 36.92 a
NFD	A 36.96 b	A 32.77 c	A 43.75 a

Means preceded by different capital letters in the same row present statistically significant differences for the comparison of genotypes and environments for the three years of assessment (2010, 2011 and 2012). Means followed by different small letters in the same column show statistically significant differences between genotypes and environments within a single year (2010, 2011 or 2012) of evaluation. ^{NS} Not Significant for means comparison. Abbreviations: Hybrid Population (HP), Flooded (FD) and Not Flooded (NFD).

Table 8: Means analysis for the character days from emergence to flowering (DEF), evaluated in wheat genotypes in factorial diallel model (populations and their parents) by Tukey test at 5% of significance, cultivated with flooding (FD) and without flooding (NFD) for three consecutive years (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPeI, 2013

GENOTYPES	DEF (days)									
	2010		2011		2012					
	FD	NFD	FD	NFD	FD	NFD	FD	NFD	FD	NFD
BRS_117	C 57.33 B c-g	B 63.17 A a-c	A 73.11 B a-c	A 83.04 A c-e	B 67.77 A ab	B 63.63 B a-c				
CEP_29	C 53.83 B f-h	B 60.50 A a-e	A 70.99 B b-f	A 81.49 A c-e	B 65.39 ^{NS} a-e	B 61.92 ^{NS} b-d				
FIGUEIRA	C 62.67 ^{NS} b-d	C 63.50 ^{NS} ab	A 77.92 B a	A 92.35 A a	B 70.32 ^{NS} a	B 68.40 ^{NS} a				
HP_01	C 55.67 ^{NS} e-h	B 58.33 ^{NS} a-f	A 69.09 B b-f	A 79.86 A c-f	B 63.37 ^{NS} b-f	B 60.34 ^{NS} b-d				
HP_02	C 60.67 A b-e	B 56.83 B c-g	A 68.86 B b-f	A 80.88 A c-f	B 62.50 ^{NS} b-f	B 60.33 ^{NS} b-d				
HP_03	B 64.67 A b	C 56.67 B d-g	A 70.24 B b-f	A 83.82 A cd	B 63.10 ^{NS} b-f	B 61.74 ^{NS} b-d				
HP_04	B 60.17 ^{NS} b-f	B 58.67 ^{NS} a-f	A 71.50 B a-f	A 84.34 A b-d	B 64.73 ^{NS} a-f	B 62.70 ^{NS} a-d				
HP_05	C 64.50 A b	C 60.00 B a-f	A 75.18 B ab	A 90.37 A ab	B 67.22 ^{NS} a-c	B 66.18 ^{NS} ab				
HP_06	B 51.67 ^{NS} gh	B 53.67 ^{NS} fg	A 65.13 B f	A 76.59 A ef	B 59.07 ^{NS} ef	B 57.08 ^{NS} d				
HP_07	C 63.17 ^{NS} b-d	B 64.33 ^{NS} a	A 72.77 B a-d	A 81.21 A c-f	B 68.19 A ab	B 63.12 B a-d				
HP_08	B 65.67 ^{NS} b	B 62.83 ^{NS} a-d	A 71.98 B a-e	A 81.12 A c-f	B 67.04 A a-c	B 62.56 B a-d				
HP_09	C 62.17 ^{NS} b-d	B 62.50 ^{NS} a-d	A 72.27 B a-e	A 82.04 A c-e	B 67.02 A a-c	B 62.89 B a-d				
HP_10	C 58.00 ^{NS} c-g	B 58.67 ^{NS} a-f	A 68.82 B b-f	A 78.98 A c-f	B 63.40 ^{NS} b-f	B 60.02 ^{NS} b-d				
HP_11	B 58.00 ^{NS} c-g	B 55.17 ^{NS} e-g	A 67.01 B c-f	A 78.85 A d-f	B 60.75 ^{NS} c-f	B 58.74 ^{NS} cd				
HP_12	A 74.00 A a	C 51.83 B g	B 68.11 B c-f	A 84.38 A b-d	C 59.63 ^{NS} d-f	B 60.33 ^{NS} b-d				
HP_13	B 60.33 ^{NS} b-e	B 57.33 ^{NS} b-g	A 69.08 B b-f	A 80.83 A c-f	B 62.86 ^{NS} b-f	B 60.48 ^{NS} b-d				
HP_14	C 59.83 ^{NS} b-f	B 61.33 ^{NS} a-e	A 71.98 B a-e	A 82.62 A c-e	B 66.30 ^{NS} a-c	B 62.78 ^{NS} a-d				
HP_15	B 63.67 ^{NS} bc	B 60.83 ^{NS} a-e	A 73.14 B a-c	A 85.44 A bc	B 66.62 ^{NS} a-c	B 64.01 ^{NS} a-c				
IPR_85	C 49.50 ^{NS} h	C 51.67 ^{NS} g	A 66.05 B ef	A 80.43 A c-f	B 58.53 ^{NS} f	B 58.30 ^{NS} cd				
JURITI	C 57.17 ^{NS} d-g	B 57.83 ^{NS} b-g	A 66.39 B d-f	A 74.95 A f	B 61.78 A b-f	B 57.72 B cd				
SAFIRA	C 60.83 ^{NS} b-e	B 60.83 ^{NS} a-e	A 71.15 B b-f	A 81.47 A c-e	B 65.64 A a-d	B 62.03 B a-d				

Means preceded by different capital letters in the same row and environment (FD or NFD) present statistical significant differences for the environment comparison with the year of evaluation (2010, 2011 and 2012). Means followed by different capital letters in the same row and year show statistical significant differences for the comparison between environments (FD and NFD) within each year of assessment (2010, 2011 or 2012). Means followed by different small letters in the same column show statistical significant differences among genotypes for each environment (FD or NFD) within a single year (2010, 2011 or 2012). "^{NS}" Not significant for means comparison. Abbreviations: Hybrid Population (HP), Flooded (FD) and Not Flooded (NFD).

Table 9: Means analysis for the character days from flowering to maturity (DFM), evaluated in wheat genotypes in factorial diallel model (populations and their parents) by Tukey test at 5% of significance, cultivated with flooding (FD) and without flooding (NFD) for three consecutive years (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPeI, 2013

GENOTYPES	DFM (days)											
	2010				2011				2012			
	FD		NFD		FD		NFD		FD		NFD	
BRS_117	B	50.17 ^{NS} ab	A	47.00 ^{NS} a-d	A	41.76 A ab	B	36.51 B ab	B	44.17 B a-c	A	51.16 A ab
CEP_29	^{NS}	47.67 ^{NS} bc	A	49.00 ^{NS} a-c	^{NS}	42.78 A a	B	36.55 B ab	^{NS}	45.68 B a-c	A	52.58 A ab
FIGUEIRA	^{NS}	43.50 ^{NS} bc	A	44.83 ^{NS} b-e	^{NS}	39.56 A ab	B	34.29 B a-c	^{NS}	42.00 B a-d	A	48.53 A a-c
HP_01	^{NS}	46.17 ^{NS} bc	A	47.83 ^{NS} a-d	^{NS}	42.07 A ab	B	36.31 B ab	^{NS}	44.74 B a-c	A	51.64 A ab
HP_02	^{NS}	43.00 B b-d	A	49.83 A ab	^{NS}	41.68 A ab	B	33.53 B bc	^{NS}	45.55 B a-c	A	51.65 A ab
HP_03	B	42.00 B cd	A	52.00 A ab	AB	42.64 A a	B	33.27 B bc	A	47.10 B ab	A	53.04 A ab
HP_04	^{NS}	45.33 ^{NS} bc	A	48.17 ^{NS} a-d	^{NS}	40.88 A ab	B	33.59 B bc	^{NS}	44.32 B a-c	A	50.51 A ab
HP_05	AB	42.33 B cd	A	49.33 A a-c	B	38.84 A ab	B	28.34 B c	A	43.89 B a-c	A	48.70 A a-c
HP_06	A	56.00 ^{NS} a	A	53.33 ^{NS} a	B	44.89 A a	B	36.45 B ab	B	48.89 B a	A	55.56 A a
HP_07	^{NS}	44.83 ^{NS} bc	B	45.67 ^{NS} b-d	^{NS}	41.27 A ab	C	36.86 B ab	^{NS}	43.26 B a-d	A	50.40 A ab
HP_08	^{NS}	42.67 ^{NS} cd	B	42.33 ^{NS} c-e	^{NS}	38.87 ^{NS} ab	C	35.40 ^{NS} a-c	^{NS}	40.41 B b-d	A	47.33 A bc
HP_09	A	45.67 A bc	B	41.00 B de	B	39.11 A ab	B	37.22 B ab	B	39.86 B cd	A	47.31 A bc
HP_10	^{NS}	44.83 ^{NS} bc	A	47.00 ^{NS} a-d	^{NS}	41.24 A ab	B	35.47 B a-c	^{NS}	43.91 B a-c	A	50.64 A ab
HP_11	^{NS}	45.00 B bc	A	49.67 A ab	^{NS}	42.23 A ab	B	34.79 B a-c	^{NS}	45.74 B a-c	A	52.17 A ab
HP_12	B	35.83 B de	A	51.83 A ab	A	43.84 A a	B	35.85 B ab	A	47.62 B ab	A	54.20 A ab
HP_13	^{NS}	41.50 B cd	A	49.00 A a-c	^{NS}	42.36 A a	B	35.71 B ab	^{NS}	45.46 B a-c	A	52.16 A ab
HP_14	^{NS}	41.00 B c-e	B	46.33 A a-d	^{NS}	41.97 A ab	C	37.60 B ab	^{NS}	43.94 B a-c	A	51.23 A ab
HP_15	^{NS}	42.50 ^{NS} cd	A	45.83 ^{NS} b-d	^{NS}	40.37 A ab	B	34.90 B a-c	^{NS}	42.90 B a-d	A	49.53 A a-c
IPR_85	A	47.00 A bc	A	38.33 B e	B	35.02 ^{NS} b	B	31.71 ^{NS} bc	B	36.51 B d	A	42.69 A c
JURITI	B	34.00 B e	B	46.67 A a-d	A	43.99 ^{NS} a	C	41.31 ^{NS} a	A	45.11 B a-c	A	53.32 A ab
SAFIRA	^{NS}	45.50 ^{NS} bc	B	44.83 ^{NS} b-e	^{NS}	41.52 ^{NS} ab	C	38.20 ^{NS} ab	^{NS}	42.96 B a-d	A	50.48 A ab

Means preceded by different capital letters in the same row and environment (FD or NFD) present statistical significant differences for the environment comparison with the year of evaluation (2010, 2011 and 2012). Means followed by different capital letters in the same row and year show statistical significant differences for the comparison between environments (FD and NFD) within each year of assessment (2010, 2011 or 2012). Means followed by different small letters in the same column show statistical significant differences among genotypes for each environment (FD or NFD) within a single year (2010, 2011 or 2012). "^{NS}" Not significant for means comparison. Abbreviations: Hybrid Population (HP), Flooded (FD) and Not Flooded (NFD).

Table 10: Means analysis for the character days from emergence to maturity (DEM), evaluated in wheat genotypes in factorial diallel model (populations and their parents) by Tukey test at 5% of significance, cultivated with flooding (FD) and without flooding (NFD) for three consecutive years (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPeI, 2013

GENOTYPES	DEM (days)							
	2010		2011				2012	
	FD	NFD	FD	NFD	FD	NFD	FD	NFD
BRS_117	B 107.50 B a-d	C 110.17 A a	A 114.86 B ab	A 119.56 A b	A 111.94 B ab	B 114.79 A ab		
CEP_29	B 101.50 B fg	C 109.50 A ab	A 113.77 B a-d	A 118.03 A b-d	A 111.07 B a-d	B 114.49 A a-c		
FIGUEIRA	C 106.17 ^{NS} a-f	C 108.33 ^{NS} a-d	A 117.48 B a	A 126.63 A a	B 112.32 B a	B 116.92 A a		
HP_01	B 101.83 B eg	C 106.17 A a-e	A 111.17 B b-d	A 116.17 A b-f	A 108.11 B a-d	B 111.98 A bc		
HP_02	B 103.67 B b-g	B 106.67 A a-e	A 110.54 B b-d	A 114.41 A c-f	A 108.05 B a-d	A 111.98 A bc		
HP_03	B 106.67 ^{NS} a-d	B 108.67 ^{NS} a-c	A 112.88 B a-d	A 117.09 A b-e	A 110.21 B a-d	A 114.78 A ab		
HP_04	C 105.50 ^{NS} a-g	C 106.83 ^{NS} a-e	A 112.38 B b-d	A 117.92 A b-d	B 109.05 B a-d	B 113.21 A a-c		
HP_05	B 106.83 ^{NS} a-d	C 109.33 ^{NS} ab	A 114.02 B a-c	A 118.71 A bc	A 111.11 B a-d	B 114.88 A ab		
HP_06	^{NS} 107.67 ^{NS} a-c	B 107.00 ^{NS} a-e	^{NS} 110.02 B cd	A 113.04 A ef	^{NS} 107.96 ^{NS} a-d	A 112.63 ^{NS} a-c		
HP_07	B 108.00 ^{NS} ab	C 110.00 ^{NS} a	A 114.04 B a-c	A 118.07 A b-d	A 111.45 ^{NS} a-c	B 113.52 ^{NS} a-c		
HP_08	AB 108.33 A ab	C 105.17 B b-e	A 110.84 B b-d	A 116.52 A b-f	B 107.45 B b-d	B 109.88 A c		
HP_09	AB 107.83 A ab	C 103.50 B e	A 110.60 B b-d	A 117.70 A b-e	B 106.88 B cd	B 110.20 A bc		
HP_10	B 102.83 B d-g	C 105.67 A a-e	A 110.06 B cd	A 114.44 A c-f	A 107.31 B b-d	B 110.66 A bc		
HP_11	AB 103.00 ^{NS} c-g	B 104.83 ^{NS} b-e	A 109.24 B d	A 113.65 A d-f	B 106.49 B d	A 110.90 A bc		
HP_12	C 109.83 A a	C 103.67 B de	A 111.94 B b-d	A 120.22 A b	B 107.24 B b-d	B 114.53 A a-c		
HP_13	C 101.83 B e-g	C 106.33 A a-e	A 111.44 B b-d	A 116.54 A b-f	B 108.33 B a-d	B 112.64 A a-c		
HP_14	C 100.83 B gh	C 107.67 A a-e	A 113.95 B a-d	A 120.22 A b	B 110.24 B a-d	B 114.01 A a-c		
HP_15	C 106.17 ^{NS} a-f	C 106.67 ^{NS} a-e	A 113.50 B a-d	A 120.33 A b	B 109.52 B a-d	B 113.54 A a-c		
IPR_85	B 96.50 A h	C 90.00 B f	A 101.07 B e	A 112.15 A f	B 95.03 B e	B 100.99 A d		
JURITI	C 91.17 B i	C 104.50 A c-e	A 110.38 B b-d	A 116.26 A b-f	B 106.89 B cd	B 111.04 A bc		
SAFIRA	B 106.33 ^{NS} a-e	C 105.67 ^{NS} a-e	A 112.67 B b-d	A 119.67 A b	B 108.61 B a-d	B 112.51 A a-c		

Means preceded by different capital letters in the same row and environment (FD or NFD) present statistical significant differences for the environment comparison with the year of evaluation (2010, 2011 and 2012). Means followed by different capital letters in the same row and year show statistical significant differences for the comparison between environments (FD and NFD) within each year of assessment (2010, 2011 or 2012). Means followed by different small letters in the same column show statistical significant differences among genotypes for each environment (FD or NFD) within a single year (2010, 2011 or 2012). "^{NS}" Not significant for means comparison. Abbreviations: Hybrid Population (HP), Flooded (FD) and Not Flooded (NFD).

ARTIGO 2 – THEORETICAL AND APPLIED GENETICS

Use of Diallel and Canonical Variable Analyses to Evaluate Tolerance to Flooding in Brazilian Wheat Genotypes

Sydney Antonio Frehner Kavalco, Ricardo Figueiredo, Rodrigo Lisboa Santos, Rafael Nornberg, Henrique de Souza Luche, Rogerio Oliveira de Souza, Ariano Martins de Magalhães Júnior and Antonio Costa de Oliveira

Sydney Antonio Frehner Kavalco, Ricardo Figueiredo, Rodrigo Lisboa Santos, Rafael Nornberg, Henrique de Souza Luche, and Antonio Costa de Oliveira at Plant Genomics and Breeding Center and Rogerio Oliveira de Sousa at Soil Sciences Department, Faculty of Agronomy, 3° Floor, of Federal University of Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. Ariano Martins de Magalhães Júnior at Embrapa Temperate Climate, BR 392, km 78, P.O. Box 403, Pelotas, RS, Brasil.

Abstract Wheat is one of the most important cereals worldwide and it has been adapted to several climate conditions under a range of different stresses. However, flooding tolerance is a character that still needs improvement in most wheat germplasm. A diallel cross scheme without reciprocals was used to estimate the variability for agronomic characters in the F3, F4 and F5 generations of fifteen wheat crosses. They were evaluated beneath two cultivation systems (with and without flooding) and three years

of experiments (2010, 2011 and 2012). This work had as goals to estimate: a) the general combining ability; b) specific combining ability and c) clustering by canonical variables. The experiment was conducted in the field with randomized blocks with three replications. By the diallel analysis, it was possible to note high positive and negative general combining abilities between cultivars for all the evaluated group of characters. The analysis of canonical variables indicated the importance of each character for the grouping, the NFT, the DEM and the DEF are most important for canonical variable analysis in wheat. In general, the populations with the greatest potential to be exploited in terms of flooding tolerance are the populations 2 (Juriti x IPR85), 13 (BRS177 x Safira) and 14 (BRS177 x Figueira). The parental genotypes with higher values of heterosis for this analysis are BRS177, Figueira, IPR85 and CEP29.

Abbreviations: GCA, general combining ability; SCA, specific combining ability; FAEM, Eliseu Maciel School of Agronomy; UFPel, Federal University of Pelotas; GEN, genotype; ENV, environment; NFT, Number of Fertile Tillers; GY, Grain Yield; GSW, Grain Spike Weight; GSN, Grain Spike Number; TGW, Thousand Grain Weight; DEF, Days of Emergence to Flowering; DFM, Days from Flowering to Maturity and DEM, Days from Emergence to Maturity.

Introduction

One of the major steps of a plant breeding program is the selection of parents for populations where natural or artificial selection will be applied. This selection is limited by the low ability to predict the intensity in which parental genetic effects will be manifested in their progenies (Hallauer et al. 2010).

The challenge of the breeder is to gather in one genotype as often as possible all kind of favorable alleles, coming from different parents. In the selection of parents in wheat, the best intersections are the ones who are most likely to provide offspring with high yield performances combined with desirable agronomic traits (Benin et al. 2009).

Some techniques can be used for selecting the best hybrid combinations, foremost among them the diallel, enables the identification of parents based on their own genotypes, and especially in their ability to combine in producing hybrid segregating populations (Ramalho et al. 1993). A few methods can be used for analysis

and interpretation of diallel crosses. Each one has peculiarities of their own and explores the data differently, according with the objectives of the experiment and the researcher preferences (Cruz et al., 2004). Among them are Gardner and Eberhart (1966) and Griffing (1956) methods, which enable a detailed study of heterosis and provide information related on the general and specific combining ability of artificial crosses, respectively. In the latter, the sums of squares of treatments are partitioned on effects of general (GCA) and specific combining ability (SCA) and, depending on the method, on reciprocal effects.

Character evaluation per se may not be enough for the selection of parents, because it does not consider the correlations between characters (Jung et al. 2007), considering that selection based on a particular character can cause changes in others, which may or may not be of interest to improve. The Griffing (1956) method has been the most widely used for the analysis and interpretation of diallel crosses (Pfann et al. 2009). In this method, the different measured variables are analyzed separately, which creates difficulties in the genetic improvement of crops, because many characters need to be improved simultaneously. One option is the use of multivariate diallel analyses, which combined with information obtained in the experimental unit, facilitates the selection and enables the discrimination of the most promising populations (Jung et al. 2007, Silva et al. 2008).

A wide range of multivariate methodologies can be used to complement the results and provide subsidies for practical use of data. Among many possibilities, there are the canonical variables, the principal components factor analysis and selection indices (Ledo et al. 2003, Cruz 2006).

The estimation of genetic parameters in segregating populations of wheat grown under different conditions has been studied in Brazil (Oliveira et al. 2012). However for the condition of waterlogging, few studies have been reported in literature and the importance of studying the direct effects of this type of stress is great for the understanding of its damages.

This work was carried out to determine the general and specific combining abilities for two groups of characters by diallel cross and the use of multivariate analysis in order to obtain useful genetic information for parental selection for flooding tolerance in wheat.

Material and methods

Plant Material

Six wheat genotypes: FUNDACEP 29, IPR 85, OCEPAR 11-JURITI, SAFIRA, BRS FIGUEIRA, BRS 117 and 15 segregating populations in different generations (F4, F5 and F6), were used in each year of experiments. The parents were selected because of their differences in tillering ability and agronomic potential. The genotypes FUNDACEP 29, IPR 85 and OCEPAR 11-JURITI produce a small number of tillers, while genotypes SAFIRA, BRS FIGUEIRA and BRS 117 produce a large numbers of tillers. These genotypes were subjected to controlled hybridization, according to a diallel complete model without reciprocals, resulting in 15 hybrid combinations (Valério et al. 2009).

Experimental Design

The field experiment was installed in the agricultural years 2010, 2011 and 2012, in the Agricultural Center of Palma, in the area of the Plant Genomics and Breeding Center - FAEM / UFPel located in Capão do Leão (RS). The city is located at 31°52'00" latitude south and 5°21'24" longitude west at an altitude of 13.24m, having a Cfa climate, with an average annual rainfall of 1280.2 mm (Moreno 1961).

Cultural practices were performed in agreement with the technical recommendations for wheat (Castro et al. 2010), and the base fertilization performed at a dose of 350 kg ha⁻¹, with commercial fertilizer formulation 10-20-20. Nitrogen fertilization was performed in two replicates totaling 60 kg ha⁻¹, each one with half the recommended amount of urea to the crop. The first thirty days after germination and the second shortly after the induction of flooding in plants.

On July 2010 the first experiment was installed at the field with the F4 populations derived from the crosses and the selected parentals in a randomized block design with three replications in two different environments. Each experimental unit was consisted of three lines (30 plants) spaced 30 cm within plants and 20 cm between rows. From each population, 18 plants were selected, considering the productivity, cycle and stress tolerance characters, to the next experiment. On July 2011, the second experiment was installed in the field with the populations (F5) and the parentals in a randomized block design with three replications in two different environments. Each experimental unit was consisted of 18 rows (180 plants) spaced 30 cm within plants and

20 cm between rows. Of each population 18 plants were selected, considering the productivity, cycle and stress tolerance characters, to the next experiment. On July 2012, the third and last experiment were installed in the field with the populations (F6) and the parents following a randomized block design with three replications in two different environments. Each experimental unit was consisted of 18 rows (180 plants) spaced 30 cm within plants and 20 cm between rows.

Two types of environments were tested: with and without flooding. The stress was conducted from early tillering to early flowering, totaling twenty days. The plants were evaluated in the period before flooding, and after, towards the end of the cycle. Data relating to flowering and maturity were evaluated during the cultivation. The incidence of pests and diseases was also considered in the evaluations.

Phenotype Evaluation

The characters evaluated in each plant were the Number of Fertile Tillers (NFT), Grain Yield per plant (GY), Grain Ear Weight (GEW), Grain Ear Number (GEN) and Thousand Grain Weight (TGW). The characters evaluated for each line of the experiment were: Days from Emergence to Flowering (DEF), Days from Flowering to Maturity (DFM) and Days from Emergence to Maturity.

Each plot consisted of an experimental unit were used as a repeat unit for statistical analysis, performed as a factorial randomized block without lost plots, with three replications and twenty one genotypes (six parental genotypes plus fifteen segregating families).

Statistical Analyses

Data were evaluated by variance analysis and analyzed by method 2 of diallel analysis fixed model developed by Griffing (1956), that estimates the general and specific combining ability effects with $p(p+1)/2$ combinations without reciprocals of F4, F5 and F6 hybrids. The diallel analysis of variance was performed involving six cultivars and the hybrids in six different environments representing the interaction between three years and two conditions of cultivation, flooded and non flooded.

The Griffing model defines:

$$Y_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + e_{ij}$$

Where:

Y_{ij} = average value of the hybrids ($i \neq j$) or the parents ($i = j$);

m = general mean;

g_i, g_j = general combining ability effects of i -th and j -th parentals;

s_{ij} = specific combining ability effects of i and j parentals;

e_{ij} = average experimental error.

The canonical variables analysis was performed in order to obtain useful genetic information among parents and their offspring, evaluating the value of the canonical variable and the character importance in the statistical analyzes, that were performed using the GENES software (Cruz, 2006).

Results

The analysis of variance summary for all the traits in the parents and hybrids resulting from the diallel is presented on Table 1. The mean squares for genotypes and for the specific combining ability (SCA) were significant (F test; $p < 0.01$) for all characters, indicating the existence of genetic variability among the genotypes used as parents. A similar result was obtained for the general combining ability (GCA), where significant differences were found for all but the character GEW. The interaction between genotype (GEN) and environment (ENV) was significant for almost all characters ($p < 0.01$), with exception for the character TGW. These results were similar for the interaction between GCA and ENV. The interaction between SCA and ENV was significant for most characters ($p < 0.01$), with exception for GSN and TGW. These results indicate a strong influence of flooding on the genotypes.

The multivariate extension analysis of variance used was the model proposed by Griffing (1956), revealing significant effects of SCA and GCA on the characters (Table 1), indicating that the parental genes are complementary and characters may be considered together in the diallel analysis. The characters NFT, GY, DEF, DFM and DEM showed significant differences for the main components of variation (GEN, SCA, GCA, GENxENV, GCAxENV and SCAxENV).

For Number of Fertile Tillers (NFT), it was observed that BRS177 and Figueira showed high positive GCA for the number of tillers in all of the cultivating

environments and, consequently, on average (Table 2). The SCA analysis indicated that combinations between Juriti x IPR85, Juriti x Figueira, CEP29 x BRS177, IPR85 x Figueira and BRS177 x Safira, favored the formation of segregating populations with high number of tillers. The SCA analysis also showed that combinations between Juriti x CEP29, CEP29 x IPR85, CEP29 x Figueira, IPR85 x BRS177, BRS177 x Figueira and Safira x Figueira, favored the formation of segregating populations with lower number of tillers.

Regarding GY (Table 3), one can observe that cultivars BRS177, CEP29 and Figueira had high positive coefficients of heterosis for the character evaluated. In contrast, the cultivars IPR85 and Juriti, obtained higher negative GCA for GY for the cultivating environments and on average between them. Regarding SCA, the combination of Juriti and IPR85 had the highest positive values for average and in 5 of 6 environments for the character, indicating an interesting combination for the selection in flooded environments. However, combinations between Juriti x BRS177 and IPR85 x Safira had positive rates of GY for all the cultivating environments and between them on average, these combinations showed stable yield in both environments (flooded and non flooded). In contrast, the combinations between Juriti x CEP29, CEP29 x IPR85 and Safira x Figueira showed higher negative values on heterosis for GY for all the environments, indicating that these combinations had low ability for grain yield when subjected to flooding.

For GEW (Table 4), it was observed that CEP29 showed high positive GCA values and for 2 out of 3 years in the environment subjected to flooding. The cultivars Juriti and Figueira displayed the highest negative GCA values on average. The inclusion of these genotypes in crossing blocks would provide segregating populations with highest grain weight per ear (CEP29) and lower grain weight (Juriti and Figueira) respectively. It was also observed that for SCA, the combination Juriti x IPR85 had the highest positive values for GSW in all the cultivating environments and higher average, indicating a promising population in order to select for grain ear weight. The combinations Juriti x Safira, Juriti x Figueira and CEP29 x BRS177 had the highest negative values for specific combination, indicating that these combinations had lower grain weight per ear.

The analysis of GEN (Table 5) revealed that CEP29 has the best GCA indices, suggesting that the inclusion of this cultivar in crossing blocks would favor the selection for grain ear number. In contrast, it can be seen that cultivar IPR85 showed the highest

negative GCA for GSN. The SCA values indicate that the combination Juriti x IPR85 fosters the formation of populations with higher grain ear number in average and for all the six environments. The combination Juriti x Safira showed the highest negative values for SCA for four out of six environments, indicating that these populations had lower values for grain ear number.

Regarding TGW (Table 6), the cultivar IPR85 had the highest positive GCA values and for all the 6 environments, thus segregating populations originated from crosses with this cultivar, would probably result in genotypes with high grain weight. The cultivar Figueira showed the highest negative magnitudes for GCA on average and for all six environments. It was also observed that the combinations Juriti x CEP29 and Safira x Figueira had the higher positive SCA magnitudes for TGW and the combinations CEP29 x BRS177 and IPR85 x Figueira, had the higher negative magnitudes for that same character. Such combinations would result in genotypes with higher and lower grain weight, respectively.

For DEF (Table 7), the cultivars IPR85 and Juriti showed the greatest negative magnitude of GCA on average and for all the cultivating environments and BRS177 had the highest positive GCA magnitudes on average and also for all the environments. These results indicate that IPR85 and Juriti have shorter cycles than BRS177. One can also observe that the combinations CEP29 x IPR85, BRS177 x Safira and BRS177 x Figueira obtained the higher negative SCA values for DEF. These are interesting features for plant breeding since reducing the crop development cycle did not interfere in the reproductive period. The combinations Juriti x IPR85, Juriti x Figueira, CEP29 x BRS177 and CEP29 x Safira showed the highest positive SCA values, which would result in populations with longer development cycles.

Regarding DFM (Table 8), BRS177 and CEP29 had higher positive values of GCA on average and for all the environments. Figueira showed the highest negative magnitude for the character. Also, the combination CEP29 x IPR85 generated the highest positive values for SCA on average and for all the environments. On the other hand, the combination CEP29 x Safira showed the highest negative SCA. These results indicate that IPR85 and CEP29 had the best gene complementarity to increase the character.

Regarding DEM (Table 9), BRS177 and Figueira showed the highest positive values for GCA on average and for all six environments. In contrast, IPR85 had the highest negative value for this character. The SCA values indicate that the combinations

Juriti x IPR85, CEP29 x IPR85 and IPR85 x Figueira had the highest positive magnitude for SCA on average and in at least five out of six environments. On the other hand, combinations Juriti x CEP29, CEP29 x Figueira, BRS177 x Safira and BRS177 x Figueira had the highest negative values for SCA in average and for all the environments. One of the main characteristics sought in plant breeding is short cycle, since a lower cycle of crop development tends to suffer less from biotic and abiotic stresses, and enables a better use of agricultural areas.

For the canonical analysis of variance (Table 10) it was observed that the first two canonical variables explained more than 70% of the total variance of analyzed characters for all the 6 environments and for the joint analysis. This is an indication that it can satisfactorily explain the variability expressed among genotypes considered in the assessment, and can thus be represented by a two-way scatter graph (Cruz et al., 2004). In the first graph (Figure 1) it was observed that the genotypes 7 (CEP29 x BRS177) and 20 (Safira) had a greater dissimilarity in comparison with the other genotypes in the environment without flooding for the year 2010. The canonical variables (1 and 2) explained more than 77% of the variance among genotypes in the graph.

For the second environment, flooding 2010 (Figure 2), it was observed that genotypes 18 (IPR85) and 20 (Safira) were grouped together and distantly from the main group as well as the genotypes 19 (BRS177) and 12 (IPR85 x Figueira). The first two canonical variables explained more than 71% of the variance among genotypes in the graph. For the non-flooded environment 2011 (Figure 3), it was observed that genotype 19 (BRS177) was grouped distantly from the other genotypes. For this environment the first two canonical variables explain more those 73% of the variance among the genotypes.

In the last environment evaluated, flooding 2012 (Figure 6), genotypes 20 (Safira) and 19 (BRS177) again were grouped distantly from each other and from the main group, as observed for other environments. Canonical variables 1 and 2, explained more than 78% of the variance among genotypes.

For the joint canonical analysis among genotypes (Figure 7), the genotypes 20 (Safira) and 19 (BRS177) were grouped distantly of the main group and it may be noted that some of the crossings are more similar than those parents used in the crossing (21 and 03), (17 and 14), (17 and 15). This probably occurred because of the allelic interaction of parent variability used in crossing.

The cultivar Safira showed a similar performance in the six environments, and grouped separately to the other genotypes. The influence of flooding stress can be seen by the large difference between the graphs formed. For all the canonical analyses, the major characters influencing genotype distributions were the Number of Fertile Tillers (NFT), the Days from Emergence to Maturity (DEM) and the Days from Emergence to Flowering (DEF).

Discussion

The studied characters NFT, GY, GEW, GEN, TGW, DEF and DFM presented a range of GCA and SCA values. The magnitude of general combining ability (GCA) is dependent on the additive genetic variance, and estimates indicate that very low GCA, based on the crosses, do not differ from the diallel overall average. Moreover, elevated GCA, positive or negative, indicates that a given parent is much higher or lower than the other diallel parent (Griffing, 1956). On the other hand, the SCA effect is interpreted as a deviation of the hybrid from the expected based on the GCA values of its parents. Thus, low values indicate a performance closer to the GCA expected values, while high absolute values indicate a performance either higher or lower than what is expected based on GCA values. Therefore, SCA estimates non-additive gene effects, with dominance or epistatic effects (Griffing, 1956).

The analysis of GCA effects for the six parents evaluated in this study in the six environments facilitates the identification of highly promising genotypes for use in crosses targeting higher grain yields. By Griffing's method, high positive or negative (GCA) estimates indicate that the parent analyzed performs better or worse than the others included in the diallel design (Cruz et al. 2004). In this sense, the higher GCA performance for Grain Yield (GY) in five out of six environments and on the average for BRS177, CEP29 and Figueira which had high positive coefficients in the analysis enables the inclusion of these genotypes in crossing blocks, obtaining genotypes with higher grain yield in segregating families.

For the Number of Fertile Tillers (NFT), BRS177 and Figueira cultivars showed high positive GCA. The inclusion of these parents in crossing blocks would tend to increase the number of families with high tillering potential. In contrast to these results, Juriti and IPR85 cultivars displayed high negative GCA, so the use of these cultivars in crossing blocks would tend to increase the number of families with small

number of tillers. The ideotype for the character NFT in wheat has not been well defined in previous reports, due to the compensating capacity of the species and genotypes that have a high number of tillers, which tend to present also reduced grain size, showing no difference in terms of grain yield to genotypes with reduced number of tillers (Valerio et al., 2009).

The SCA effects are interpreted as deviations of a hybrid compared to the value expected based on the parental GCA. A predominance of negative values on effects of parents indicates that both contribute to increase the progeny potential for most of the studied traits. In this sense, the genotypes IPR85, Juriti and Safira lead to the highest positive heterosis in hybrids, regarding the characters NFT, GY, GEN and TGW.

To detect the most promising populations to be used in breeding programs, one must consider the positive (SCA) values plus at least one parental with a high GCA effect (Cruz et al. 2004). In this sense, the highest SCA effect for traits NFT, GY, GEN and TGW was observed in populations derived from Juriti x IPR85, Juriti x BRS177 and BRS177 x Safira crosses. This is due to a high mean performance of genotypes with reduced tiller numbers for the other yield components, as observed in IPR85 and Juriti cultivars. This performance is attributed to a buffering effect of genotypes with low tillering capacity, to compensate for the low number of tillers (Scheeren et al. 1995).

The gene effects can be interpreted by analyzing the expression of heterosis for the evaluated characters. A higher heterosis obtained from a given hybrid combination results in higher probability of rescuing superior individuals in the segregating populations (Cruz et al., 2004). This can be explained by the fact that when a hybrid exhibits heterosis, one can say that a given level of dominance in the loci does exist and interferes on the character expression (Vencovsky and Barriga 1992). In the wheat crop, there is a higher focus on additive effects, since they are easily transmitted to progenies and their expression is stabilized by the increase in homozygosis with the advancing of generations. The year x environment interaction showed that the flooding stress had an impact on heterosis values for genotypes in the diallel analysis.

Flooding tolerance is closely related to the way genotypes interact with the environment. Grain yield and some of the yield components had significant interaction with genotypes, similarly to previous results (Collaku and Harrison, 2002). High values for GCA were found for populations of barley in Australia, indicating that the genes

involved in this tolerance are additive and the selection in earlier generations is recommended to obtain tolerant lines to the stress (Zhou et al. 2007).

Conclusion

The flooding stress affects directly the heterosis values for diallel analysis in wheat, as well as the canonical variables, interfering in the selection of genotypes and in the physiological response of each segregating family.

The cultivars with high (positive or negative) GCA performance, showing good potential as parental genotypes are BRS177 with high tillering capacity, high grain yield, high thousand grain weight and short development cycle; Figueira with high tillering capacity, high grain yield and high thousand grain weight; IPR85 with high grain yield, high grain weight, short period from emergence to flowering and short development cycle; and CEP29 with high grain weight, long period of flowering to maturity and short development cycle.

Considering the diallel and canonical analyses, the following populations are promising: i) Juriti x IPR85 for high yield and high grain quality genotype; ii) BRS177 x Safira for earliness and grain yield and iii) BRS177 x Figueira for earliness and grain quality.

Acknowledgments The authors thank CAPES, CNPq and FAPERGS for grants (to ACO) and fellowships awarded to the authors who supported this research.

References

- Benin, G., da Silva, G. O., Pagliosa, E. S., Lemes, C., Signorini, A., Beche, E. and Capelin, M. A. 2009. Capacidade de combinação em genótipos de trigo estimada por meio de análise multivariada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 44:9 1145-1151.
- Castro, R. L., Pires, J. L. F., Pasinato, A., Abichequer, A. D., Radin, B., Lisboa, B., Lau, D., Paganella, F., Nunes, J. R. G., Vargas, L. K., Bertoldo, N. G., Lancini, S. P. 2010. **Informações Técnicas para Trigo e Triticale – safra 2010** Porto Alegre, RS: Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale: Fepagro; Veranópolis: ASAV; Passo Fundo: Embrapa Trigo, 176.

- Collaku, A. and Harisson, S. A. 2007. Losses in Wheat Due to Waterlogging. **Crop Science** 42:444–450
- Cruz, C. D. 2006. **Programa Genes: Análise multivariada e simulação**. Editora UFV. Viçosa (MG). 175p.
- Cruz, C.D., Regazzi, A. J., Carneiro, P. C. S. 2004. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 480p.
- Gardner, C. O. and Eberhart, S. A. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. **Biometrics** 22:439-452.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences** 9:462-493.
- Hallauer, A. R., Miranda Filho, J. B., Carena, M. J. 2010. **Quantitative Genetics in Maize Breeding Handbook of Plant Breeding** 6:577-653.
- Jung, M. S., Vieira, E. A., da Silva, G. O., Brancker, A. and Nodari, R.O. 2007. Capacidade de combinação por meio de análise multivariada para caracteres fenotípicos em maracujazeiro-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 42:689-694.
- Ledo, C. A. S., Ferreira, D. F. and Ramalho, M. A. P. 2003. Análise de variância multivariada para os cruzamentos dialélicos. **Ciência e Agrotecnologia** 27:1214-1221.
- Moreno, J. A. 1961. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura/RS, 41p.
- Oliveira, D. M., Souza, M. A., Machado, J. C. and Cargnin, A. 2012. Genetic parameters of wheat populations in environments with contrasting temperatures. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** 12:85-91.
- Pfann, A. Z., Fariai, M. V., Andrade, A. A., Nascimento, I. R., Faria, C. M. D. R. and Bringhentti, R. M. 2009. Capacidade combinatória entre híbridos simples de milho em dialelo circulante. **Ciência Rural** 39:635-641.
- Ramalho, M. A. P., Santos, J. B., Zimmermann, M. J. P. 1993. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: Editora da UFG, 271p.

Scheeren, P. L., Carvalho, F. I. F., Federizzi, L. C. 1995. Resposta do trigo aos estresses causados por baixa luminosidade e excesso de água no solo. Parte II – Teste no Campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 30: 605-619.

Silva, G. O., Pereira, A. S., Souza, V. Q., Carvalho, F. I. F. and Vieira, E. A. 2008. Capacidade de combinação multivariada para caracteres de tubérculo em gerações iniciais de seleção em batata. **Ciência Rural** 38:321-325.

Valério, I. P., Carvalho, F. I. F., Oliveira, A. C., Souza, V. Q., Benin, G., Schmidt, D. A. M., Ribeiro, G., Nornberg, R. and Luche, H. 2009. Combining ability of wheat genotypes in two models of diallel analyses. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** 9:100-107.

Zhou, M. X., Li, H. B. and Mendham, N. J. 2007. Combining Ability of Waterlogging Tolerance in Barley. **Crop Science** 47:278–284.

Table 1 – Mean square of multivariety variance analysis for two joint cultivation environments, with and without flooding, three years of experiment (2010, 2011 and 2012) and 21 wheat genotypes (15 segregating populations and 6 parentals) in eight adaptive and agronomic traits. Effect of Enviroment (ENV) and Genotype (GEN) and interactions between effects. CGF / FAEM / UFPel, 2013

SOURCE	DF	NFT	GY	GEW	GEN	TGW	DEF	DFM	DEM
GENOTYPES	20	181.6**	143.2**	0.25**	151.9**	92.5**	163.4**	77.9**	170.4**
G.C.A	5	500.7**	301.7**	0.10 ^{NS}	213.0**	278.2**	491.3**	51.8*	431.9**
S.C.A	15	75.3**	90.4**	0.29**	131.5**	30.6**	54.1**	86.6**	83.2**
ENV	5	329.4	425.0	4.10	3837.4	1254.6	4871.2	1707.4	1463.5
GEN x ENV	100	8.2**	11.8**	0.07**	23.1**	9.5 ^{NS}	18.5**	20.8**	13.7**
G.C.A x ENV	25	9.2**	14.0**	0.07**	42.5**	9.3 ^{NS}	18.7**	20.9**	22.2**
S.C.A x ENV	75	7.9**	11.0**	0.07**	16.7 ^{NS}	9.5 ^{NS}	18.5**	20.8**	10.9**
RESIDUALS	1500	3.5	5.8	0.02	14.8	8.1	4.2	6.0	2.6
MEAN		12.1	13.3	1.5	42.0	36.0	66.3	43.8	110.0

^{NS} not significant, “*” and “**” significant at 0.05 and 0.01 probability levels by the F test on the characters Number of Fertile Tillers (NFT), Grain Yield per plant (GY), Grain Ear Weight (GEW), Grain Ear Number (GEN), Thousand Grain Weight (TGW), Days of Emergence to Flowering (DEF), Days from Flowering to Maturity (DFM) and Days from Emergence to Maturity.

Table 2 - Estimated effect of General Combining Ability (GCA) and Specific Combining Ability (SCA) among wheat genotypes for the character Number of Fertile Tillers (NFT) evaluated in six cultivating environments, Non Flooded (NFLO) and Flooded (FLO) in three years of evaluation (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPel, 2013

GENOTYPES	2010		2011		2012		MEAN
	NFLO	FLO	NFLO	FLO	NFLO	FLO	
GCA							
JURITI	-2.753	-3.126	-1.610	-1.631	-2.595	-1.948	-2.277
CEP29	0.923	0.142	-0.208	0.172	0.495	0.522	0.341
IPR85	-2.692	-2.374	-1.538	-1.577	-2.517	-1.898	-2.099
BRS177	2.173	1.810	0.397	0.851	1.611	1.384	1.371
SAFIRA	-0.071	-0.164	0.910	0.434	0.409	0.117	0.273
FIGUEIRA	2.420	3.711	2.048	1.751	2.598	1.823	2.392
SCA							
JURITI x CEP29	-4.412	0.177	-2.229	-2.437	-3.982	-3.058	-2.657
JURITI x IPR85	7.143	-0.703	1.784	3.035	5.537	4.636	3.572
JURITI x BRS177	0.311	1.356	1.176	0.681	0.791	0.394	0.785
JURITI x SAFIRA	-0.098	2.003	-0.157	-0.109	-0.143	-0.086	0.235
JURITI x FIGUEIRA	4.041	-1.305	1.195	1.811	3.228	2.655	1.938
CEP29 x IPR85	-0.900	-2.881	-1.098	-0.821	-1.133	-0.734	-1.261
CEP29 x BRS177	5.182	-0.015	-1.696	0.708	2.521	2.837	1.590
CEP29 x SAFIRA	-0.781	-0.255	1.248	0.387	0.117	-0.252	0.077
CEP29 x FIGUEIRA	-3.438	-0.550	0.310	-0.876	-2.078	-2.025	-1.443
IPR85 x BRS177	-2.589	-1.419	0.377	-0.586	-1.497	-1.499	-1.202
IPR85 x SAFIRA	0.014	0.378	-0.402	-0.200	-0.191	-0.059	-0.077
IPR85 x FIGUEIRA	0.967	7.160	-0.360	0.110	0.447	0.519	1.474
BRS177 x SAFIRA	2.606	2.344	0.703	1.132	2.044	1.699	1.755
BRS177 x FIGUEIRA	-0.668	-3.387	-3.065	-1.734	-1.968	-0.943	-1.961
SAFIRA x FIGUEIRA	-2.447	-4.334	-3.832	-2.648	-3.506	-2.149	-3.153

Table 3 - Estimated effect of General Combining Ability (GCA) and Specific Combining Ability (SCA) among wheat genotypes for the character Grain Yield (GY) evaluated in six cultivating environments, Non Flooded (NFLO) and Flooded (FLO) in three years of evaluation (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPel, 2013

GENOTYPES	2010		2011		2012		MEAN
	NFLO	FLO	NFLO	FLO	NFLO	FLO	
GCA							
JURITI	-1.903	-2.057	-1.395	-1.268	-2.221	-1.872	-1.786
CEP29	0.607	1.081	1.017	0.691	0.994	0.739	0.855
IPR85	-2.253	-3.142	-0.355	-0.852	-1.980	-1.891	-1.746
BRS177	2.337	2.621	0.035	0.718	1.887	1.879	1.580
SAFIRA	-0.444	-0.115	0.876	0.305	0.084	-0.136	0.095
FIGUEIRA	1.657	1.611	-0.178	0.407	1.236	1.281	1.002
SCA							
JURITI x CEP29	-2.730	3.353	-3.403	-2.521	-3.881	-3.033	-2.036
JURITI x IPR85	10.380	2.665	1.136	3.682	8.871	8.586	5.887
JURITI x BRS177	0.686	2.592	1.952	1.182	1.526	1.036	1.496
JURITI x SAFIRA	-2.296	1.349	-0.379	-0.879	-2.027	-1.932	-1.027
JURITI x FIGUEIRA	1.754	-3.540	1.508	1.282	2.155	1.781	0.823
CEP29 x IPR85	-1.536	-2.159	-0.653	-0.787	-1.554	-1.391	-1.347
CEP29 x BRS177	-0.630	1.615	-2.530	-1.454	-1.772	-1.138	-0.985
CEP29 x SAFIRA	-0.645	1.141	1.876	0.742	0.421	-0.046	0.582
CEP29 x FIGUEIRA	-2.273	-0.128	1.686	0.160	-0.977	-1.399	-0.488
IPR85 x BRS177	-0.827	-0.959	2.382	0.939	0.526	-0.068	0.332
IPR85 x SAFIRA	1.701	1.420	0.161	0.592	1.443	1.401	1.120
IPR85 x FIGUEIRA	-0.943	3.432	-2.138	-1.350	-1.819	-1.286	-0.684
BRS177 x SAFIRA	2.694	0.144	-0.593	0.512	1.855	2.007	1.103
BRS177 x FIGUEIRA	1.580	-1.435	-2.449	-0.750	0.040	0.654	-0.393
SAFIRA x FIGUEIRA	-1.339	-3.508	-2.623	-1.717	-2.383	-1.728	-2.216

Table 4 - Estimated effect of General Combining Ability (GCA) and Specific Combining Ability (SCA) among wheat genotypes for the character Grain Ear Weight (GEW) evaluated in six cultivating environments, Non Flooded (NFLO) and Flooded (FLO) in three years of evaluation (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPEl, 2013

GENOTYPES	2010		2011		2012		MEAN
	NFLO	FLO	NFLO	FLO	NFLO	FLO	
GCA							
JURITI	-0.012	0.050	-0.107	-0.034	-0.022	0.002	-0.020
CEP29	0.050	0.105	0.013	0.010	0.058	0.057	0.049
IPR85	-0.079	-0.083	0.034	0.077	0.060	-0.001	0.001
BRS177	0.100	-0.017	0.004	-0.047	-0.008	.	0.005
SAFIRA	-0.022	0.011	0.003	0.001	-0.038	0.002	-0.007
FIGUEIRA	-0.037	-0.064	0.054	-0.007	-0.050	-0.061	-0.027
SCA							
JURITI x CEP29	0.070	0.197	-0.112	0.008	0.008	0.075	0.041
JURITI x IPR85	0.546	0.521	0.130	0.207	0.339	0.283	0.338
JURITI x BRS177	0.077	0.025	-0.147	-0.025	-0.029	0.012	-0.014
JURITI x SAFIRA	0.046	-0.212	-0.222	-0.133	-0.182	-0.053	-0.126
JURITI x FIGUEIRA	-0.103	-0.314	-0.147	-0.116	-0.057	-0.030	-0.128
CEP29 x IPR85	0.041	-0.017	0.014	0.063	0.090	0.011	0.034
CEP29 x BRS177	-0.038	-0.100	-0.226	-0.116	-0.222	-0.213	-0.153
CEP29 x SAFIRA	0.134	-0.017	-0.205	-0.031	-0.022	0.095	-0.008
CEP29 x FIGUEIRA	-0.104	0.034	-0.303	-0.060	-0.010	0.051	-0.065
IPR85 x BRS177	-0.079	-0.152	-0.087	0.070	0.116	0.058	-0.012
IPR85 x SAFIRA	-0.029	0.107	-0.232	-0.078	0.016	-0.020	-0.040
IPR85 x FIGUEIRA	0.072	0.079	0.016	0.113	-0.089	0.029	0.037
BRS177 x SAFIRA	-0.009	-0.012	-0.313	-0.021	0.101	0.055	-0.033
BRS177 x FIGUEIRA	-0.094	0.073	-0.098	0.101	-0.018	0.028	-0.001
SAFIRA x FIGUEIRA	-0.069	-0.025	0.080	0.442	-0.001	-0.010	0.070

Table 5 - Estimated effect of General Combining Ability (GCA) and Specific Combining Ability (SCA) among wheat genotypes for the character Grain Ear Number (GEN) evaluated in six cultivating environments, Non Flooded (NFLO) and Flooded (FLO) in three years of evaluation (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPEl, 2013

GENOTYPES	2010		2011		2012		MEAN
	NFLO	FLO	NFLO	FLO	NFLO	FLO	
GCA							
JURITI	0.725	-0.327	2.449	0.446	-0.363	-0.615	0.386
CEP29	1.784	2.202	1.292	1.323	2.060	1.691	1.725
IPR85	-4.497	-4.305	0.758	-0.525	-1.837	-1.805	-2.035
BRS177	1.319	0.782	-1.210	-0.129	0.286	0.376	0.237
SAFIRA	-0.180	0.392	-0.340	-0.124	-0.040	0.005	-0.048
FIGUEIRA	0.850	1.256	-2.950	-0.991	-0.106	0.348	-0.265
SCA							
JURITI x CEP29	-0.342	-0.139	-3.486	-1.809	-2.294	-1.727	-1.633
JURITI x IPR85	7.903	14.292	1.928	2.962	7.760	7.258	7.017
JURITI x BRS177	0.727	0.394	1.692	0.286	-0.930	-1.160	0.168
JURITI x SAFIRA	-4.914	-3.876	-2.061	-2.386	-5.087	-4.552	-3.813
JURITI x FIGUEIRA	-3.495	-6.966	1.586	-0.408	-0.535	-0.411	-1.705
CEP29 x IPR85	-1.310	0.739	2.025	0.779	0.357	0.025	0.436
CEP29 x BRS177	-3.526	2.182	-2.968	-1.914	-2.543	-1.916	-1.781
CEP29 x SAFIRA	1.800	0.332	1.522	-0.096	-0.680	-0.721	0.359
CEP29 x FIGUEIRA	1.439	-0.843	0.119	0.138	-0.514	-0.554	-0.036
IPR85 x BRS177	-0.358	-5.748	2.970	1.601	1.722	1.173	0.227
IPR85 x SAFIRA	-1.562	-0.125	0.290	-0.121	-0.892	-0.925	-0.556
IPR85 x FIGUEIRA	4.117	4.151	-4.417	-0.900	0.550	1.019	0.753
BRS177 x SAFIRA	-0.465	0.765	1.544	1.200	1.821	1.467	1.055
BRS177 x FIGUEIRA	-4.856	-1.123	1.341	-0.350	-2.040	-2.122	-1.525
SAFIRA x FIGUEIRA	-3.006	-2.746	0.397	-1.285	-2.491	-2.185	-1.886

Table 6 - Estimated effect of General Combining Ability (GCA) and Specific Combining Ability (SCA) among wheat genotypes for the character Thousand Grain Weight (TGW) evaluated in six cultivating environments, Non Flooded (NFLO) and Flooded (FLO) in three years of evaluation (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPel, 2013

GENOTYPES	2010		2011		2012		MEAN
	NFLO	FLO	NFLO	FLO	NFLO	FLO	
GCA							
JURITI	0.053	-0.520	-1.110	-0.269	-0.201	-0.065	-0.352
CEP29	-0.145	0.832	1.821	0.367	0.074	-0.199	0.458
IPR85	2.111	1.169	2.699	2.457	3.245	2.598	2.380
BRS177	0.270	0.436	-1.437	-0.346	-0.204	-0.003	-0.214
SAFIRA	-0.606	0.154	-0.745	-0.351	-0.514	-0.443	-0.417
FIGUEIRA	-1.684	-2.071	-1.229	-1.858	-2.400	-1.888	-1.855
SCA							
JURITI x CEP29	1.759	1.474	0.194	1.325	2.194	2.034	1.497
JURITI x IPR85	2.293	1.804	-2.937	-0.778	-0.017	0.619	0.164
JURITI x BRS177	0.587	1.883	0.093	0.055	0.218	0.267	0.517
JURITI x SAFIRA	-0.011	3.142	0.697	0.117	0.076	0.004	0.671
JURITI x FIGUEIRA	0.791	-1.600	-2.052	-0.103	0.131	0.276	-0.426
CEP29 x IPR85	0.421	0.222	0.969	1.176	1.574	1.273	0.939
CEP29 x BRS177	-4.642	2.238	-0.832	-1.748	-3.124	-3.016	-1.854
CEP29 x SAFIRA	-1.036	1.376	-0.294	-0.039	-0.150	-0.182	-0.054
CEP29 x FIGUEIRA	-1.367	-2.559	0.210	0.914	0.689	0.223	-0.315
IPR85 x BRS177	0.076	-0.072	3.587	1.599	1.582	0.937	1.285
IPR85 x SAFIRA	1.408	1.659	0.245	0.461	0.912	0.921	0.934
IPR85 x FIGUEIRA	-0.106	-1.696	-4.378	-1.622	-1.702	-1.088	-1.765
BRS177 x SAFIRA	2.196	-2.248	-2.336	-0.516	0.208	0.728	-0.328
BRS177 x FIGUEIRA	3.858	0.277	-2.985	0.658	1.967	2.263	1.006
SAFIRA x FIGUEIRA	2.954	-0.291	1.930	2.753	3.744	3.070	2.360

Table 7 – Estimated effect of General Combining Ability (GCA) and Specific Combining Ability (SCA) among wheat genotypes for the character Days from Emergence to Flowering (DEF) evaluated in six cultivating environments, Non Flooded (NFLO) and Flooded (FLO) in three years of evaluation (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPEL, 2013

GENOTYPES	2010		2011		2012		MEAN
	NFLO	FLO	NFLO	FLO	NFLO	FLO	
GCA							
JURITI	-0.750	-0.146	-0.732	-0.742	-0.629	-0.742	-0.623
CEP29	1.312	-1.896	-1.403	-0.045	-0.242	0.634	-0.273
IPR85	-4.083	-2.479	-1.810	-2.946	-2.333	-3.501	-2.859
BRS177	1.563	-0.063	-0.183	0.689	0.455	1.123	0.597
SAFIRA	0.542	1.042	-0.187	0.178	0.097	0.358	0.338
FIGUEIRA	1.417	3.542	4.316	2.866	2.653	2.127	2.820
SCA							
JURITI x CEP29	-1.110	-2.458	-0.152	-0.633	-0.467	-0.870	-0.948
JURITI x IPR85	2.786	3.125	1.275	2.032	1.614	2.398	2.205
JURITI x BRS177	-3.027	4.708	2.591	-0.217	0.237	-1.622	0.445
JURITI x SAFIRA	-0.006	-0.896	3.112	1.554	1.554	0.766	1.014
JURITI x FIGUEIRA	0.452	0.937	4.639	2.543	2.475	1.490	2.090
CEP29 x IPR85	-2.443	-4.125	-2.344	-2.395	-2.029	-2.407	-2.624
CEP29 x BRS177	2.577	4.958	0.652	1.617	1.229	2.089	2.187
CEP29 x SAFIRA	2.098	6.354	0.566	1.334	1.021	1.707	2.180
CEP29 x FIGUEIRA	0.890	0.354	-3.020	-1.064	-1.198	-0.082	-0.687
IPR85 x BRS177	2.307	0.375	-1.174	0.561	0.218	1.431	0.620
IPR85 x SAFIRA	-0.173	-0.729	-1.297	-0.732	-0.708	-0.449	-0.681
IPR85 x FIGUEIRA	-4.381	12.771	-0.273	-2.326	-1.667	-3.341	0.131
BRS177 x SAFIRA	-3.652	-0.813	-0.947	-2.303	-1.752	-2.962	-2.071
BRS177 x FIGUEIRA	-0.527	-3.813	-3.653	-2.091	-2.011	-1.297	-2.232
SAFIRA x FIGUEIRA	-0.006	-1.083	-0.836	-0.420	-0.420	-0.213	-0.496

Table 8 - Estimated effect of General Combining Ability (GCA) and Specific Combining Ability (SCA) among wheat genotypes for the character Days from Flowering to Maturity (DFM) evaluated in six cultivating environments, Non Flooded (NFLO) and Flooded (FLO) in three years of evaluation (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPel, 2013

GENOTYPES	2010		2011		2012		MEAN
	NFLO	FLO	NFLO	FLO	NFLO	FLO	
GCA							
JURITI	1.319	-2.750	-0.036	0.641	0.905	0.978	0.176
CEP29	-0.222	2.729	0.923	0.351	0.307	0.063	0.692
IPR85	-0.201	1.229	-1.055	-0.628	-0.668	-0.411	-0.289
BRS177	0.507	0.708	0.498	0.503	0.604	0.501	0.554
SAFIRA	-0.660	-0.104	0.354	-0.152	-0.284	-0.407	-0.209
FIGUEIRA	-0.743	-1.813	-0.684	-0.715	-0.863	-0.724	-0.924
SCA							
JURITI x CEP29	-0.399	2.068	0.001	-0.198	-0.278	-0.299	0.149
JURITI x IPR85	1.580	0.402	-0.801	0.391	0.707	0.986	0.544
JURITI x BRS177	3.039	-0.077	-2.610	0.214	0.821	1.624	0.502
JURITI x SAFIRA	0.372	4.068	-2.153	-0.888	-0.814	-0.255	0.055
JURITI x FIGUEIRA	1.622	2.777	-6.365	-2.369	-2.045	-0.364	-1.124
CEP29 x IPR85	6.622	7.923	1.157	3.891	5.215	5.233	5.007
CEP29 x BRS177	-1.753	-2.723	0.017	-0.866	-1.217	-1.305	-1.308
CEP29 x SAFIRA	-3.920	-4.077	-1.302	-2.611	-3.395	-3.251	-3.093
CEP29 x FIGUEIRA	-5.170	0.631	1.563	-1.806	-2.840	-3.476	-1.850
IPR85 x BRS177	-0.440	-1.223	0.605	0.083	-0.005	-0.181	-0.194
IPR85 x SAFIRA	3.393	-0.244	0.073	1.734	2.413	2.557	1.654
IPR85 x FIGUEIRA	5.643	-7.702	2.164	3.900	5.029	4.751	2.297
BRS177 x SAFIRA	2.018	-3.223	-0.560	0.727	1.130	1.369	0.243
BRS177 x FIGUEIRA	-0.565	-2.015	2.365	0.899	0.786	0.166	0.273
SAFIRA x FIGUEIRA	0.101	0.298	-0.194	-0.046	-0.025	0.027	0.027

Table 9 - Estimated effect of General Combining Ability (GCA) and Specific Combining Ability (SCA) among wheat genotypes for the character Days from Emergence to Maturity (DEM) evaluated in six cultivating environments, Non Flooded (NFLO) and Flooded (FLO) in three years of evaluation (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPel, 2013

GENOTYPES	2010		2011		2012		MEAN
	NFLO	FLO	NFLO	FLO	NFLO	FLO	
GCA							
JURITI	0.569	-2.896	-0.703	-0.068	0.277	0.235	-0.431
CEP29	1.090	0.833	-0.609	0.241	0.064	0.697	0.386
IPR85	-4.285	-1.250	-2.799	-3.542	-3.002	-3.911	-3.132
BRS177	2.069	0.646	0.380	1.225	1.060	1.624	1.167
SAFIRA	-0.118	0.937	0.231	0.057	-0.188	-0.046	0.146
FIGUEIRA	0.674	1.729	3.501	2.087	1.789	1.401	1.863
SCA							
JURITI x CEP29	-1.509	-0.390	-0.010	-0.761	-0.743	-1.167	-0.763
JURITI x IPR85	4.366	3.527	0.417	2.393	2.320	3.381	2.734
JURITI x BRS177	0.012	4.631	-0.076	-0.035	1.055	0.003	0.932
JURITI x SAFIRA	0.366	3.173	0.903	0.637	0.739	0.513	1.055
JURITI x FIGUEIRA	2.074	3.714	-1.583	0.244	0.432	1.125	1.001
CEP29 x IPR85	4.179	3.798	-1.047	1.564	3.186	2.833	2.419
CEP29 x BRS177	0.824	2.235	0.811	0.816	0.011	0.784	0.914
CEP29 x SAFIRA	-1.821	2.277	-0.594	-1.209	-2.378	-1.546	-0.879
CEP29 x FIGUEIRA	-4.280	0.985	-2.680	-3.478	-4.035	-3.560	-2.841
IPR85 x BRS177	1.866	-0.848	-0.629	0.620	0.214	1.252	0.412
IPR85 x SAFIRA	3.220	-0.973	-1.277	0.971	1.704	2.105	0.958
IPR85 x FIGUEIRA	1.262	5.068	2.030	1.645	3.361	1.408	2.462
BRS177 x SAFIRA	-1.634	-4.036	-1.566	-1.600	-0.620	-1.597	-1.842
BRS177 x FIGUEIRA	-1.092	-5.827	-1.149	-1.119	-1.224	-1.134	-1.924
SAFIRA x FIGUEIRA	0.095	-0.786	-0.891	-0.397	-0.446	-0.184	-0.435

Table 10 - Estimate of variance (eigenvalues), autovalue estimative (AV) and accumulated percentage variances (APV) of the canonical variables (VC), to estimate the distribution between 21 wheat genotypes evaluated in six cultivating environments, Non Flooded (NFLO) and Flooded (FLO) in three years of evaluation (2010, 2011 and 2012). CGF / FAEM / UFPel, 2013

SOURCE	2010				2011				2012				JOINT ANALYSIS	
	NFLO		FLO		NFLO		FLO		NFLO		FLO			
	AV	APV	AV	APV	AV	APV	AV	APV	AV	APV	AV	APV		
VC1	15.1	62.5	16.2	55.1	10.8	55.4	7.6	65.8	10.2	64.8	9.1	65.5	8.8	71.2
VC2	3.5	77.1	4.9	71.7	3.6	73.7	1.6	79.5	2.4	80.2	1.8	78.7	1.5	83.2
VC3	2.5	87.4	4.0	85.3	1.9	83.4	0.8	86.3	1.6	90.4	1.4	88.4	0.7	88.9
VC4	1.3	92.9	2.5	93.8	1.3	90.0	0.6	91.3	0.7	95.1	0.9	94.8	0.6	94.1
VC5	1.0	97.1	1.2	97.8	0.8	94.2	0.5	95.6	0.5	98.2	0.4	97.6	0.4	97.2
VC6	0.5	99.3	0.5	99.3	0.6	97.1	0.3	98.4	0.2	99.6	0.2	99.2	0.2	98.8
VC7	0.2	100	0.2	100	0.3	98.8	0.1	99.6	0.1	100	0.1	100	0.1	99.5
VC8	0.0	100	0.0	100	0.2	100	0.0	100	0.0	100	0.0	100	0.1	100

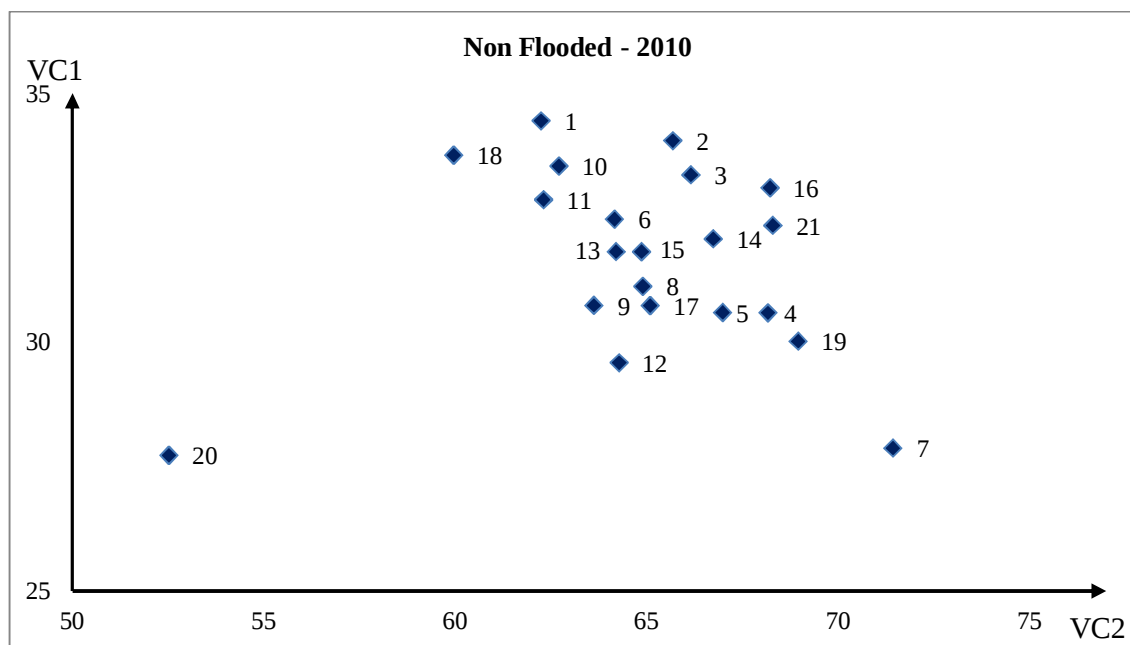


Figure 1. Graphic dispersion of the scores of the first (VC1) and second (VC2) canonical variables of wheat genotypes conducted without flooding in the year 2010. CGF / FAEM / UFPel, 2013.

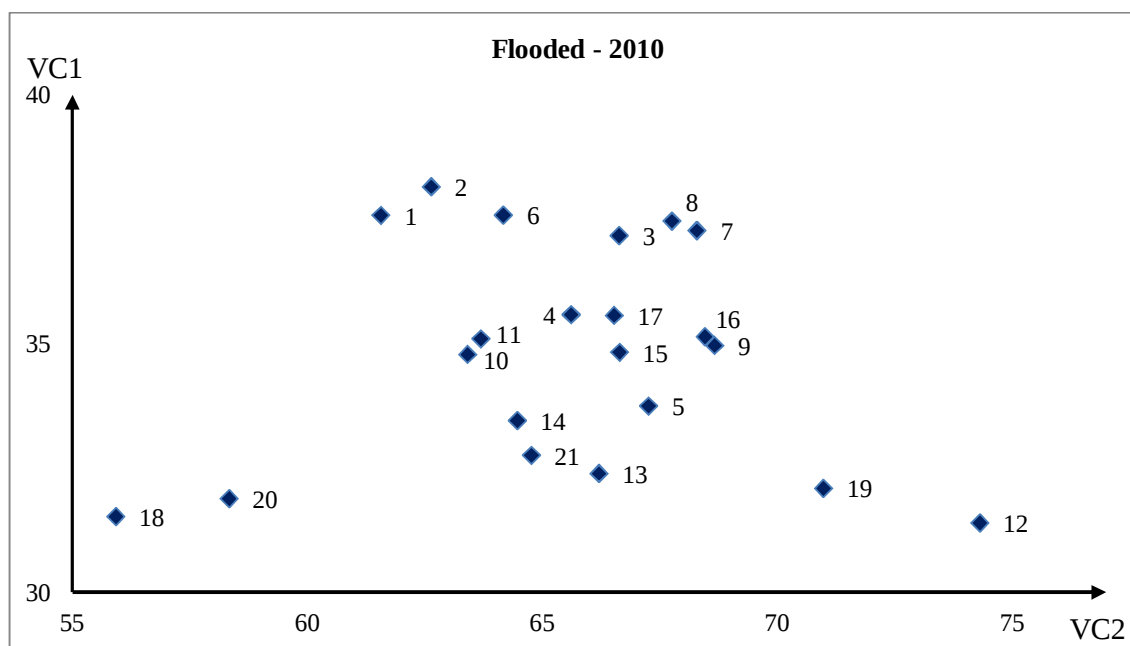


Figure 2. Graphic dispersion of the scores of the first (VC1) and second (VC2) canonical variables of wheat genotypes conducted with flooding in the year 2010. CGF / FAEM / UFPel, 2013.

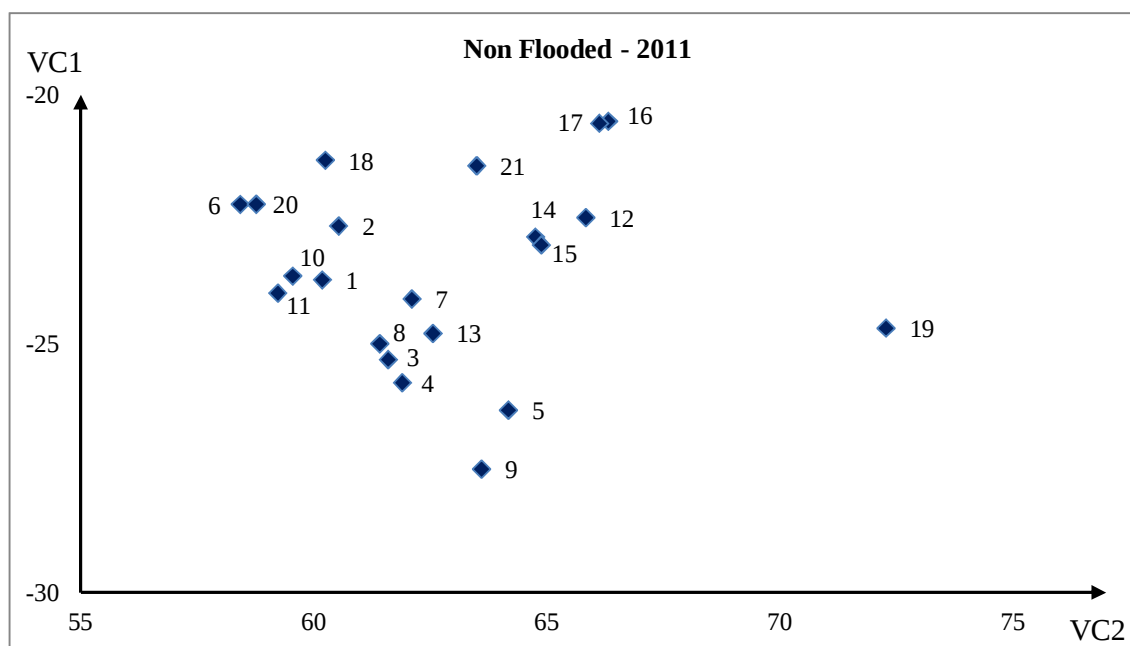


Figure 3. Graphic dispersion of the scores of the first (VC1) and second (VC2) canonical variables of wheat genotypes conducted without flooding in the year 2011. CGF / FAEM / UFPel, 2013.

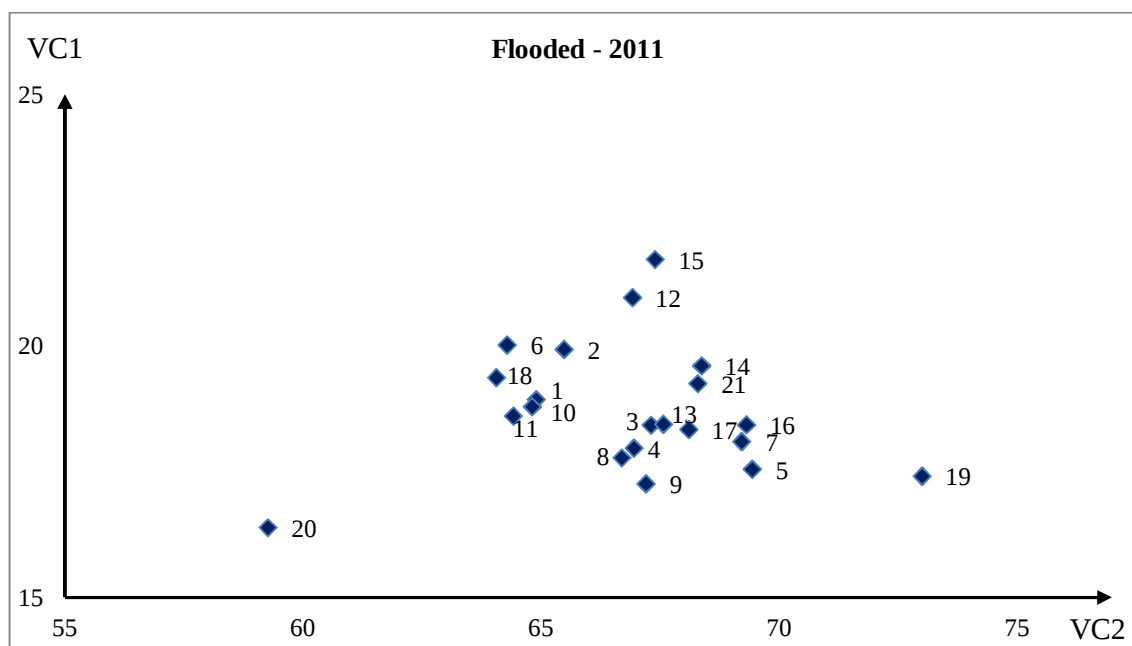


Figure 4. Graphic dispersion of the scores of the first (VC1) and second (VC2) canonical variables of wheat genotypes conducted with flooding in the year 2011. CGF / FAEM / UFPel, 2013.

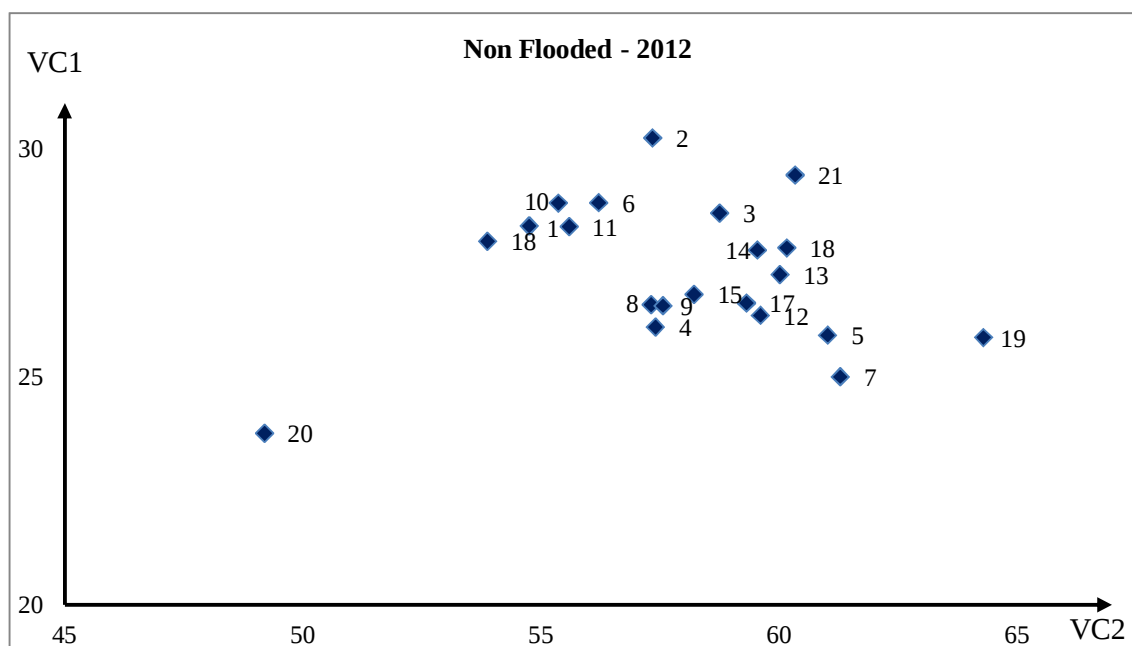


Figure 5. Graphic dispersion of the scores of the first (VC1) and second (VC2) canonical variables of wheat genotypes conducted without flooding in the year 2012. CGF / FAEM / UFPel, 2013.

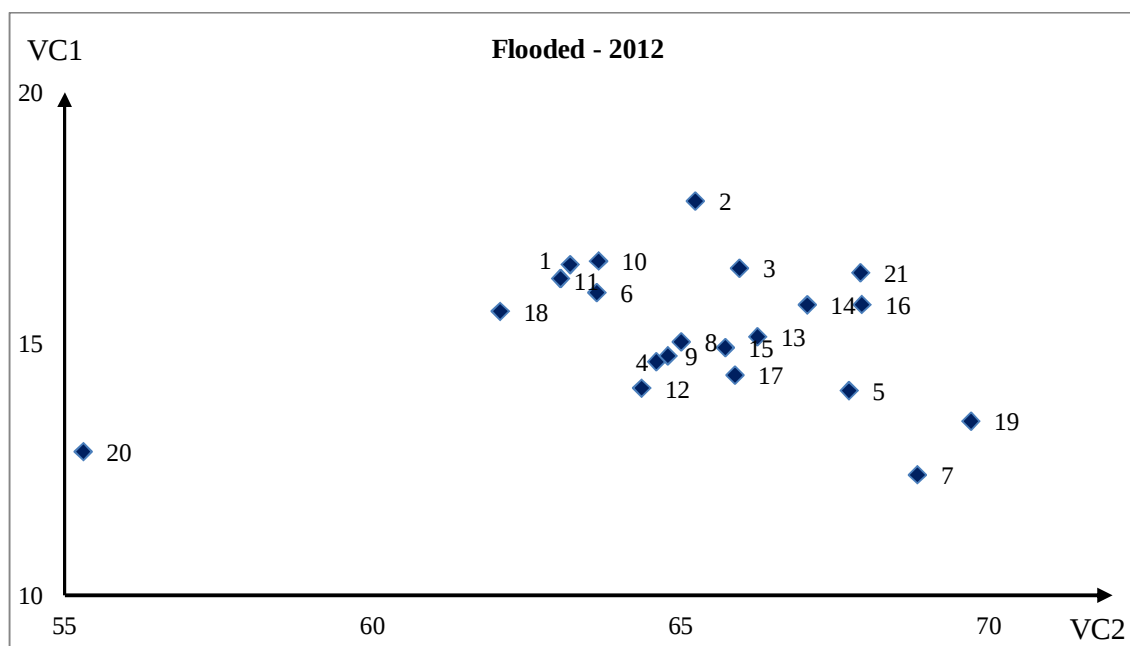


Figure 6. Graphic dispersion of the scores of the first (VC1) and second (VC2) canonical variables of wheat genotypes conducted with flooding in the year 2012. CGF / FAEM / UFPel, 2013.

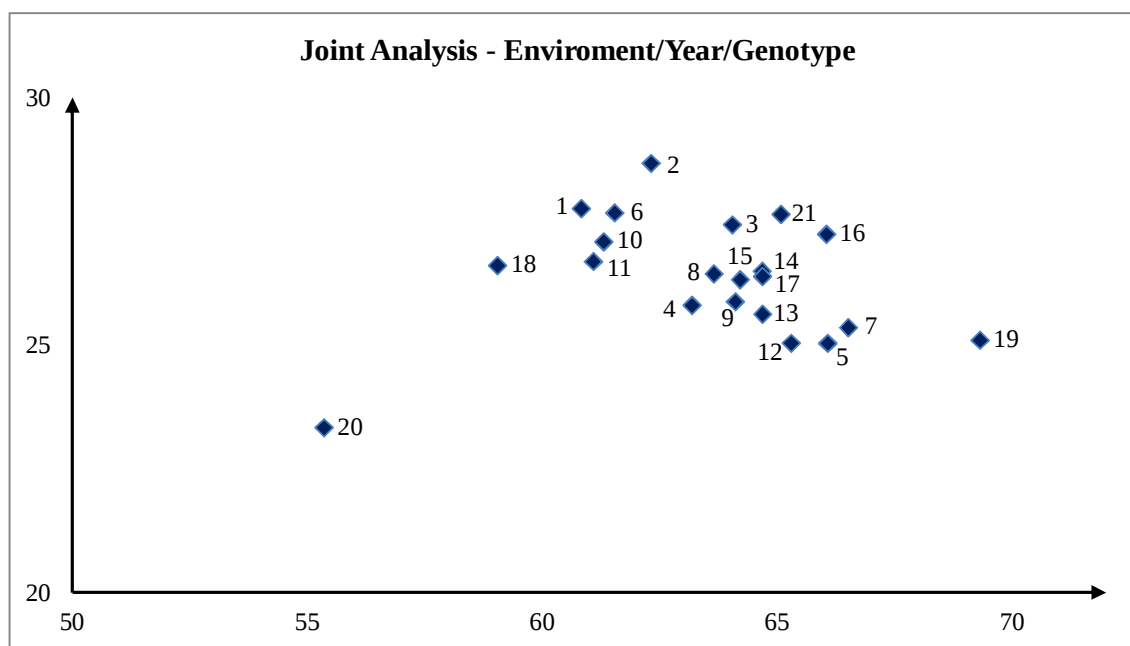


Figure 7. Graphic dispersion for joint analysis of the scores of the first (VC1) and second (VC2) canonical variables of wheat genotypes conducted with and without flooding in the years 2010, 2011 and 2012. CGF / FAEM / UFPel, 2013.

13 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As respostas fisiológicas da cultura de trigo frente ao encharcamento são similares a outros estresses abióticos, como o déficit hídrico e o aumento da temperatura. Levando em consideração as diferenças encontradas para a resposta dos genótipos avaliados é possível prever que exista variabilidade no trigo brasileiro para busca de genótipos mais tolerantes ao estresse por encharcamento.

As cultivares que apresentaram magnitudes elevadas (positivas ou negativas) para a Capacidade Geral de Combinação, mostrando grande potencial como genótipos genitores foram o BRS177 com alta capacidade de afilhamento, alta produção de grãos, elevada massa de mil grãos e precocidade; Figueira com alta capacidade de afilhamento, alta produção de grãos e alta massa de mil grãos; IPR85 com alto rendimento de grãos, alta massa de grãos, período da emergência ao florescimento mais curto e precocidade.

Considerando as análises realizadas, as populações promissoras com melhor desempenho agrônomo em solos hidromórficos são provenientes dos cruzamentos entre: I) Juriti x IPR85 para rendimento e qualidade de grãos; II) BRS177 x Safira para precocidade e rendimento de grãos e III) BRS177 x Figueira para precocidade e qualidade de grãos.

As populações melhoradas obtidas com este trabalho deverão ser utilizadas em trabalhos futuros para o mapeamento do caráter número de afilhos em trigo e para identificação de linhagens superiores para tolerância ao encharcamento. Tais populações estão sendo avaliadas a campo e serão utilizadas em novo experimento no ano agrícola de 2014.

14 CONCLUSÕES

O estresse por encharcamento afeta diretamente os componentes do rendimento de grãos em trigo, diminuindo a produtividade da cultura assim como o ciclo o qual é reduzido em relação ao ambiente de cultivo sem estresse.

A resposta das plantas ao estresse por encharcamento está intimamente ligada ao número de afilhos em trigo, promovendo a diminuição de seu número quando submetido a um longo período de encharcamento, podendo levar as plantas a morte.

Genótipos de trigo com maior período da emergência ao florescimento possuem melhor resposta ao estresse por encharcamento.

Anos de adversidades climáticas (excesso ou falta de chuva) afetam diretamente a produção de grãos em trigo.

Em condições adequadas de cultivo, genótipos mais tolerantes ao estresse por encharcamento, normalmente são menos produtivos que genótipos mais suscetíveis.

O estresse por encharcamento afeta diretamente os valores de heterose na análise dialélica em trigo, assim como a análise por variáveis canônicas, interferindo na seleção de genótipos e na resposta fisiológica em cada família segregante.

15 REFERÊNCIAS

Allard RW, (1966) **Principles of plant breeding**. New York: Wiley.

Aspinal D, Paleg LG, (1964) Effects of day length and light intensity of growth of barley. II. Vegetative development. **Australian Journal of Biological**, Washington, v. 17, p. 807-822.

Bacaltchuk B (2002) **A percepção social nacional e internacional frente à biotecnologia no contexto agropecuário**. In Atualização em Técnicas Celulares e Moleculares Aplicadas ao Melhoramento Genético Vegetal. 1 ed. Passo Fundo – EMBRAPA TRIGO.

Ballaré CL, Sánchez RA, Scopel AL, Casal JJ, Ghersa CM, (1987) Early detection of neighbour plants by phytochrome perception of spectral changes in reflected sunlight. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 10, n. 7, p. 551-557.

Benin G, da Silva GO, Pagliosa ES, Lemes C, Signorini A, Beche E, Capelin MA (2009) Capacidade de combinação em genótipos de trigo estimada por meio de análise multivariada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **44**: 9 1145-1151.

Borém A, Miranda GV (2013) **Melhoramento de Plantas**. 6 ed. 523p. Viçosa, MG: Ed. UFV.

Briggs FN, Knowless PF (1967) **Introduction to plant breeding**. New York: Reinhold Publishing. 426p.

Castro RL, Pires JLF, Pasinato A, Abichequer AD, Radin B, Lisboa B, Lau D, Paganella F, Nunes JRG, Vargas LK, Bertoldo NG, Lancini SP (2010) **Informações Técnicas para Trigo e Triticale – safra 2010** Porto Alegre, RS: Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale: Fepagro; Veranópolis: ASAV; Passo Fundo: Embrapa Trigo, 176.

Collaku A and Harisson SA (2007) Losses in Wheat due to Waterlogging. **Crop Science** 42:444–450

Cruz CD (2006) **Programa Genes: Análise multivariada e simulação**. Editora UFV. Viçosa (MG). 175p.

Cruz CD, Regazzi AJ (1997) **Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Editora UFV 390p.

Dere S, Yildirim MB, (2006) Inheritance of plant height, tiller number per plant, spike height and 1000-kernel weight in a 8x8 diallel cross population of bread wheat. **Cereal Research Communications**, Szeged, v. 34, n. 2-3, p. 965-972.

EMBRAPA (2010). **História do Trigo no Brasil**. Disponível em http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?cod_pai=6&op_page=91. Acessado dia 10 de agosto de 2010.

Federizzi LC, Scheeren PL, Neto JFB, Milach SCK, Pacheco MT (1999) **Melhoramento do trigo**. In: Borém A (1999) Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: UFV, 535-587.

Gardner CO, Eberhart SA (1966) Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. **Biometrics** 22: 439-452.

Gomes AS, Souza da Silva CA, Parfitt JMB, Pauletto EA, Spinelli Pinto LF (2006) **Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase às áreas de várzea do Rio Grande do Sul**. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado.

Griffing B (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences** 9: 462-493.

Jackson AB, Souza Dias MJ, Vieira LB, Gutemberg PD (2004) Resistência ao cisalhamento de um argissolo vermelhoamarelo submetido ao tráfego de um trator agrícola. **Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, n 2-3 p 01-12, Dez.

Jung MS, Vieira EA, da Silva GO, Brancker A, Nodari RO (2007) Capacidade de combinação por meio de análise multivariada para caracteres fenotípicos em maracujazeiro-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 42: 689-694.

Klamt E, Kämpf N, Schneider P (1985) **Solos de várzea no estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS: Univ. Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos, 43:4.

Kuraparthi V, Sood S, Dhaliwal H, (2007) Identification and mapping of a tiller inhibition gene (tin3) in wheat. **Theoretical and Applied Genetic**, New York, v. 114, n. 2, p. 285-294.

Lawlor DW, Day W, Johnston AE, Legg BJ, Parkinson KJ, (1981) Growth of spring barley under drought: crop development, photosynthesis, dry-matter accumulation and nutrient content. **Journal of Agricultural Science**, New York, v. 96, n. 2, p. 167-186.

Ledo CAS, Ferreira DF, Ramalho MAP (2003) Análise de variância multivariada para os cruzamentos dialélicos. **Ciência e Agrotecnologia** 27: 1214-1221.

Leyser O, (2006) Dynamic integration of auxin transport and signalling. **Current Biology**, Cambridge, v. 16, n. 1, p. 424-433.

Mackey J (1975) **The boundaries and subdivision of the genus Triticum**. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences, Trabalho apresentado no XII International Botany Congress, Leningrad, 23.

Mariot CHP, Silva PRF, Menezes VG, Teichmann LL, (2003) Resposta de duas cultivares de arroz irrigado à densidade de semeadura e à adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 233-241.

Meziat A, Vieira RCMT (2009) **Política de desenvolvimento produtivo e sua extensão à cadeia produtiva do trigo**. In CUNHA, G. R.

Oficina sobre trigo no Brasil. Bases para a construção de uma nova triticultura brasileira. 1: 15-27.

Miralles DJ, Richards A, (2000) Responses of leaf and tiller emergence and primordium initiation in wheat and barley to interchanged photoperiod. **Annals of Botany**, London, v. 85, n. 5, p. 655-663.

Moraes-Fernandes MIB (1982) **Citogenética**. In: OSÓRIO, E. A. (Ed.). Trigo no Brasil. Campinas: Fundação Cargill, 95-144.

Moraes-Fernandes MIB, Zanatta ACA, Prestes AM, Caetano VR, Barcellos AL, Angra DC, Pandolfi V (2000) Cytogenetics and immature embryo culture at Embrapa Trigo breeding program: transfer of disease resistance from related species by artificial resynthesis of hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L. em Thell). **Genetics and Molecular Biology**, 23: 1051-1062.

Moreno JA (1961) **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura/RS, 41p.

Mundstock CM, (1999) **Planejamento e manejo integrado da lavoura de trigo**. Porto Alegre: UFRGS, 228p.

Musick JT, Dusek DA, (1980) Planting date and water deficit effects on development and yield of irrigated winter wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, n. 1, p. 45-52.

Novak LR, Mantovani EC, Martyn PJ, Bayron F (1992) Efeito do tráfego de trator e da pressão de contato pneu/solo na compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro álico, em dois níveis de umidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 27(12): 1587-1595.

Oliveira DM, Souza MA, Rocha VS, Assis JC (2011) Desempenho de genitores e populações segregantes de trigo sob estresse de calor. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p.25-32.

Osório EA (1989) **A Cultura do Trigo**. São Paulo: Editora Globo, 218.

Pfann AZ, Fariai MV, Andrade AA, Nascimento IR, Faria CMDR, Bringhenti RM (2009) Capacidade combinatória entre híbridos simples de milho em dialelo circulante. **Ciência Rural** 39: 635-641.

R Core Team (2012) **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em <http://www.R-project.org/>.

Ramalho MAP, Santos JB, Zimmermann MJP (1993) **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: Editora da UFG, 271p.

RCBPTT (2010). Reunião da comissão brasileira de pesquisa de trigo e triticales. **Indicações Técnicas da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticales**. Cascavel: COODETEC.

Santos J, Vencovsky R (1986) Correlação fenotípica e genética entre alguns caracteres agronômicos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.). **Ciência e Prática** 10: 3 265-272.

Sheen J (1996) Ca^{2+} dependent protein kinases and stress signal transduction in plants. **Science**, Washington, v.274, p.1900-1902.

Scheeren PL, Carvalho FIF, Federizzi LC (1995) **Resposta do trigo aos estresses causados por baixa luminosidade e excesso de água no solo. Parte II – Teste no Campo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira 30: 605-619.

Setter TL, Waters I, Sharma SK, et al. (2009) Review of wheat improvement for waterlogging tolerance in Australia and India: the importance of anaerobiosis and element toxicities associated with different soils. **Annals of Botany** 103:221-235.

Silva GO, Pereira AS, Souza VQ, Carvalho FIF, Vieira EA (2008) Capacidade de combinação multivariada para caracteres de tubérculo em gerações iniciais de seleção em batata. **Ciência Rural** 38: 321-325.

Spielmeyer W, Richards RA, (2004) Comparative mapping of wheat chromosome 1AS which contains the tiller inhibition gene (tin) with rice chromosome 5S. **Theoretical and Applied Genetic**, Berlin, v.109, n. 6, p. 1303-1310.

Umesh R. Rosyara (2012) **plantbreeding: Analysis and visualization of data from plant breeding and genetics experiments**. R package version 1.1.0/r23. <http://R-Forge.R-project.org/projects/plantbreeding/>.

Valério IP, Carvalho FIF, Costa de Oliveira A, Machado AA, Benin G, Scheeren PL, Souza VQ, Hartwig I. (2008) Desenvolvimento de afilhos e componentes do rendimento em genótipos de trigo sob diferentes densidades de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 43: 3 319-326.

Vartapetian Bb, Jackson Mb, (1997) Plant Adaptations to Anaerobic stress. **Annals of Botany**, London, v. 79, p. 3-20.

Veit B, (2006) Stem cell signalling networks in plants. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 60, n. 6, p. 793-810.

Zhou MX, Li HB and Mendham NJ (2007) **Combining Ability of Waterlogging Tolerance in Barley**. Crop Science 47:278–284.

VITAE

Sydney Antonio Frehner Kavalco, filho de Sydney Antonio Kavalco e Magli Griseldes Frehner Kavalco, nasceu em 09 de maio de 1985, em Corbélia (PR). Completou o primeiro grau no Curso e Colégio Dom Bosco em Cascavel (PR). cursou o segundo grau no Curso e Colégio Ideal em Cascavel (PR) e ingressou em março de 2004, no curso de Agronomia da Faculdade Assis Gurgacz em Cascavel (PR), obtendo o título de Engenheiro Agrônomo em abril de 2008. Foi bolsista durante todo o curso de graduação, participando de trabalhos relacionados à produção e caracterização de biocombustíveis, durante sua vida acadêmica fez estágio no Laboratório de Ictiogenética da USP, participou da organização de encontros sobre as culturas de inverno na COOPAVEL (PR), assim como das tardes de campo realizadas pela COODETC (PR). Filho e neto de produtores rurais trabalhando com o cultivo de soja, milho, trigo, feijão, aveia e arroz. Participou de congressos, reuniões técnicas, workshops, feiras, entre outros encontros técnicos, com enfoque na pesquisa agrícola nacional. Em março de 2009 ingressou no mestrado do Programa de Pós Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal de Pelotas (PPGB-UFPel), sendo bolsista do CNPq durante este período. Realizou suas pesquisas na área de biotecnologia e fitomelhoramento, sob orientação do professor Dr. Antonio Costa de Oliveira. Em março de 2011 ingressou no Doutorado do PPGB-UFPel, obtendo pelo processo de seleção bolsa de doutoramento pela CAPES. Em maio de 2011 obteve o título de mestre com a defesa do seu projeto de pesquisa. Durante sua vida acadêmica como autor e co-autor publicou mais de 50 resumos e 10 artigos científicos.