

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes

Tese



Biometria aplicada em campos de produção e índice de vigor em sementes

Vinícius Jardel Szareski

Pelotas, 2020

Vinícius Jardel Szareski
Engenheiro Agrônomo

Biometria aplicada em campos de produção e índice de vigor em sementes

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de sementes da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência (Área de concentração: Ciência e Tecnologia de sementes)

Orientador: Prof. Dr. Tiago Zanatta Aumonde

Co-Orientador (es): Prof. Dr^a. Gizele Ingrid Gadotti
Prof. Dr. Tiago Pedó
Prof. Dr. Velci Queiróz de Souza

Pelotas, 2020

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S996b Szareski, Vinícius Jardel

Biometria aplicada em campos de produção e índice de vigor em sementes / Vinícius Jardel Szareski ; Tiago Zanatta Aumonde, orientador. — Pelotas, 2020.

89 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2020.

1. Índices multi-caráter. 2. Interação genótipos x ambientes. 3. Posicionamento estratégico de cultivares. 4. Definição de macro-ambientes de produção. I. Aumonde, Tiago Zanatta, orient. II. Título.

CDD : 631.521

Vinícius Jardel Szareski

Biometria aplicada em campos de produção e índice de vigor em sementes

Tese aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor em Ciência e tecnologia de sementes, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Semente, Faculdade de Agronomia Eliseu Macie, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 31/01/2020

Banca examinadora:

.....
Prof. Dr^a. Gizele Ingrid Gadotti (Co-orientadora)
Doutora em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas – UFPel.

.....
Prof. Dr. Luis Osmar Braga Schuch
Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas – UFPel.

.....
Prof. Dr. Luciano do Amarante
Doutor em Biologia Vegetal pela Universidade Estadual de Campinas – Unicamp.

.....
Prof. Dr. André Pich Brunes
Doutor em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas – UFPel.

.....
Prof. Dr. Ivan Ricardo Carvalho
Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas – UFPel.

Dedico

**A minha família, e a meus amigos por toda ajuda e
motivação proporcionada.**

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, pela concepção desta oportunidade;

Minha família por todo incentivo e ajuda em mais esta caminhada;

Minha namorada Amanda Inhaquitti pelo amor, carinho e paciência nesta jornada.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes pela oportunidade e conhecimento transmitido;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos;

Ao meu orientador, Prof, Dr. Tiago Zanatta Aumonde pela amizade, motivação, ensinamentos, dedicação e auxílio durante toda esta grande trajetória;

Aos professores co-orientadores, Tiago Pedó e Velci Queiróz de Souza e Gizele Gadotti pelo companheirismo cotidiano, ajuda e atenção.

A empresa Fundação Pró-Sementes, em especial a Kassiana Kehl e Alexandre Levien pela atenção, amizade e auxílio prestado durante a execução deste trabalho;

Aos Professores Francisco Amaral Vilella, Geri Eduardo Meneghello e Paulo Dejalma Zimmer pelos ensinamentos.

A Empresa SLC Agrícola/S.A, pela oportunidade de trabalho e disponibilidade para finalização desta tese.

Ao Prof. Ivan Ricardo Carvalho, Dr. Gustavo Henrique Demari e Dr^a Simone Morgan Dellagostin pela amizade e auxílio na execução desta tese;

Aos amigos Alan J. Pelegrin, Maicon Nardino, Nathan L. dos Santos, Tamires Martins, Maurício H. Barbosa, Adriel S. Uliana, Luis F. Lima, João R. Pimentel, Cristian Troyjack, Lannes B. J. Acosta, Ruddy A. V Escalera, Ítala Dubal, Francielen L. da Silva, Márcio Peter, Luis Konsen e Carla Tunes por todo o companheirismo;

Aos estagiários pela ajuda e comprometimento durante as avaliações;

Enfim, a todos que de uma ou outra forma contribuíram para mais este passo em minha carreira profissional;

A todos vocês, MUITO OBRIGADO.

Resumo

SZARESKI, Vinícius Jardel. **Biometria aplicada em campos de produção e índice de vigor em sementes**. 89f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

O setor de produção de sementes e o cenário agrícola estão cada vez mais complexos. O conhecimento das nuances que interferem na performance das principais culturas do agronegócio necessitam ser melhores estudadas e compreendidas. Diante deste contexto o presente estudo constou de três experimentos com os respectivos objetivos: 1) Determinar as associações e magnitudes de causa e efeito ao rendimento de sementes em cultivares de soja contrastante pelo o hábito de crescimento cultivados em dois ambientes de produção; 2) Aplicar um índice multivariado de vigor em sementes da soja para estimar a adaptabilidade e estabilidade de diferentes cultivares; 3) Determinar as estimativas de estabilidade e adaptabilidade através das metodologias de AMMI e GGE, bem como, estimar e prever os parâmetros REML/BLUP e empregá-los em modelos multivariados utilizando cultivares de trigo nas principais regiões tritícolas do Brasil. As principais conclusões obtidas foram: 1) Os caracteres número de legumes na haste principal, número de ramificações, número de legumes nas ramificações, número de legumes com uma e duas sementes apresentam resultados contrastantes quando ao ambiente de produção. O número de legumes com três sementes e a massa de mil sementes estão entre os caracteres mais relacionados com o rendimento, independentemente do hábito de crescimento e do ambiente de produção; 2) Os ambientes de produção de sementes da soja de Tenente Portela – RS e Santa Rosa – RS caracterizam-se como os ambientes que expressam maior magnitude para o índice de vigor das sementes, entretanto biometricamente Sarandi – RS definiu-se como o ambiente ótimo para a produção de sementes de alto vigor. Elevado índice de vigor das sementes foram expressos para cultivares específicas. A interação genótipos x ambientes influencia em mais de 68% no índice de vigor; 3) A abordagem genética predita é superior a fenotípica em relação a explicabilidade dos efeitos da interação genótipos x ambientes para o rendimento de sementes do trigo no Brasil. Adaptabilidade específica para a produção de sementes foi estabelecida através da abordagem fenotípica e genética predita para cultivares específicas em determinados ambientes.

Palavras-chave: índices multi-caráter; interação genótipos x ambientes; posicionamento estratégico de cultivares, definição de macro-ambientes de produção de sementes.

Abstract

SZARESKI, Vinícius Jardel. **Biometry applied to seed production fields and index of seed vigor**. 89p. Thesis (PhD in Seed Science and Technology) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

Both seed production sector and agricultural landscape are increasingly more complex. The knowledge regarding nuances that interfere the performance of the main crops needs to be better studied and understood. In this context, the present study consisted of three experiments with the respective objectives: 1) To determine the cause and effect associations and magnitude of seed yield of contrasting growing habit soybean genotypes in two growing environments; 2) to apply a multivariate index of seed vigor to estimate adaptability and stability of different genotypes; 3) To estimate stability and adaptability through the methodologies of AMMI and GGE, as well as to estimate and predict REML / BLUP parameters, and applying them in multivariate models using wheat genotypes throughout the main wheat regions of Brazil. The main conclusions obtained were: 1) The traits number of pods in the main stem, number of ramifications, number of pods in the ramifications, number of pods with one and two seeds show contrasting results when compared though growing environments. The number of pods with three seeds, and mass of one thousand seeds are among the traits most correlated to grain yield, regardless of growth habit and growing environment; 2) the growing environments of Tenente Portela - RS and Santa Rosa - RS are characterized as the environments that express higher magnitude for index of seed vigor, however, biometrically Sarandi - RS was defined as the optimal environment for producing higher vigor seeds. High indexes of seed vigor were expressed for specific genotypes. The genotype x environment interaction influences more than 68% of the vigor index; 3) The predicted genetic approach is superior to the phenotypic approach regarding explicability of genotype x environment interaction effects for wheat seed yield in Brazil. Specific adaptability to seed production was established through both phenotypic and predicted genetic approaches considering specific genotypes in certain environments.

Keywords: multi-character indexes; genotype x environment interaction; strategic positioning of genotypes, definition macro-environments for seed production.

Lista de Figuras

- | | | |
|----------|---|----|
| Figura 1 | GGE biplot referente a explicabilidade geral das cultivares da soja e ambientes de produção para o índice multivariado de vigor das sementes. | 52 |
| Figura 2 | GGE biplot referente a explicabilidade geral dos ambientes de cultivo testados para o índice multivariado de vigor das sementes. | 53 |
| Figura 3 | GGE biplot, referente ao melhor desempenho de uma determinada cultivar em cada ambiente de produção de semente testado para o índice de vigor das sementes. | 54 |
| Figura 4 | GGE biplot para a discriminação e representatividade das cultivares da soja e ambientes de produção para o índice multivariado de vigor das sementes. | 57 |
| Figura 5 | GGE biplot indicando o ranqueamento dos 20 cultivares da soja, com suas respectivas estabilidades referentes ao índice multivariado de vigor das sementes. | 58 |
| Figura 6 | Plotagem dos escores dos componentes principais EPCA I, EPCA II e EPCA III referentes à interação genótipos x ambientes obtidos pelo método de AMMI para o rendimento de sementes de trigo, referentes a nove cultivares cultivadas em 12 ambientes nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo. | 67 |
| Figura 7 | Plotagem dos escores dos componentes principais quanto à classificação das cultivares com base em seu desempenho através do método GGE para o rendimento de sementes de nove cultivares de trigo cultivadas em 12 ambientes, nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo. | 70 |

Lista de Tabelas

Tabela 1	Estimativas dos efeitos diretos e indiretos fenotípicos para os caracteres altura de inserção do primeiro legume (IPL), altura de planta (AP) e número de legumes na haste principal (NLHP), na cultura da soja para hábitos de crescimento e ambientes de produção de sementes.	39
Tabela 2	Estimativas dos efeitos diretos e indiretos fenotípicos para os caracteres número de ramificações (NR), número de legumes nas ramificações (NLR) e número de legumes com uma semente (NLUS), na cultura da soja para hábitos de crescimento e ambientes de produção de sementes.	42
Tabela 3	Estimativas dos efeitos diretos e indiretos fenotípicos para os caracteres número de legumes com duas sementes (NLDS), número de legumes com três sementes (NLTS) e massa de mil sementes (MMS), na cultura da soja para hábitos de crescimento e ambientes de produção de sementes.	44
Tabela 4	Descrição das 20 cultivares da soja e dos cinco ambientes de produção de sementes, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.	47
Tabela 5	Estimativas dos componentes de variância e parâmetros genéticos do índice de vigor das sementes, obtidos a partir de 20 cultivares da soja cultivados em cinco ambientes de produção de sementes do estado do Rio Grande do Sul.	51
Tabela 6	Análise de variância (ANOVA) para o rendimento de sementes do trigo, escores da adaptabilidade e estabilidade multivariada (AMMI), referentes a nove cultivares cultivadas em 12 ambientes nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo, Brasil.	65

Tabela 7 Médias e escores de PC (Principal component) Fenotípico e Genético predito, referente ao método GGE (Genotype main effects and Genotype environment interaction), componentes de variância e parâmetros genéticos (REML) referentes a nove cultivares de trigo cultivadas em doze ambientes nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo, Brasil. 69

Sumário

1. INTRODUÇÃO	27
CAPÍTULO I: Associações fenotípicas entre caracteres agronômicos em cultivares da soja contrastante para o hábito de crescimento	35
2.1 Introdução	35
2.2 Material e métodos	36
2.3 Resultados e discussão	39
2.4 Conclusão	47
CAPÍTULO II: Índice multivariado de vigor de sementes de soja: uma nova abordagem biométrica aplicada aos efeitos de cultivares e ambientes	48
3.1 Introdução	48
3.2 Material e métodos	49
3.3 Resultado e discussão	52
3.4 Conclusões	61
CAPÍTULO III: Rendimento de sementes do trigo no Brasil: Abordagem fenotípica e genética predita no posicionamento de cultivares	62
4.1 Introdução	62
4.2 Material e métodos	63
4.3 Resultado e discussão	67
3.4 Conclusões	76

1. Introdução geral

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é cultivada em todo os continentes agricultáveis, é muito distinta dos seus ancestrais que lhe deram origem: espécies de plantas rasteiras que se desenvolviam na costa leste da Ásia, principalmente ao longo do rio amarelo, na China (CAMPELO et al., 1981). Sua evolução começou com o aparecimento de plantas oriundas de cruzamentos naturais, entre duas espécies de soja selvagem, que foram domesticadas e melhoradas por cientistas da antiga China. Sua importância na dieta alimentar da antiga civilização chinesa era tal, que a soja, juntamente com o trigo, o arroz, o centeio e o milheto, era considerada um grão sagrado, com direito a cerimoniais ritualísticos na época da semeadura e da colheita (SEDIYAMA et al., 2015).

Chegou ao Brasil trazida dos Estados Unidos em 1882 por Gustavo Dutra, então professor da Escola de Agronomia da Bahia, onde estabeleceu-se os primeiros estudos, porém sem muito sucesso. Em 1891, testes de adaptação de cultivares semelhantes aos conduzidos por Dutra na Bahia foram realizados no Instituto Agrônomo de Campinas, Estado de São Paulo. Assim como nos EUA, a soja no Brasil nesta época era estudada mais como cultura forrageira, em eventuais ocasiões os grãos eram destinados para consumo por animal (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

Em 1900 e 1901, o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) no estado de São Paulo, promoveu a primeira distribuição de sementes de soja para produtores paulistas e, nessa mesma data, têm-se registro do primeiro cultivo de soja no Rio Grande do Sul, onde o município de Santa Rosa foi o pólo de disseminação da cultura até a década de 30 (SEDIYAMA et al., 2015). No entanto, o cultivo comercial dessa leguminosa só começou a ter expressão econômica no início da década de 40, no Rio Grande do Sul. Todavia, sua grande expansão deu-se realmente nas décadas de 70 e 80, com a criação de programas de melhoramento da soja, resultando no desenvolvimento de cultivares adaptadas, as condições edafoclimáticas brasileiras (TANAKA et al., 1993; BARROS, 1999; EMBRAPA SOJA, 2001, 2003).

A partir da década de 1960 a cultura associada a incentivos governamentais se estabeleceu como cultura economicamente importante para o Brasil, (EMBRAPA SOJA, 2004). Porém a produtividade girava em 700 kg ha⁻¹, nas décadas subseqüentes ocorreu um grande aumento das áreas destinadas a produção da oleaginosa devido à expansão de novas fronteiras agrícolas.

Dados relativos à safra brasileira 2018/2019 mostram que a produtividade média da cultura alcançou 3.292 kg ha⁻¹, sendo que o Brasil é apontado como o segundo maior produtor de soja do mundo com produção de 115 milhões de toneladas, cultivados em uma área de 35,8 milhões de hectares (CONAB, 2019).

A soja apresenta importância no mercado internacional devido seus grãos, fornecerem matéria-prima para a indústria de óleos vegetais comestíveis, proteína texturizada e farelo, este último utilizado na formulação de ração animal. Salvo os povos asiáticos, a soja ainda não está totalmente incluída na dieta alimentar da população em geral, o que acarreta em um mercado consumidor em potencial, pois a indústria alimentícia cresce com uma diversidade de produtos desde os tradicionais até produtos alternativos enriquecidos com a proteína da soja.

A cultura vem se destacando também como fonte alternativa de produção de combustível (CAMPELO et al., 1999; GOLBITZ, 2000; MENDONÇA et al., 2002; MENEGATTI; BARROS, 2007; CARVALHO et al., 2017). É a mais importante oleaginosa no mundo, amplamente adaptada aos climas tropicais e subtropicais, e seu alto teor de proteína possibilita o desenvolvimento da cultura e a formação de um complexo industrial destinado ao seu processamento.

Apresenta-se como uma espécie de grande interesse econômico, cujos teores de óleo e de proteína nos grãos podem ultrapassar 20% e 40% respectivamente (ROESSING; GUEDES, 1993; LOPES et al., 2002; SEDIYAMA et al., 2005; SEDIYAMA, 2009). Pesquisas revelam substâncias de valor medicinal na composição de seus grãos, o que amplia o interesse pelo seu cultivo e utilização. Entre os principais benefícios para a saúde humana têm sido destacados: a) teores elevados de ácidos graxos insaturados, preventivos de altos índices de colesterol indesejável no sangue; b) presença de lecitina, que favorece o sistema imunológico; c) isoflavonas, saponinas e inibidores de proteases (principalmente genótipos resistentes a insetos) que apresentam efeitos anticancerígenos; d) fibras com prováveis efeitos fisiológicos no controle do diabetes; e) redução de riscos de osteoporose (VELLO; TSUITSUMI, 2000). Apesar da qualidade nutracêutica, a utilização da soja in natura na alimentação da população brasileira é insignificante (MENDONÇA et al., 2002).

Atualmente vem acontecendo uma melhor adaptação e aceitação por parte dos produtores por cultivares da soja com hábito de crescimento indeterminado, pois cultivares com este caráter apresentam período juvenil mais longo, porte mais alto em semeaduras antecipadas, proporcionam muitas vezes escape a determinados períodos

de estresse hídrico (TECNOLOGIAS, 2008). Até o início do florescimento, apenas cerca de metade da estatura final das plantas é atingida, o florescimento ocorre de forma escalonada, de baixo para cima na planta, o desenvolvimento dos legumes e das sementes ocorre de baixo para cima, os legumes e as sementes da metade inferior das plantas são mais adiantados do que os de cima, as plantas crescem e se ramificam, mesmo durante o florescimento, a formação dos legumes e o enchimento das sementes, as folhas do topo são menores que as folhas das demais partes da planta, e o nó terminal apresenta poucos legumes (FARIAS et al., 2011).

Em contrapartida cultivares com hábito de crescimento determinado revelam como características, onde no início do florescimento a planta cresce pouco e não mais ramifica, o florescimento ocorre praticamente ao mesmo tempo, em toda a extensão da planta, desenvolve legumes e sementes no topo e na base da planta, praticamente ao mesmo tempo, as folhas do topo da planta são praticamente iguais às demais em tamanho, e apresenta um racemo longo e com muitos legumes no nó terminal (CARVALHO et al., 2017).

Em relação a cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.), as evidências arqueológicas revelam que os primeiros cultivos de trigo foram realizados em 6.700 a.C. mesopotâmia, nas proximidades dos rios Tigres e Eufrates no oriente Médio, onde hoje se localiza o Iraque (TOMASINI; AMBROSI, 1998). O trigo é tido como a primeira espécie a ser domesticada pelo homem, sendo base alimentar de civilizações asiáticas, europeias e africanas e sua aptidão alimentícia proporcionou a cultura espalhar-se por múltiplos territórios agrícolas do mundo (VESOHOSKI et al., 2011).

No Brasil o trigo foi introduzido por Martim Afonso de Souza em 1534. No início, o clima adverso (quente) dificultou o desenvolvimento da cultura. Foi na metade do século XVIII que este iniciou a ser cultivado no Rio Grande do Sul, porém, as lavouras foram destruídas pela ferrugem. Seu cultivo retornou no país por volta de 1920 e a partir de 1940 o trigo expandiu-se para os estados do Rio Grande do Sul e Paraná, os quais tornaram-se os maiores produtores (CONAB, 2019).

O trigo (*Triticum aestivum* L.) pertence à família Poaceae, tribo Triticeae, sub tribo Triticinea e gênero *Triticum* (SCHEEREN, 2011). Caracterizado por ser uma espécie alohexaplóide (AABBDD), o trigo comum ($2n=42$) apresenta-se como um conjunto de três genomas diploides completos, desta forma, cada genoma é proveniente de uma espécie, onde o *Triticum urartu* corresponde ao genoma AA, o *Aegilops speltoides*

corresponde ao genoma BB e o *Aegilops tauschii* corresponde ao genoma DD (BRENCHLEY et al., 2012).

A planta de trigo é constituída por um colmo principal e seus afilhos, sendo que em cada colmo tem-se os entrenós, o pedúnculo e a espiga. O sistema radicular é do tipo fasciculado e as folhas são compostas pela bainha, lâmina, lígula e um par de aurículas na base da lâmina, dispostas de forma alternada, formando um ângulo de 180° entre uma folha e outra (SCHEEREN et al., 2011).

O trigo é de extrema importância no fornecimento de matéria-prima base para elaborar produtos alimentícios para humanos e animais (MITTELMANN et al., 2000). Além do mais, o cultivo deste cereal é fundamental para pequenas e grandes propriedades rurais, pois integra esquemas de rotação ou sucessão de culturas, junto ao cultivo da soja e do milho no sistema de semeadura direta (VALÉRIO et al., 2008).

A área mundial cultivada com trigo na safra agrícola 2018/2019 foi de 21 milhões de hectares, com produção de 733 milhões de toneladas. Os maiores produtores mundiais é a União Européia, China e a Índia, quais em conjunto, refletem em mais de 50% da produção mundial (USDA, 2019). O Brasil não se encontra entre os maiores produtores de trigo, contudo, devido a produção não suprir a demanda, o país encontra-se entre os maiores importadores mundiais de trigo. Na safra agrícola 2018/2019, o país semeou cerca de 2,0 milhões de hectares, alcançando uma produção de 5,4 milhões de toneladas e produtividade média de 2,6 toneladas por hectare (CONAB, 2019).

No Brasil o trigo é a terceira espécie agrícola mais cultivada, onde destaca-se como maiores produtores os estados da região Sul (Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina). O Rio Grande do Sul é o estado brasileiro com a segunda maior produção, atrás apenas do Paraná. Na safra 2018/2019 cultivou uma área aproximada de 681,7 mil hectares, com produção total de 1,9 milhões de toneladas, sendo a produtividade média de 2,7 toneladas por hectare (CONAB, 2019).

Diante deste cenário, é evidenciado que produção agrícola vem aumentando sua expressão ano após ano, com auxílio de diversas ferramentas destacando-se as biométricas, biotecnológicas, digitais, biológicas, de rastreabilidade, de edição gênica dentre outros métodos (PEREIRA & GUIMARÃES, 2020).

A análise biométrica conhecida como análise de trilha foi desenvolvida por Wright (1921) e empregada em 1923 com a finalidade de originar a melhor compreensão das associações entre os caracteres em função do desdobramento das correlações simples. Esta metodologia possibilita quantificar a magnitude, assim como a direção das

associações entre caracteres de modo mais assertivo, revelando a importância dos efeitos diretos e indiretos sobre um caráter dependente (CRUZ et al., 2012).

É caracterizada por conferir associações que revelem as inter-relações de causa e efeito nos caracteres avaliados. Em cenários de melhoramento, vegetal a técnica vem sendo utilizada para determinar a importância de caracteres primários e secundários e nortear a seleção indireta de cultivares promissoras, através de caracteres de interesse agrônomo. No campo da ciência e tecnologia de sementes busca-se identificar os caracteres que evidenciam alta correlação com o caráter principal, porém, sentidos opostos entre a correlação total e seus efeitos diretos indicam ausência de associação de causa e efeito (CRUZ et al., 2012).

É determinada diante de um coeficiente padronizado que possibilita relacionar caracteres mensurados em distintas unidades físicas, seu coeficiente varia de -1 a +1, onde o coeficiente igual a zero não implica em falta de relação entre dois caracteres, apenas reflete a ausência de associação entre estes (CARVALHO et al., 2017). A partir da análise de trilha é passível a compreensão de cada caráter sob a expressão dos demais, pois a seleção ou observação indireta com base apenas na associação linear entre caracteres, pode revelar modificações em relação à caracteres almejados.

Cultivares da soja e trigo sofrem grande variação em função do ambiente de cultivo (interação Genótipo x Ambiente), sendo este um dos maiores empecilhos enfrentados no lançamento de novas cultivares. Antes de ocorrer a indicação das cultivares ao cultivo em determinadas regiões, estas são avaliadas em vários ambientes. A interação genótipo x ambiente é definida como resposta diferencial dos genótipos em função das características dos ambientes avaliados (CRUZ et al., 2012; AUMONDE et al., 2017). É buscado o chamado genótipo ideal, caracterizado como aquele que revela altos níveis produtivos, ampla estabilidade fenotípica, pouco sensível as condições adversas impostas pelos ambientes desfavoráveis e, em contrapartida, responsivo à melhoria do ambiente (CRUZ et al., 2014).

As causas da interação genótipos x ambientes são atribuídas a fatores fisiológicos e bioquímicos intrínsecos de cada cultivar, como também das variações ambientais impostas a durante todo seu ciclo. Pesquisas de Ramalho et al. (2005), definem que ensaios conduzidos em apenas um ambiente resultam em estimativas inflacionadas. Esta interação pode influenciar diretamente as estratégias definidas em um programa de

sementes assim como apresentar-se de forma capitalizada e causar perturbações no processo de seleção (CRUZ et al., 2012; CARVALHO et al., 2017).

Para Eberhart e Russell (1966), as interações ocorrem para qualquer cultivar em que se esteja manipulando e seus efeitos podem dificultar sensivelmente as evidências de diferenças significativas. Estes autores sugeriram que um programa de melhoramento poderia destinar seus esforços para desenvolver cultivares para cultivo em ambientes específicos. Em contrapartida, isto resultaria em muitos aspectos negativos, gastos de recursos humanos e financeiros e um grande número de cultivares necessários para atender necessidades específicas.

A interação genótipos x ambientes pode ser classificada como simples, onde possibilita avaliar o real impacto da seleção, esta apresenta uma elevada confiabilidade na recomendação das cultivares, possibilitando a maximização da produtividade e de outros atributos agronômicos para determinados ambientes (SANTOS et al., 2016; SILVA et al., 2011; ROSADO et al., 2012; CRUZ et al., 2014).

Porém, quando a interação caracteriza-se como complexa, apenas a análise da interação genótipos x ambientes não proporciona a fidedignidade necessária para explicar todos os eventos envolvidos nesta situação (SANTOS et al. 2016; CRUZ et al. 2012). Diante disto, se faz necessário empregar ferramentas biométricas que proporcionem um melhor entendimento. Desta maneira, podem ser empregadas as análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípicas, que possibilitam identificar quais cultivares revelam desempenho previsível ou estável e que sejam responsivos às variações do ambiente, ou se a cultivar necessita de condições específicas ou amplas para obter os melhores resultados (CRUZ et al., 2014).

A adaptabilidade caracteriza-se por ser a capacidade das cultivares responderem vantajosamente à melhoria do ambiente. No entanto, a *estabilidade* refere-se à capacidade das cultivares de apresentarem comportamentos altamente previsíveis em função das variações ambientais, sendo estas as definições consideradas como apropriadas (BONATO, 1978; SANTOS 1980; LEITE, 1988; CRUZ & REGAZZI, 1994).

Atualmente, na literatura há um grande número de metodologias destinadas a análises de adaptabilidade e estabilidade com o intuito de avaliar um grupo de cultivares em muitos ambientes. Sendo estas metodologias fundamentais na interpretação da interação G x A, onde contribui para distinguir certos conceitos e aplicar princípios estatísticos consolidados.

A escolha de qual método de análise de adaptabilidade e estabilidade deve ser usado, deve levar em conta os objetivos a serem alcançados com a análise, o número de cultivares e de ambientes, a qualidade dos dados disponíveis, a capacidade do analista de interpretar e aplicar estas informações e, conseqüentemente, a mão-de-obra qualificada (CRUZ et al., 2012).

Métodos baseados em análises multivariadas: *Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis (AMMI)*: A análise de AMMI está embasada na ação conjunta de análises univariadas e multivariadas, suas respostas são expressas pela decomposição destes parâmetros em apenas um modelo, combina os componentes de efeitos aditivos das cultivares, dos ambientes e os efeitos multiplicativos da interação genótipos x ambientes (MANDEL, 1971; KEMPTON, 1984; ZOBEL et al., 1988).

Esta técnica possibilita a identificação de cultivares com alto rendimento, aquelas amplamente adaptadas, propicia reunir as cultivares e ambientes mais similares, o que possibilitará um zoneamento agrônômico, como também permite a indicação de regiões promissoras para o cultivo (GAUCH e ZOBEL, 1996). Dentre as vantagens deste método, destaca-se a possibilidade de realizar a análise detalhada da interação genótipos x ambientes, garantir a seleção eficiente de cultivares, capitalizar as interações positivas com os ambientes, proporcionar estimativas precisas das respostas genotípicas, possibilitar uma fácil interpretação gráfica dos resultados em gráficos *biplots*, onde representa simultaneamente cultivares e ambientes (ZOBEL et al., 1988).

O método *Genotype and Genotypes by Environments Interaction (GGE)*: Esta ferramenta multivariada se baseia na definição de um ideótipo de planta ou cultivar desenvolvida para um determinado ambiente. Este, por sua vez, revela alto desempenho e ampla estabilidade fenotípica e estas definições são estabelecidas através da consignação de mega-ambientes. Esta análise considera o efeito principal do genótipo conciliado aos efeitos da interação genótipos x ambientes. As análises são expressas graficamente de forma *biplot*, possibilitando a visualização (*GGE biplot*) ou seja, a média do genótipo x a estabilidade fenotípica (YAN et al., 2007; 2011).

A representação gráfica via *biplot* foi desenvolvido por Gabriel em 1971, com o intuito de representar em um plano bidimensional os resultados obtidos e interpretá-los através de análises dos componentes principais, onde a magnitude de elemento pode ser visualizada por vetores em um plano de dimensões conhecidas (YAN e KANG, 2003). Pesquisas realizadas por Silva e Benin (2012) utilizando o modelo GGE possibilitaram explorar com maior eficácia a interação genótipos x ambientes, o que permite revelar

uma maior acurácia na identificação dos mega-ambientes e na seleção de cultivares estáveis e adaptados a ambientes específicos. Mérito da metodologia GGE *biplot* é atribuído quando utiliza-se um grande número de cultivares e vários ambientes, permitindo melhor compreender os efeitos da interação genótipos x ambientes.

Outro fator primordial no cenário agrícola é o vigor das sementes, sendo que a terminologia vigor foi introduzida por Nobbe em 1876, em 1911 Hiltner e Ihssen utilizaram para destacar as sementes que produziram mudas com raízes mais longas em comparação com aquelas sementes que resultavam em plantas mais fracas do mesmo lote (MARCOS FILHO, 2015).

O atributo vigor de sementes é capaz de determinar o potencial máximo de um lote de sementes para uma rápida e uniforme emergência de plântulas sob uma grande faixa de condições ambientais à campo (AUMONDE et al., 2017). Sementes com alto vigor evidenciam velocidade na emergência, garantem uniformidade no estande de plantas, propiciam maiores acúmulos de massa seca, aproveitamento de água, radiação luminosa e de nutrientes, conseqüentemente aferindo maior rendimento (SCHEEREN et al., 2010; PESKE et al., 2012; MARCOS FILHO, 2015). Já sementes de baixo vigor resultam em atraso na emergência, ao gerar plântulas fracas que comprometem o estande da lavoura (NAKAGAWA, 1999).

O uso de sementes de soja de alto vigor é imprescindível para o agronegócio, sendo que lotes oriundos de sementes de alto vigor evidenciam rendimentos superiores à 20% quando comparados a lotes de baixo vigor (SCHUCH et al., 2009; STRUKER et al., 2019).

Capítulo I

Associações fenotípicas entre caracteres agronômicos em cultivares da soja contrastante para o hábito de crescimento

2.1 Introdução

A soja (*Glycine max* L.) caracteriza-se como a principal oleaginosa cultivada no Brasil, colocando o país entre os maiores produtores mundiais, devido as extensas áreas de cultivo, adaptabilidade e grande número de cultivares desenvolvidas, fatores que contribuem para a continuidade do aumento da produção de sementes de soja (SEDIYAMA et al., 2015; CARVALHO et al., 2018).

O conhecimento dos caracteres que mais influenciam no rendimento é de fundamental importância para compreender as respostas expressas pelas cultivares em diferentes ambientes (ALMEIDA et al., 2010). Cultivares com hábito de crescimento contrastante possuem características fenotípicas diferentes, onde as condições de ambiente podem atuar sobre tais, minimizando ou maximizando as respostas. Segundo Falconer (1987), as relações significativas envolvidas nos coeficientes de correlação são justificadas por ligações gênicas e ao pleiotropismo. Almeida et al., (2010) relatam que o ambiente de produção pode contribuir ou prejudicar as correlações, assim devendo-se dar uma maior atenção aos efeitos das correlações por ambiente de modo independente.

A análise das correlações diretas e indiretas sobre o rendimento de sementes permite a utilização das informações adicionais para descartar ou promover com maior precisão as cultivares de interesse agrônomo (PANDI et al., 2002). A correlação entre caracteres possibilita a seleção indireta de um caráter quantitativo, de difícil ganho de seleção, por meio da seleção de outro caráter diretamente a ele correlacionado de maior ganho genético ou de fácil seleção visual (PIPOLO et al., 2005).

A relação entre o caráter principal pode apresentar efeitos diretos oriundos de um determinado parâmetro, mas a influência deste parâmetro não necessariamente caracteriza-se como absoluto, efeitos indiretos de outros caracteres podem ser identificados. As verdadeiras relações podem ser obtidas através do auxílio da análise de trilha (WRIHT, 1921), onde evidenciam-se as verdadeiras relações de causa e efeito entre os caracteres.

A análise de trilha permite o desmembramento das correlações lineares em efeitos diretos e indiretos dos caracteres sobre um caráter dependente, permitindo acurada identificação das relações existentes. Os desmembramentos das correlações em efeitos diretos e indiretos são elucidativos na interpretação das relações entre os principais componentes de rendimento, e na contribuição destes mensurados em diferentes ambientes de cultivo. Deste modo, o presente trabalho teve por objetivo determinar as associações e magnitudes de causa e efeito ao rendimento de sementes em cultivares da soja contrastante pelo o hábito de crescimento cultivados em dois ambientes de produção.

2.2 Material e métodos

Os experimentos foram conduzidos em Tenente Portela - RS (coordenadas correspondem: latitude: 27°22'10,20''S e longitude: 53°45'23,00''O, e altitude de 420 metros) e Independência – RS, (coordenadas correspondem: latitude de 07°51'18,14''S e longitude de 54°17'13,23''O, e altitude de 315 metros). Para ambos os ambientes o clima caracteriza-se como Cfa subtropical úmido segundo Köppen, e o solo classifica-se como Latossolo vermelho férrico típico (STRECK, 2008).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso organizado em esquema fatorial, sendo (dois ambientes de produção de sementes) x (quatro cultivares da soja) dispostas em três repetições. As cultivares utilizadas com hábito de crescimento indeterminado (HCI) foram: FPS Solimões RR e FPS Júpiter RR. Já as cultivares com hábito de crescimento determinado (HCD) foram: BRS Tordilha RR e Fepagro 36 RR. Cada unidade experimental foi composta por quatro linhas espaçadas por 0,45 metros e cinco metros de comprimento. A densidade populacional foi realizada conforme recomendação dos obtentores. Para ambos os ambientes utilizou-se sistema de semeadura direta com adubações estabelecidas de acordo com as necessidades da cultura. O controle de insetos-praga e doenças foi realizado de maneira preventiva.

As avaliações foram realizadas nas linhas centrais de cada unidade experimental, desprezando o primeiro metro das extremidades a fim de diminuir os efeitos de bordadura, posteriormente amostraram-se dez plantas aleatoriamente para obtenção dos parâmetros de interesse agrônomo. Os caracteres avaliados foram:

- Altura de inserção do primeiro legume (IPL): aferida através da distância entre o nível do solo e a inserção do primeiro legume na haste principal, resultados em centímetros.

- Altura de planta (AP): medida da distância entre o nível do solo ao ápice da haste principal, resultados em centímetros.
- Número de legumes na haste principal (NLHP): contagem do número total de legumes viáveis aderidos à haste principal.
- Número de ramificações (NR): aferido através da contagem de todas as ramificações por planta.
- Número de legumes nas ramificações (NLR): realizou-se a contagem do número total de legumes inseridos em todas as ramificações.
- Número de legumes com uma semente (NLUS): obtido através da contagem de todos os legumes com apenas uma semente.
- Número de legumes com duas sementes (NLDS): obtido através da contagem de todos os legumes com duas sementes.
- Número de legumes com três sementes (NLTS): obtido através da contagem de todos os legumes com presença de três sementes por legume.
- Massa de mil sementes (MMS): realizou-se a contagem e determinação da massa de oito subamostras com cem sementes em cada unidade experimental, resultados expressos em gramas (BRASIL, 2009).
- Rendimento de sementes (REND): obtido através da massa total por unidade experimental, efetuou-se a razão da massa de sementes da unidade pelo número de plantas, resultados expressos em kg ha^{-1} .

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância individual para cada ambiente de produção e hábito de crescimento a fim de verificar a homogeneidade das variâncias. Para cada ambiente dentro dos hábitos de crescimento da soja procedeu-se a análise de trilha fenotípica entre os caracteres agronômicos.

Para análise de trilha as estimativas dos efeitos diretos e indiretos foram realizadas considerando o seguinte modelo estatístico:

$$y = p_1x_1 + p_2x_2 + \dots + p_nx_n + p_eu \quad (1)$$

onde,

y = variável dependente rendimento de sementes;

x_1, x_2, \dots, x_n : variáveis explicativas;

p_1, p_2, \dots, p_n : coeficientes de trilha.

revelando relação de causa e efeito de grande magnitude (Tabela 1). Já os efeitos indiretos de outros caracteres como altura de planta (AP) e número de legumes na haste principal (NLHP) para o ambiente Independência foram elevados, (0,25 e -0,43). A correlação linear em no ambiente de Tenente Portela - RS apresenta magnitude superior aos efeitos diretos, tal relação é observada devido aos efeitos indiretos via NLTS (0,34). Cruz et al., (2004) revela que correlações fenotípicas baixas entre caracteres não indicam ausência de relação entre os caracteres, mas sim carência de linearidade entre os parâmetros. Com relação ao hábito de crescimento indeterminado (HCI) os coeficientes são superiores porém de magnitude contrária para efeitos diretos, indicando que tal caráter não apresenta a mesma relação comparativamente ao hábito de crescimento determinado (HCD) com o caráter dependente (REND). Visualizou-se que para as cultivares de hábito de crescimento indeterminado (HCI), o caráter altura de inserção do primeiro legume (AIP) não apresenta efeitos positivos com o rendimento de sementes (Tabela 1).

Para o caractere altura de planta (AP), no ambiente de produção de sementes Independência – RS, as cultivares de hábito de crescimento determinado (HCD) expressaram coeficiente de correlação intermediário e positivo para os efeitos diretos, sendo a correlação total inferior pelo fato que os efeitos indiretos do caráter número de legumes na haste principal (NLHP) apresentarem-se negativos sobre a altura de planta (AP). No ambiente de produção Tenente Portela – RS não foram observadas as mesmas magnitudes, onde as estimativas são inferiores tanto para correlação total como para os efeitos diretos. A altura de planta é um caráter que sofre influência da densidade populacional, ambiente de cultivo, práticas culturais, época de semeadura e do manejo nutricional (KOMARI et al., 2004). Neste estudo evidenciou-se que o ambiente reduz a magnitude das correlações. O mesmo padrão foi observado para cultivares com hábito de crescimento indeterminado (HCI) em relação aos dois ambientes.

Em Independência – RS, os efeitos diretos são positivos e elevados, inclusive superiores a correlação total, o que indica uma relação de causa entre altura de planta e rendimento de sementes, resultados similares aos obtidos por Carvalho et al., (2002) que relata relação direta da altura de planta com o rendimento na cultura da soja. Já para as condições de Tenente Portela - RS as magnitudes são inferiores, da mesma forma comparada as cultivares de hábito de crescimento determinado. Estudos revelam que coeficientes de correlação de magnitudes reduzidas ou nulas são decorrentes de efeitos do ambiente de cultivo (PINTO et al., 1995).

Tabela 1- Estimativas dos efeitos diretos e indiretos fenotípicos para os caracteres altura de inserção do primeiro legume (IPL), altura de planta (AP) e número de legumes na haste principal (NLHP), na cultura da soja diante de diferentes hábitos de crescimento e ambientes de produção de semente.

Efeitos	Hábito de C. Determinado		Hábito de C. Indeterminado	
	Independência	Tenente Portela	Independência	Tenente Portela
Altura Inserção do Primeiro Legume (IPL)				
Efeito Direto Sobre (REND)	0,1280	0,1539	-0,1568	-0,2566
Efeitos Indiretos (AP)	0,2500	-0,0305	0,1278	0,0616
Efeitos Indiretos via (NLHP)	-0,4370	-0,0039	0,0187	-0,0611
Efeitos Indiretos via (NLR)	-0,0050	0,0008	0,0760	-0,1090
Efeitos Indiretos via (NR)	0,0150	-0,0048	-0,1255	0,0113
Efeitos Indiretos via (NLUS)	0,0720	-0,0668	-0,0001	0,0028
Efeitos Indiretos via (NLDS)	-0,0460	0,1017	0,0041	-0,0529
Efeitos Indiretos via (NLTS)	-0,0090	0,3446	-0,1742	-0,0842
Efeitos Indiretos via (MMS)	-0,0180	0,0597	0,0735	-0,0686
Total	-0,0430	0,5689	-0,1662	-0,5893
Altura de Planta (AP)				
Efeito Direto Sobre (REND)	0,3810	-0,0736	0,4940	0,1230
Efeito Indireto via (IPL)	0,0840	0,0637	-0,0405	-0,1286
Efeitos Indiretos via (NLHP)	-0,3030	0,0008	-0,0290	0,1854
Efeitos Indiretos via (NLR)	-0,0009	-0,0218	-0,0413	0,0034
Efeitos Indiretos via (NR)	-0,0302	-0,0530	0,0260	0,0038
Efeitos Indiretos via (NLUS)	0,1159	-0,0252	-0,0297	-0,0575
Efeitos Indiretos via (NLDS)	-0,0376	0,0644	-0,0064	0,0187
Efeitos Indiretos via (NLTS)	0,0163	0,1596	0,0772	0,0518
Efeitos Indiretos via (MMS)	-0,0345	0,0033	-0,1314	-0,1624
Total	0,2117	0,1113	0,3530	0,0520
Número de Legumes na Haste Principal (NLHP)				
Efeito Direto Sobre (REND)	0,5538	0,0440	-0,0647	0,3182
Efeito Indireto via (IPL)	-0,1017	-0,0130	0,0454	0,0490
Efeitos Indiretos (AP)	-0,2087	-0,0014	0,2249	0,0716
Efeitos Indiretos via (NLR)	0,0053	0,0209	-0,0439	0,1031
Efeitos Indiretos via (NR)	-0,0140	0,0262	0,0296	-0,0082
Efeitos Indiretos via (NLUS)	-0,1143	0,0720	-0,0604	-0,1040
Efeitos Indiretos via (NLDS)	0,0521	-0,1073	-0,0079	0,0796
Efeitos Indiretos via (NLTS)	0,0092	-0,0459	0,1853	0,1426
Efeitos Indiretos via (MMS)	0,0116	-0,0572	-0,0698	-0,1055
Total	0,2218	-0,0570	0,2341	0,5851
Coeficiente de Determinação	0,2964	0,7883	0,5450	0,7670
Valor K	5,2560	9,2596	6,7810	0,1230
Efeito da Variável Residual	0,8380	0,4600	0,6740	0,4820
Variável determinante	0,0027	0,0067	0,0154	0,0291

Com relação ao caráter número de legumes na haste principal (NLHP) são revelados efeitos diretos e superiores aos totais (0,55) para o ambiente Independência – RS (Tabela 1), já os efeitos no ambiente de Tenente Portela - RS são bastante inferiores, revelando que o ambiente está influenciando e alterando as magnitudes dos caracteres, logo uma seleção via melhoramento não levaria em consideração este caráter neste ambiente. Quando analisou-se uma cultivar com hábito de crescimento indeterminado (HCI) os ambientes mostram-se contrários, uma vez que em Tenente Portela - RS suas magnitudes são superiores a Independência – RS, indicando que as relações dos componentes do rendimento são alteradas em função do hábito e do ambiente a que

estão submetidas. O caráter rendimento de sementes depende da combinação de vários caracteres intrínsecos à planta, número de legumes, número de sementes por legume e massa de sementes por planta (FONTOURA et al., 2006), desta forma alguns caracteres podem apresentar mais ou menos relação dependendo do ambiente de produção. Legumes situados na haste principal contribuem significativamente ao rendimento de sementes da soja (BAHRY et al., 2013), corroborando com resultados obtidos por Board et al., (1990) que atribui o número de legumes na haste principal como componente primordial ao rendimento.

Com relação às correlações do caráter número de ramificações (NR) com rendimento de sementes (REND) para cultivares de hábito de crescimento determinado (HCD), evidenciado na tabela 2, constataram-se tanto efeitos diretos como totais deste caráter sobre o rendimento para o ambiente Independência - RS, corroborando com Carpenter e Board (1997) onde coeficientes de correlação positivos são expressos entre a emissão de ramos na soja e o rendimento, indicando que um maior número de ramificações não contribui necessariamente para obtenção de maior rendimento, resultado contrastante é obtido para Tenente Portela - RS, onde os efeitos foram positivos. Logo a tomada de decisão por qual cultivar utilizar depende do ambiente, considerando que em um ambiente cultivares com maior número de ramificações são benéficas, outro ambiente pode não revelar a mesma resposta. As cultivares de hábito de crescimento indeterminado (HCI) revelaram magnitude positiva em Independência – RS indicando que quanto maior o número de ramificações possivelmente se terá acréscimos no rendimento de sementes.

Desta forma a escolha do hábito de crescimento quanto a obtenção de maiores rendimentos deve ser em razão do ambiente de cultivo, logo que os resultados foram contraditórios. Resultados contrastantes entre ambientes de cultivo são atribuídos a variações edafoclimáticas e arranjo estrutural das plantas (BOARD et al., 1990). As plantas expressam plasticidade morfológica decorrente de oscilações do ambiente, com intuito de adaptarem-se as condições do meio (RAMBO et al., 2004). Navarro Junior et al. (2002) relatam que as ramificações contribuem ao potencial produtivo da soja, acréscimos em área foliar e menor taxa de abscisão de flores.

O caráter número de legumes nas ramificações (NLR) diante das cultivares de hábito de crescimento determinado (HCD) não revelou efeitos diretos significativos para os dois ambientes testados (Tabela 2), este é um caráter influenciado pelos arranjos culturais e pelas características intrínsecas da cultivar (TOURINO et al., 2002). Com

relação as cultivares de hábito de crescimento indeterminado (HCI) os efeitos diretos foram de baixa magnitude e inferiores aos efeitos totais, porém os ambientes apresentam magnitudes contrárias quando ao número de legumes nas ramificações.

O número de sementes por legumes (NLUS, NLDS e NLTS) enquadra-se como componente de rendimento da soja (NAVARRO JUNIOR et al., 2002). Desta forma, este caráter foi desmembrado em legumes com uma, duas e três sementes, com intuito de verificar quais revelam uma maior contribuição com rendimento de sementes.

No ambiente de produção Independência - RS o hábito de crescimento determinado (HCD) revelou ao caráter número de legumes com uma semente (NLUS) efeitos diretos com coeficientes de correlação de magnitude baixa e negativa (Tabela 2). A correlação total de Pearson (-0,215) demonstra coeficiente baixo e negativo, onde a emissão de legumes com apenas uma semente não contribui para aumento do rendimento de sementes. Para o ambiente de Tenente Portela - RS evidenciou-se efeitos direto ao rendimento de magnitude positiva, porém de baixa magnitude (Tabela 2). Com relação ao hábito de crescimento indeterminado (HCI) os efeitos diretos via número de legumes de uma semente (NLUS) evidenciam coeficiente de correlação baixo e negativo em ambos ambientes. Para Independência - RS observa-se coeficiente de correlação total de Pearson (-0,158) baixo e negativo.

Tabela 2- Estimativas dos efeitos diretos e indiretos fenotípicos para os caracteres número de ramificações (NR), número de legumes nas ramificações (NLR) e número de legumes com uma semente (NLUS), na cultura da soja diante de diferentes hábitos de crescimento e ambientes de produção de sementes.

Efeitos	Hábito de C. Determinado		Hábito de C. Indeterminado	
	Independência	Tenente Portela	Independência	Tenente Portela
Número de Ramificações (NR)				
Efeito Direto Sobre (REND)	-0,2120	0,1795	0,2971	-0,0333
Efeito Indireto via (IPL)	-0,0094	-0,0041	0,0660	0,0870
Efeitos Indiretos (AP)	0,0541	0,0217	0,0438	-0,0143
Efeitos Indiretos via (NLHP)	0,0376	0,0064	-0,0064	0,0787
Efeitos Indiretos via (NLR)	0,0130	0,0674	-0,1458	0,1478
Efeitos Indiretos via (NLUS)	-0,0860	0,0203	-0,0570	-0,0520
Efeitos Indiretos via (NLDS)	-0,0860	-0,0203	-0,0082	0,0669
Efeitos Indiretos via (NLTS)	-0,0081	0,1974	0,1980	0,1464
Efeitos Indiretos via (MMS)	-0,0440	0,0364	-0,0500	0,0385
Total	-0,1816	0,5150	0,3570	0,4610
Número de Legumes nas Ramificações (NLR)				
Efeito Direto Sobre (REND)	0,0167	0,0722	-0,1638	0,2014
Efeito Indireto via (IPL)	-0,0398	0,0018	0,0736	0,1401
Efeitos Indiretos (AP)	-0,0221	0,0223	0,1249	0,0021
Efeitos Indiretos via (NLHP)	0,1780	0,0120	-0,0173	0,1630
Efeitos Indiretos via (NR)	-0,1750	0,1670	0,2645	-0,0240
Efeitos Indiretos via (NLUS)	-0,1015	0,0339	-0,0578	-0,0510
Efeitos Indiretos via (NLDS)	0,0977	-0,6390	-0,0096	0,0831
Efeitos Indiretos via (NLTS)	-0,0003	0,1708	0,2201	0,2183
Efeitos Indiretos via (MMS)	-0,0264	0,0320	-0,0844	-0,0053
Total	-0,0720	0,4560	0,3389	0,7510
Número de Legumes com uma semente (NLUS)				
Efeito Direto Sobre (REND)	-0,2155	0,1730	-0,2021	-0,1625
Efeito Indireto via (IPL)	-0,0430	-0,0592	-0,0001	0,0045
Efeitos Indiretos (AP)	-0,2052	0,0107	-0,0720	0,0435
Efeitos Indiretos via (NLHP)	0,2939	0,0184	-0,0193	0,2055
Efeitos Indiretos via (NLR)	0,0078	0,0140	-0,0469	0,0640
Efeitos Indiretos via (NR)	-0,0850	0,0210	0,0849	-0,0106
Efeitos Indiretos via (NLDS)	0,1013	-0,1970	-0,0021	0,0496
Efeitos Indiretos via (NLTS)	-0,0430	-0,3440	0,0361	0,0466
Efeitos Indiretos via (MMS)	-0,0140	-0,0700	-0,0684	-0,0880
Total	-0,2150	-0,4170	-0,1580	0,1326
Coefficiente de Determinação	0,2964	0,7883	0,5450	0,7670
Valor K	5,2560	9,2596	6,7810	0,1230
Efeito da Variável Residual	0,8380	0,4600	0,6740	0,4820
Variável determinante	0,0027	0,0067	0,0154	0,0291

O coeficiente de correlação total mostra-se baixo e negativo, diferentes resultados obtidos aos coeficientes de correlação são justificáveis devido à expressão dos genes envolvidos serem influenciados pelas oscilações do ambiente sendo responsáveis pela ação de mais de um caráter (SANTOS & VENCOVSKY, 1986). Desta forma, independente do hábito de crescimento, cultivares que apresentam a formação de legumes com apenas uma semente não é desejável, pois os efeitos sobre o rendimento não apresentam-se positivos, pressupõe-se que a formação de legumes com maior número de sementes são mais favoráveis ao aumento do rendimento.

Com relação ao caráter número de legumes com duas sementes (NLDS) no ambiente de Independência – RS e para cultivares de hábito de crescimento determinado (HCD) as magnitudes apresentaram-se baixas e positivas em relação ao caráter principal (Tabela 3). A correlação total de Pearson (-0,160), revela magnitude contrária, com relação inversa para o caráter dependente. No ambiente de Tenente Portela - RS o hábito de crescimento determinado (HCD) revelou ao número de legumes contendo duas sementes (NLDS) efeito direto, baixo e negativo. A correlação total de Person (-0,479) expressa coeficiente intermediário negativo para este ambiente, as divergências expressas entre ambientes influenciam nos efeitos diretos e indiretos dos parâmetros contribuintes ao rendimento (ELIAS et al., 1999).

Na avaliação das cultivares de hábito de crescimento indeterminado (HCI) para o ambiente Independência - RS verificou-se que efeitos diretos via o número de legumes com duas sementes (NLDS) não revelaram associação (Tabela 3). A correlação total de Person (0,268) enquadra-se como baixa e positiva. Em Tenente Portela - RS o caráter revelou efeitos diretos positivos com (0,12), sendo as magnitudes totais moderadas (0,56), inflacionada pelos efeitos indiretos do número de legumes na haste principal (NLHP). As condições diferenciadas do ambiente juntamente com as características do hábito de crescimento, proporcionam diferentes resultados da relação do número de sementes por legume. Thomas e Costa (1994) relatam que o número de sementes por legume é atribuído intrinsecamente a cultivar. A formação de legumes com óvulos viáveis depende da capacidade que a planta tem em suprir a demanda energética por assimilados durante o período de enchimento de sementes (MAEHLER et al., 2003).

Em relação ao caráter número de legumes com três sementes (NLTS) para as cultivares de hábito de crescimento determinado (HCD) observou-se no ambiente de Independência - RS ausência de respostas diretas com o caráter dependente (REND). A correlação total de Person (0,275) mostra-se baixa e positiva, segundo Vencovsky e Barriga (1992) os efeitos diretos nulos fazem com que a resposta do caráter na correlação total seja atribuída aos efeitos indiretos. Em Tenente Portela – RS os efeitos diretos caracterizam-se como intermediários e positivos. A correlação total de Pearson (0,873) evidenciou-se alta e positiva, demonstrando que entre a decomposição do número de legumes, o número de legume com três sementes revela maior contribuição com aumento do rendimento.

Tabela 3- Estimativas dos efeitos diretos e indiretos fenotípicos para os caracteres número de legumes com duas sementes (NLDS), número de legumes com três sementes (NLTS) e massa de mil sementes (MMS), na cultura da soja diante de diferentes hábitos de crescimento e ambientes de produção de semente.

Efeitos	Hábito de C. Determinado		Hábito de C. Indeterminado	
	Independência	Tenente Portela	Independência	Tenente Portela
Número de Legumes com duas sementes (NLDS)				
Efeito Direto Sobre (REND)	0,1350	-0,2210	-0,0142	0,1243
Efeito Indireto via (IPL)	-0,0440	-0,0700	0,0453	0,1092
Efeitos Indiretos (AP)	-0,1061	0,0214	0,2242	0,0185
Efeitos Indiretos via (NLHP)	0,2139	0,0213	-0,0359	0,2038
Efeitos Indiretos via (NLR)	0,0120	0,0208	-0,1112	0,1347
Efeitos Indiretos via (NR)	-0,1356	0,0215	0,1710	-0,0179
Efeitos Indiretos via (NLUS)	-0,1617	0,1540	-0,0308	-0,0649
Efeitos Indiretos via (NLTS)	-0,0513	-0,3430	0,1705	0,0995
Efeitos Indiretos via (MMS)	-0,2927	-0,0626	-0,1490	-0,0588
Total	-0,1602	-0,4790	0,2689	0,5638
Número de Legumes com três sementes (NLTS)				
Efeito Direto Sobre (REND)	0,0840	0,5310	0,3085	0,2741
Efeito Indireto via (IPL)	-0,0140	0,0990	0,0885	0,0788
Efeitos Indiretos (AP)	0,0734	-0,0220	0,1238	0,0232
Efeitos Indiretos via (NLHP)	0,0600	-0,0038	-0,0389	0,1655
Efeitos Indiretos via (NLR)	0,0000	0,0232	-0,1169	0,1604
Efeitos Indiretos via (NR)	0,0204	0,0660	0,1907	-0,0178
Efeitos Indiretos via (NLUS)	0,1102	-0,1125	-0,0237	-0,0276
Efeitos Indiretos via (NLDS)	-0,0815	0,1430	-0,0078	0,0451
Efeitos Indiretos via (MMS)	0,0176	0,0985	-0,1192	-0,0049
Total	0,2755	0,8738	0,4259	0,7300
Massa de mil sementes (MMS)				
Efeito Direto Sobre (REND)	0,1068	0,1296	0,4773	0,2519
Efeito Indireto via (IPL)	-0,0218	0,0701	-0,0240	0,0698
Efeitos Indiretos (AP)	-0,1234	-0,0019	-0,1363	-0,0793
Efeitos Indiretos via (NLHP)	0,0601	-0,0194	0,0094	-0,1333
Efeitos Indiretos via (NLR)	-0,0041	0,0170	0,0289	-0,0042
Efeitos Indiretos via (NR)	0,0889	0,0500	-0,0311	-0,0051
Efeitos Indiretos via (NLUS)	0,0293	-0,0947	0,0289	0,0568
Efeitos Indiretos via (NLDS)	-0,0370	0,1072	0,0044	-0,0290
Efeitos Indiretos via (NLTS)	0,0140	0,4040	-0,0770	-0,0054
Total	0,1185	0,6764	0,3129	0,1531
Coeficiente de Determinação	0,2964	0,7883	0,5450	0,7670
Valor K	5,2560	9,2596	6,7810	0,1230
Efeito da Variável Residual	0,8380	0,4600	0,6740	0,4820
Variável determinante	0,0027	0,0067	0,0154	0,0291

Em relação as cultivares de hábito de crescimento indeterminado (HCI) observou-se efeitos diretos positivos com o caráter número de legumes com três sementes (NLTS) para ambos os ambientes testados. Em ambos ambientes e dentre os diferentes hábitos de crescimento observou-se que o número de legumes com três sementes contribui significativamente ao aumento do rendimento.

O caráter massa de mil sementes (MMS) revelou efeitos diretos positivos com o rendimento para os dois ambientes de produção de sementes (Tabela 3). Dentre os hábitos de crescimento, verificou-se maior magnitude de expressão para cultivares de hábito de crescimento indeterminado. Desta forma a massa de mil sementes revela associações positivas com rendimento, indicando que a escolha de cultivares com maior

massa de mil sementes poderá resultar em maior rendimento final independente do ambiente de cultivo.

Os resultados obtidos neste trabalho justificam a importância do caráter massa de mil sementes para o desempenho da soja, independentemente do ambiente e hábito de crescimento, justificado via correlações de magnitudes significativas e positivas para todas as situações.

2.4 Conclusão

Os caracteres número de legumes na haste principal, número de ramificações, número de legumes nas ramificações, número de legumes com uma e duas sementes apresentam resultados contrastantes quando ao ambiente de produção, de modo que a escolha da cultivar deve ser realizada de modo diferencial.

O número de legumes com três sementes e a massa de mil sementes estão entre os caracteres mais relacionados com o rendimento, tanto para cultivares com hábito de crescimento determinado como indeterminado, independente do ambiente de produção de sementes.

Capítulo II

Índice multivariado de vigor de sementes de soja: uma nova abordagem biométrica aplicada aos efeitos de cultivares e ambientes

3.1 Introdução

A soja (*Glycine max* L.) caracteriza-se como a cultura de maior importância para o agronegócio, sendo o Brasil o segundo maior produtor mundial com aproximadamente 113 milhões de toneladas de grãos cultivados em uma área de 35 milhões de hectares (CONAB, 2019).

O rendimento da soja é determinado conjuntamente por fatores bióticos e abióticos intrínsecos ao ambiente de cultivo, no entanto, sementes de alta performance são definidas como o principal insumo dos cultivos agrícolas, onde estabelece condições para suportar estresses momentâneos após a semeadura e pode determinar altos rendimentos. Neste sentido, a produção de sementes com alto vigor é ponderada pelas características genéticas intrínsecas da cultivar utilizada, condições edafoclimáticas, épocas de semeadura, ambientes de produção, interação genótipos x ambientes, incidência de doenças e insetos-praga, manejos nutricionais, momento e práticas de colheita, bem como, de pós-colheita (MARCOS FILHO, 2015).

O ambiente de produção de sementes e a interação genótipos x ambientes determinam a qualidade fisiológica das sementes em mais de 50%, portanto, é imprescindível mensurar e identificar os atributos individualmente para cada ambiente de produção (VASCONCELOS et al., 2012). O método *Genotype Main Effects and Genotype Environment Interaction* (GGE) possibilita identificar e estimar a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos frente aos diferentes ambientes de cultivo, agrupando quais são os ambientes correlacionados para definir os possíveis macroambientes, bem como, revela quais são as cultivares de alto desempenho para o caráter de estudo (YAN et al., 2016; WOYANN et al., 2017).

O vigor das sementes caracteriza-se por ser o principal atributo fisiológico desejado pelos produtores de sementes, onde o conhecimento de sua importância tornou-se corriqueiro no âmbito nacional. Atualmente, há indagações de qual seria o

melhor teste ou metodologia a ser empregada no controle de qualidade, pois frequentemente evidenciam-se resultados distintos ou contraditórios de acordo com o teste de vigor utilizado.

Com a finalidade de incrementar a eficiência no posicionamento das melhores cultivares e identificar quais são os ambientes mais favoráveis para a obtenção de sementes com alta performance, sendo imprescindível que os testes fisiológicos apresentam tendência única para o vigor, então emprega-se uma abordagem multicaráter atribuída a um índice multivariado de vigor passível de gerar estimativas para a adaptabilidade, estabilidade e posicionamento das cultivares da soja frente aos ambientes de produção de sementes. Neste contexto, este trabalho teve o objetivo aplicar um índice multivariado de vigor em sementes da soja para estimar a adaptabilidade e estabilidade de diferentes cultivares.

3.2 Material e métodos

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso, organizado no esquema fatorial, sendo: cinco ambientes de produção de sementes (Santa Rosa - RS, Tenente Portela - RS, Campos Borges - RS, Sarandi - RS e Pelotas - RS) x 20 cultivares da soja dispostas em quatro repetições (Tabela 4).

Tabela 4- Descrição das 20 cultivares da soja (G) e dos cinco ambientes de produção de sementes (E), no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

Cultivares da soja (G)			
G ₁ BRS Tordilha RR	G ₆ FPS Netuno RR	G ₁₁ BMX Magna RR	G ₁₆ Roos Camino RR
G ₂ FPS Paranapanema RR	G ₇ FPS Iguaçu RR	G ₁₂ A 6411 RG	G ₁₇ BMX Ativa RR
G ₃ Fepagro 37 RR	G ₈ FPS Urano RR	G ₁₃ BMX Apolo RR	G ₁₈ NA 5909 RG
G ₄ FPS Solimões RR	G ₉ FPS Júpiter RR	G ₁₄ BMX Potência RR	G ₁₉ BMX Turbo RR
G ₅ Fepagro 36 RR	G ₁₀ AMS Tibagi RR	G ₁₅ BMX Alvo RR	G ₂₀ TMG 7161 RR
Ambientes (E)	Coordenadas geográficas	Altitude	Tipo de solo*
Santa Rosa - RS	27°52'16" S e 54°28'55" O	268m	Latossolo Vermelho
Tenente Portela - RS	27°22'15" S e 53°45'28" O	420m	Latossolo Vermelho
Campos Borges - RS	28°52'31" S e 53°0'55" O	513m	Latossolo Vermelho
Sarandi - RS	27°56'38" S e 52°55'23" O	503m	Latossolo Vermelho
Pelotas - RS	31°81'53" S e 52°46'98" O	13m	Planossolo Háplico

* (Streck, 2008)

A implantação do campo de produção de sementes foi realizada de maneira padrão para todos os ambientes, sendo a semeadura realizada na segunda quinzena do mês de outubro. As unidades experimentais foram compostas por cinco linhas de semeadura espaçadas por 0,50 metros e cinco metros de comprimento. A densidade populacional utilizada foi realizada de acordo com o posicionamento do obtentor, e o manejo nutricional foi composto por 300 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O com a formulação 02-20-30 aplicado na base de semeadura. Os manejos de plantas daninhas, insetos-praga e doenças foram realizados preventivamente para todos os ambientes e cultivares testadas.

Para a mensuração dos caracteres de interesse foram colhidas manualmente as plantas contidas em três metros das três linhas centrais correspondendo a área útil da unidade experimental, as sementes foram submetidas à trilha e limpeza, após foram direcionadas ao Laboratório Didático de Análise de Sementes da Universidade Federal de Pelotas, para a mensuração dos atributos fisiológicos. Inicialmente determinou-se o teor de água nas sementes.

O percentual de sementes germinadas (PG), foi determinado a partir de oito sub amostras com 50 sementes oriunda de cada unidade experimental obtida no campo, sendo estas, dispostas a germinar em papel do tipo *germitest*, umedecido 2,5 vezes a massa do substrato seco. Os rolos foram acondicionados em BOD (*Biochemical oxygen demand*), a temperatura constante de 25°C e a mensuração foi realizada aos oito dias após o início do teste, sendo resultados expressos em percentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

Primeira contagem de germinação (PC), realizada conjuntamente com o teste de germinação (PG), contabilizando-se as plântulas normais presentes no quinto dia após a semeadura (BRASIL, 2009).

Comprimento da parte aérea (PA) e da radícula (CR) foram aplicados os procedimentos descritos por Nakagawa (1999), obtidos a partir da semeadura de 20 sementes alocadas em uma linha reta, no terço superior do papel do tipo *germitest* já umedecido a 2,5 vezes a massa do substrato seco, com quatro repetições de cada unidade experimental oriunda do campo, colocadas em BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), a temperatura de 25°C. No oitavo dia, foi realizada a mensuração da parte aérea e raiz, usando régua graduada, resultados expresso em centímetros (cm).

Massa seca de plântulas (MS) determinada em dez plântulas normais por unidade experimental obtidas do teste de comprimento de plântulas, posteriormente submetidas

a estufa de ventilação de ar forçada a 80°C por 24 horas (Nakagawa, 1999), resultados expressos em gramas (g).

A emergência a campo (EC), foi obtida por meio de 400 sementes dispostas em quatro unidades experimentais de 100 sementes, sendo estas semeadas em linhas espaçadas por 0.50 metros e profundidade de três centímetros, após seis dias da semeadura procedeu-se a contagem do percentual de plântulas emergidas (%).

Os dados foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade onde verificou-se as pressuposições do modelo estatístico (RAMALHO et al., 2012). Após, procedeu-se a análise univariada para os caracteres mensurado com a finalidade de identificar a interação significativa entre os ambientes de produção de sementes x cultivares da soja a 5% de probabilidade. Ao identificar que todos os caracteres revelavam interação significativa foi possível empregar uma abordagem multivariada para definir a tendência única das estimativas. Portanto, desenvolveu-se um índice multivariado de vigor baseado na razão entre os valores observados em cada unidade experimental ponderados pelos seus respectivos desvios-padrões onde conjuntamente aplicou-se ação de produtório.

Esta abordagem foi composta pelos caracteres percentual de germinação (PG), primeira contagem de germinação (PC), comprimento da parte área (PA), comprimento da radícula (CR), massa seca de plântulas (MS) e emergência a campo (EC), baseados na seguinte equação:

$$I_V \triangleq \left[\left(\frac{PG_{ijk}}{S_{PG}} \right) \times \left(\frac{PC_{ijk}}{S_{PC}} \right) \times \left(\frac{PA_{ijk}}{S_{PA}} \right) \times \left(\frac{CR_{ijk}}{S_{CR}} \right) \times \left(\frac{MS_{ijk}}{S_{MS}} \right) \times \left(\frac{EC_{ijk}}{S_{EC}} \right) \right] \quad (1)$$

Onde,

I_v: corresponde ao índice multivariado de vigor das sementes da soja;

PG_{ijk}: definido como o valor observado para a *i*-ésima cultivar no *j*-ésimo ambiente de produção dispostos no *k*-ésimo bloco para o caráter percentual de germinação;

PC_{ijk}: definido como o valor observado para a *i*-ésima cultivar no *j*-ésimo ambiente de produção dispostos no *k*-ésimo bloco para o caráter primeira contagem de germinação;

PA_{ijk}: definido como o valor observado para a *i*-ésima cultivar no *j*-ésimo ambiente de produção dispostos no *k*-ésimo bloco para o caráter comprimento da parte aérea;

CR_{ijk}: definido como o valor observado para a *i*-ésima cultivar no *j*-ésimo ambiente de produção dispostos no *k*-ésimo bloco para o caráter comprimento da radícula;

MS_{ijk} : definido como o valor observado para a i -ésima cultivar no j -ésimo ambiente de produção dispostos no k -ésimo bloco para o caráter massa seca de plântulas;

EC_{ijk} : definido como o valor observado para a i -ésima cultivar no j -ésimo ambiente de produção dispostos no k -ésimo bloco para o caráter emergência a campo, S_{PG} :

corresponde ao desvio padrão do caráter PG;

S_{PC} : corresponde ao desvio padrão do caráter PG;

S_{PA} : corresponde ao desvio padrão do caráter PA;

S_{CR} : corresponde ao desvio padrão do caráter CR;

S_{MS} : corresponde ao desvio padrão do caráter MS;

S_{EC} : corresponde ao desvio padrão do caráter EC.

Posteriormente a elaboração do índice, este foi submetido à análise de variância a 5% de probabilidade com a finalidade de identificar a interação entre os ambientes de produção das sementes x cultivares da soja. Ao identificar a significância da interação procedeu-se o método multivariado *Genotype Main Effects and Genotype Environment Interaction* (GGE) biplot com a finalidade de estimar e identificar a adaptabilidade e estabilidade do índice multivariado de vigor, seguindo o modelo:

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \xi_{1j} n_{1j} + \lambda_2 \xi_{2j} n_{2j} + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

Onde,

Y_{ij} : representa a magnitude esperada do índice multivariado de vigor referente a i -ésima cultivar cultivada no j -ésimo ambiente de produção das sementes; μ : corresponde à média geral das observações multivariadas do índice de vigor (Y_{ij});

β_j : evidencia-se como o efeito principal atribuído ao j -ésimo ambiente de produção das sementes;

λ_1 e λ_2 : correspondem aos escores principal (PC I) e secundário (PC II) determinantes para a expressão gráfica através dos componentes principais biplot;

ξ_{1j} e ξ_{2j} : evidenciam-se como os autovetores que representam a i -ésima cultivar correspondente aos eixos das abscissas do PC I e PC II;

ε_{ij} : expressa a fração residual não ajustado do modelo estatístico estocástico.

3.3 Resultado e discussão

A análise de variância revelou significância a 5% de probabilidade para a interação ambientes de produção das sementes x cultivares da soja para o percentual germinação (PG) primeira contagem de germinação (PC), comprimento da parte aérea (PA),

comprimento da radícula (CR), massa seca de plântulas (MS), emergência a campo (EC) e para o índice multivariado de vigor das sementes da soja (Iv), demonstrando a possibilidade de empregar as estimativas de adaptabilidade e estabilidade das cultivares frente aos ambientes.

Estimou-se conjuntamente os componentes de variância e parâmetros genéticos com a finalidade de identificar as contribuições específicas de cada fonte de variação e níveis de tratamento para os efeitos do ambiente de produção de sementes (CARVALHO et al., 2017), sendo estes: variância genotípica (VG), variância referente a interação genótipos x ambientes (VINT), variância fenotípica (VF), herdabilidade com sentido amplo (H^2) e correlação genotípica entre os ambientes (rG) (CRUZ et al., 2012).

Tabela 5- Estimativas dos componentes de variância e parâmetros genéticos do índice de vigor das sementes, obtidos a partir de 20 cultivares da soja cultivadas em cinco ambientes de produção de sementes do estado do Rio Grande do Sul.

VG	Variância genotípica	881023,05
VINT	Variância referente a interação genótipos x ambientes	4462796,92
VF	Variância fenotípica	6523650,94
H^2	Herdabilidade com sentido amplo	0,13
rG	Correlação genotípica entre os ambientes	0,16
Ambiente	Efeitos genéticos (%)	Efeitos do ambiente (%)
Santa Rosa - RS	4,00	96,00
Tenente Portela- RS	10,30	89,70
Campos Borges -RS	2,00	98,00
Sarandi - RS	0,70	99,30
Pelotas - RS	2,00	98,00

Os componentes de variância obtidos, indicaram que a variância genotípica (VG) foi responsável por 13,5% da expressão do índice de vigor. A variância referente a interação genótipos x ambientes (VINT), foi responsável por 68,4% da expressão do índice, sendo que destes 19,7% são atribuídos a efeitos genéticos. O efeito ambiental no índice de vigor das sementes da soja (H^2) foi de 86,5%, evidenciando o grande efeito do ambiente na qualidade fisiológica das sementes da soja. Szarecki et al., (2017), avaliando a qualidade fisiológica de sementes em diferentes ambientes, verificou de maneira similar que o ambiente foi responsável por mais de 60% da expressão do índice de vigor em sementes.

Estratificando os ambientes via contribuição relativa das somas de quadrado, verificou-se que os ambientes Tenente Portela - RS (10,3%), Santa Rosa - RS (4,0%), Pelotas - RS (2,0%), Campos Borges - RS (2,0%) e Sarandi - RS (0,7%), respectivamente foram os que mais revelaram influência genética. A correlação genética (R_g) das cultivares entre os ambientes de produção de sementes (0,16), permite identificar que a natureza da interação foi complexa culminando em dificuldades na seleção e no posicionamento das cultivares frente aos ambientes testados para este caráter (Tabela 5).

O emprego do método *Genotype Main Effects and Genotype Environment Interaction* (GGE) aplicado em função do índice multicaráter de vigor, possibilitou uma explicabilidade geral da fração padrão do modelo estatístico equivalente (PCI: 59,92% e PCII: 18,51%) a 75,43% (Figura 1), sendo possível representar fidedignamente os efeitos diferenciais da interação genótipos da soja (G) x ambientes de produção das sementes (A). As estimativas dos escores e plotagem destes de forma multivariada, possibilitaram evidenciar que o ambiente de Santa Rosa – RS (E_1) apresenta-se associado intimamente as cultivares A6411 RG (G_{12}) e BMX Magna RR (G_{11}), para as condições intrínsecas de Pelotas – RS (E_5), constatou-se a peculiaridade das cultivares AMS Tibagi RR (G_{10}) e TMG 7161 RR (G_{20}). Neste contexto, comprova-se que as inferências obtidas revelam cultivares com potencialidade para serem indicados como de adaptabilidade específica.

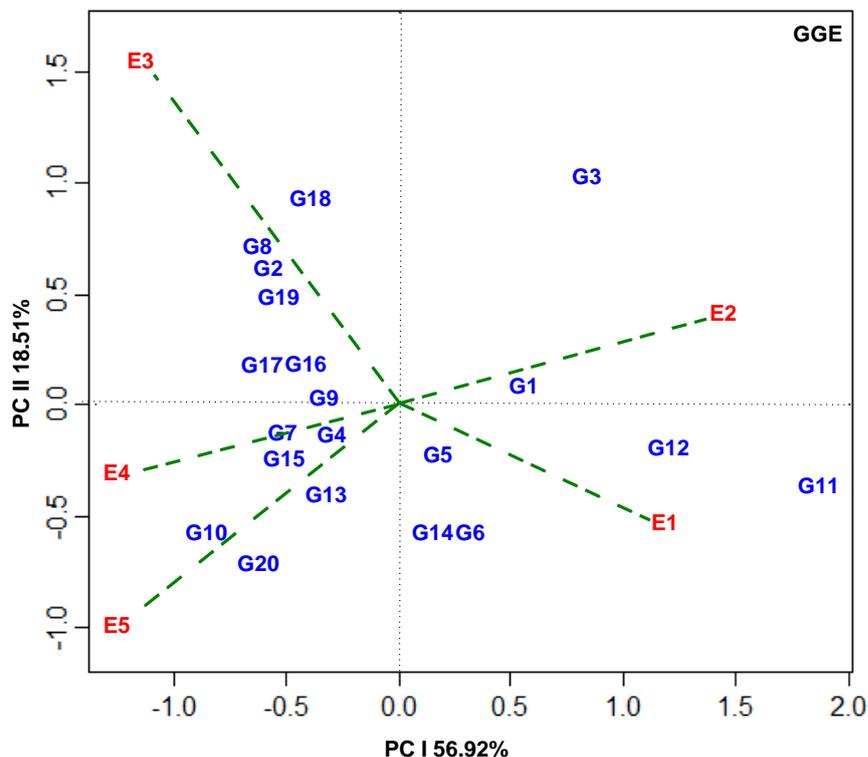


Figura 1- GGE biplot referente a explicabilidade geral das cultivares (G) da soja e ambientes de produção para o índice multivariado de vigor das sementes. Ambientes E₁ (Santa Rosa - RS), E₂ (Tenente Portela - RS), E₃ (Campos Borges - RS), E₄ (Sarandi - RS) and E₅ (Pelotas - RS). Cultivares da soja (G): G₁ (BRS Tordilha RR), G₂ (FPS Paranapanema RR), G₃ (Fepagro 37 RR), G₄ (FPS Solimões RR), G₅ (Fepagro 36 RR), G₆ (FPS Netuno RR), G₇ (FPS Iguaçu RR), G₈ (FPS Urano RR), G₉ (FPS Júpiter RR), G₁₀ (AMS Tibagi RR), G₁₁ (BMX Magna RR), G₁₂ (A 6411 RG), G₁₃ (BMX Apolo RR), G₁₄ (BMX Potência RR), G₁₅ (BMX Alvo RR), G₁₆ (Roos Camino RR), G₁₇ (BMX Ativa RR), G₁₈ (NA 5909 RG), G₁₉ (BMX Turbo RR) e G₂₀ (TMG 7161 RR).

Quando se refere à estratificação dos ambientes de produção das sementes (Figura 2), é possível identificar que a fração padrão do modelo estatístico foi representada por uma explicabilidade (PCI:66,02% e PC II: 16,02%) de 82,44%. Nestas condições, determina-se que os ambientes de Santa Rosa – RS (E₁) e Sarandi – RS (E₄) apresentam-se associados, possivelmente estes evidenciam características edafoclimáticas similares refletindo diretamente no incremento simultâneo do potencial fisiológico das sementes produzidas em ambas às condições, estas inferências são comprovadas através das tendências do índice multivariado de vigor das sementes da soja.

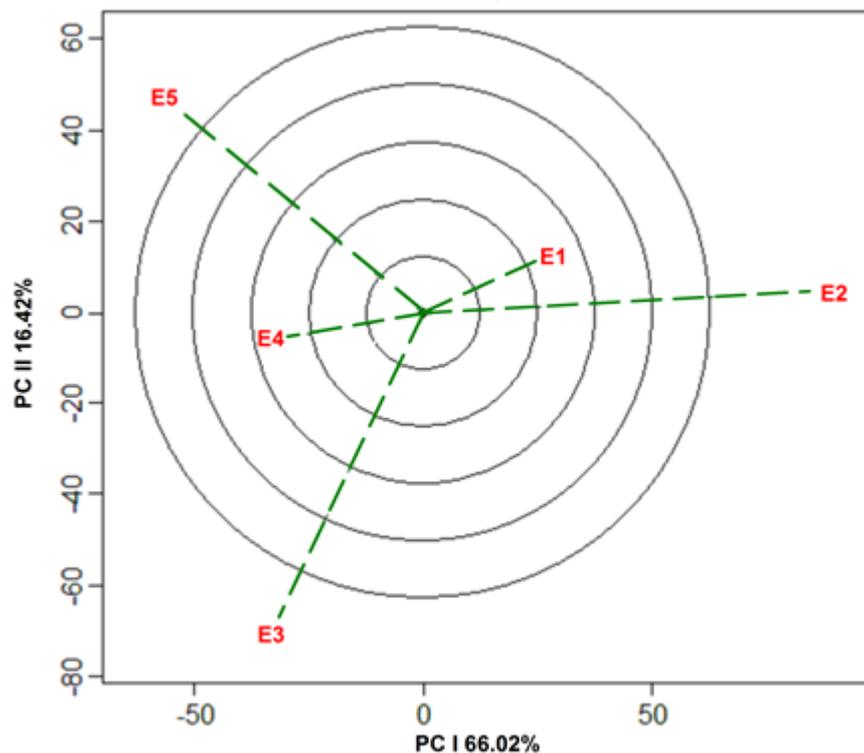


Figura 2- GGE biplot referente a explicabilidade dos ambientes de cultivo testados. Ambientes E₁ (Santa Rosa - RS), E₂ (Tenente Portela - RS), E₃ (Campos Borges - RS), E₄ (Sarandi - RS) and E₅ (Pelotas - RS). Cultivares da soja (G): G₁ (BRS Tordilha RR), G₂ (FPS Paranapanema RR), G₃ (Fepagro 37 RR), G₄ (FPS Solimões RR), G₅ (Fepagro 36 RR), G₆ (FPS Netuno RR), G₇ (FPS Iguaçu RR), G₈ (FPS Urano RR), G₉ (FPS Júpiter RR), G₁₀ (AMS Tibagi RR), G₁₁ (BMX Magna RR), G₁₂ (A 6411 RG), G₁₃ (BMX Apolo RR), G₁₄ (BMX Potência RR), G₁₅ (BMX Alvo RR), G₁₆ (Roos Camino RR), G₁₇ (BMX Ativa RR), G₁₈ (NA 5909 RG), G₁₉ (BMX Turbo RR) e G₂₀ (TMG 7161 RR).

Os ambientes de Pelotas – RS (E₅), Tenente Portela – RS (E₂) e Campos Borges – RS (E₃) apresentam-se dissimilares quando as tendências multivariadas do vigor das sementes produzidas, isto define que possivelmente sejam estes ambientes os causadores das distorções abruptas dos efeitos diferenciais da interação, devido a isto, é necessário que as inferências realizadas para estas condições sejam cautelosas para que os erros sejam mínimos no posicionamento estratégico da produção de sementes da soja com alta performance, voltadas ao vigor.

Em relação à interpretação conjunta dos efeitos diferenciais aditivos atribuídos as cultivares e ambientes, bem como, os efeitos multiplicativos da interação genótipos x ambientes (G + E + (G x E)) foi possível visualizar os melhores desempenhos específicos das cultivares e ambientes, interligando os escores atribuídos aos fatores de variação contidos no modelo e plotados no gráfico biplot (Figura 3), onde evidenciou a formação de um polígono relativo que expressa o desempenho máximo atribuído as cultivares testadas (YAN & KANG, 2003; YAN & TINKER, 2006), bem como, os vértices do polígono determinam a melhor cultivar para cada ambiente de produção das sementes (ALWALA et al., 2010).

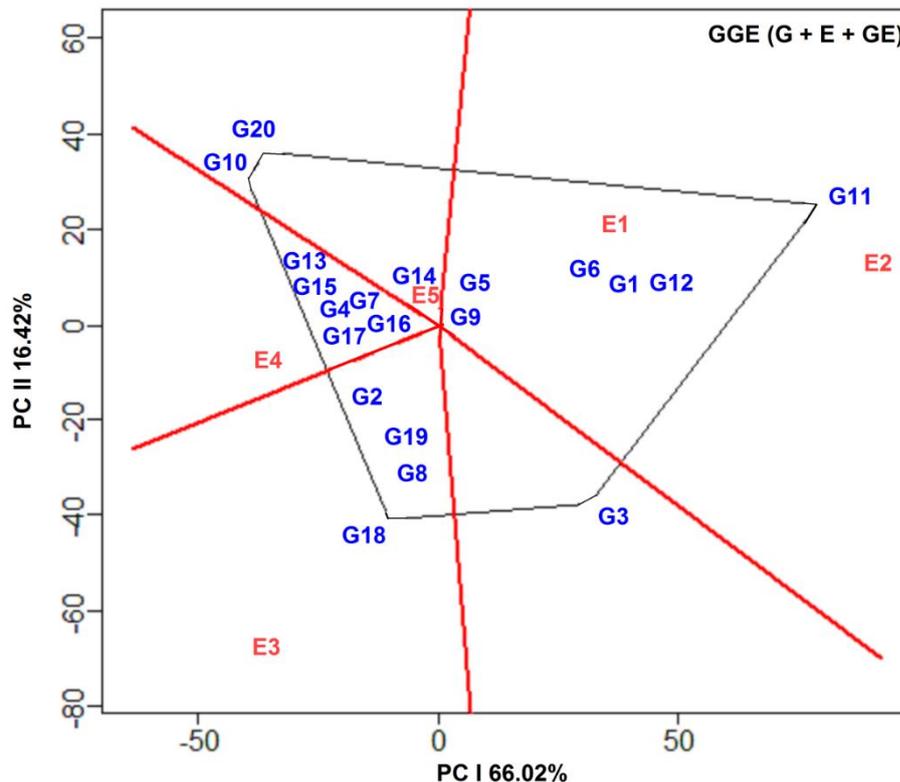


Figura 3- GGE biplot, referente ao melhor desempenho de uma determinada cultivar (G) em cada ambiente de produção de semente testado para o índice de vigor das sementes. Ambientes E₁ (Santa Rosa - RS), E₂ (Tenente Portela - RS), E₃ (Campos Borges - RS), E₄ (Sarandi - RS) and E₅ (Pelotas - RS). Cultivares da soja (G): G₁ (BRS Tordilha RR), G₂ (FPS Paranapanema RR), G₃ (Fepagro 37 RR), G₄ (FPS Solimões RR), G₅ (Fepagro 36 RR), G₆ (FPS Netuno RR), G₇ (FPS Iguaçu RR), G₈ (FPS Urano RR), G₉ (FPS Júpiter RR), G₁₀ (AMS Tibagi RR), G₁₁ (BMX Magna RR), G₁₂ (A 6411 RG), G₁₃ (BMX Apolo RR), G₁₄ (BMX Potência RR), G₁₅ (BMX Alvo RR), G₁₆ (Roos Camino RR), G₁₇ (BMX Ativa RR), G₁₈ (NA 5909 RG), G₁₉ (BMX Turbo RR) e G₂₀ (TMG 7161 RR).

Nestas condições, o índice multivariado de vigor das sementes da soja evidenciou (PCI: 66,02% e PCII: 16,42%) 82,44% de explicabilidade do modelo, sendo passível identificar a formação de apenas um macroambiente composto pelos ambientes de Santa Rosa – RS (E₁) e Tenente Portela – RS (E₂). Entretanto, os ambientes de Campos Borges – RS (E₃), Sarandi – RS (E₄) e Pelotas – RS (E₅) não formaram macroambientes.

Desta forma, quando as cultivares (G) estão localizados no interior do macroambiente define-se que estas são consideradas como de adaptabilidade específica para àquelas condições de cultivo (YAN & KANG, 2003). A definição de macroambiente é atribuída através da relação entre as características edafoclimáticas, manejos e resposta similar das cultivares frente às variações impostas pelo ambiente (TRETOWAN et al., 2001; WOYANNET al., 2018). O macroambiente correspondente aos ambientes de Santa Rosa – RS (E₁) e Tenente Portela – RS (E₂) definiu que as cultivares BRS Tordilha RR (G₁), Fepagro 36 RR (G₅), FPS Netuno RR (G₆), FPS Júpiter RR (G₉), BMX Magna RR (G₁₁) e A 6411 RG (G₁₂) são consideradas de adaptabilidade específica para este macroambiente, portanto, nestas condições, é possível incrementar o potencial fisiológico das sementes através da utilização da cultivar BMX Magna RR (G₁₁) devido esta expressar elevado desempenho para o índice multivariado de vigor das sementes.

Em relação ao ambiente de Pelotas - RS (E₅) a produção de sementes de alta performance pode ser obtida através das cultivares AMS Tibagi RR (G₁₀), BMX Potência RR (G₁₄) e TMG 7161 RR (G₂₀), sendo estas considerados de adaptabilidade específica à situação. Nestas condições, se elenca as cultivares AMS Tibagi RR (G₁₀) e TMG 7161 RR (G₂₀) como de elevado vigor. Quando se refere ao ambiente de produção Sarandi – RS (E₄) evidencia-se que este expressou alto desempenho para o índice de vigor das sementes, onde possibilitou definir que as cultivares FPS Solimões RR (G₄), FPS Iguaçu RR (G₇), BMX Apolo RR (G₁₃), BMX Alvo RR (G₁₅), Roos Camino RR (G₁₆) e BMX Ativa RR (G₁₇), foram consideradas específicas para aquelas condições de produção, no entanto, neste ambiente nenhuma cultivar foi considerada de elevado desempenho fisiológico.

Para Campos Borges – RS (E₃) constatou-se que as cultivares FPS Paranapanema RR (G₂), FPS Urano RR (G₈), NA 5909 RG (G₁₈) e BMX Turbo RR (G₁₉) foram indicadas para as condições intrínsecas deste ambiente, bem como, elevado desempenho fisiológico foi atribuído pela abordagem multicaráter para a cultivar NA 5909 RG (G₁₈). Resultados contraditórios foram expressos da cultivar Fepagro 37 RR (G₃), pois a mesma não associou-se com nenhum dos ambientes testados. Portanto, foram necessários cinco cultivares para definir o polígono referente ao alto potencial de vigor, atribuindo alta performance para Fepagro 37 RR (G₃), AMS Tibagi (G₁₀), BMX Magna RR (G₁₁), NA 5909 RG (G₁₈) e TMG 7161 RR (G₂₀).

Com a finalidade de identificar e discriminar as cultivares perante aos efeitos médios dos ambientes de produção das sementes (Figura 4), constatou-se os efeitos diferenciais da interação do índice multivariado de vigor foram representados (PC I: 67,11% e PC II: 10,88%) por 77,99%. Desta maneira, verifica-se a similaridade no comportamento do índice multivariado de vigor das sementes da soja através das cultivares FPS Urano RR (G₈), BMX Apolo RR (G₁₃), BMX Potência RR (G₁₄) e NA 5909 RG (G₁₈) localizados mais próximos da origem dos dados, o que remete que estes níveis de tratamento contribuem minimamente para os efeitos diferenciais da interação genótipos da soja x ambientes de produção das sementes. Similaridade foi observada entre as cultivares FPS Solimões RR (G₄), Fepagro 36 RR (G₅), FPS Júpiter RR (G₉), AMS Tibagi RR (G₁₀), BMX Alvo RR (G₁₅) e BMX Ativa RR (G₁₇) estando estes associados intimamente ao desempenho do ambiente Pelotas – RS (E₅).

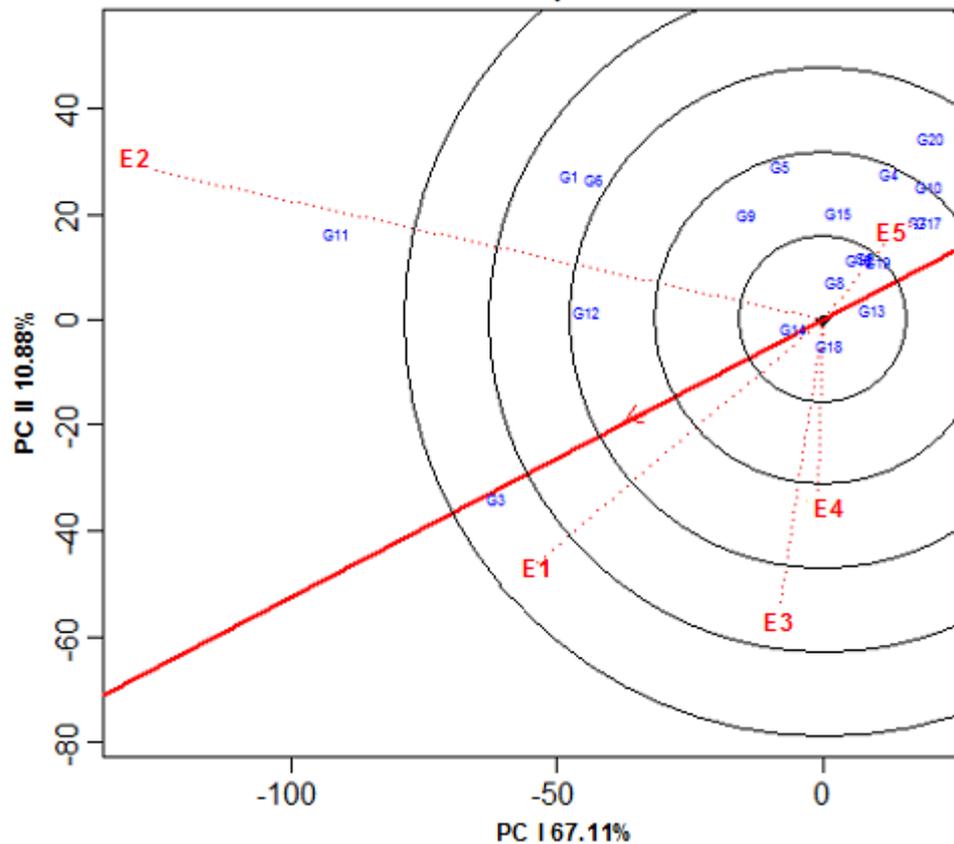


Figura 4- GGE biplot para a discriminação e representatividade das cultivares da soja (G) e ambientes de produção para o índice multivariado de vigor da sementes. Ambientes E₁ (Santa Rosa - RS), E₂ (Tenente Portela - RS), E₃ (Campos Borges - RS), E₄ (Sarandi - RS) and E₅ (Pelotas - RS). Cultivares da soja (G) G₁ (BRS Tordilha RR), G₂ (FPS Paranapanema RR), G₃ (Fepagro 37 RR), G₄ (FPS Solimões RR), G₅ (Fepagro 36 RR), G₆ (FPS Netuno RR), G₇ (FPS Iguaçu RR), G₈ (FPS Urano RR), G₉ (FPS Júpiter RR), G₁₀ (AMS Tibagi RR), G₁₁ (BMX Magna RR), G₁₂ (A 6411 RG), G₁₃ (BMX Apolo RR), G₁₄ (BMX Potência RR), G₁₅ (BMX Alvo RR), G₁₆ (Roos Camino RR), G₁₇ (BMX Ativa RR), G₁₈ (NA 5909 RG), G₁₉ (BMX Turbo RR) e G₂₀ (TMG 7161 RR).

As definições multivariadas indicam que a cultivar A 6411 RR (G₁₂) é definida como aquela que mais se aproxima ao ideiótipo perante os ambientes testados, e conjuntamente a cultivar TMG 7161 RR (G₂₀) são relacionadas com o ambiente Sarandi – RS (E₄). Para a Campos Borges – RS (E₃) as cultivares BRS Tordilha RR (G₁) e Fepagro 36 RR (G₅) são definidas como similares sendo ambas de hábito de crescimento determinado. Desempenhos fisiológicos discrepantes foram expressos através da cultivar BMX Magna RR (G₁₁) e Tenente Portela – RS (E₂) onde estas revelaram modificações abruptas para o índice multivariado de vigor e destoam dos demais níveis de tratamento atribuídos aos fatores de variação cultivares da soja e ambientes de produção de sementes.

A estimativa da estabilidade fenotípica reflete na capacidade de prever possíveis resultados nos próximos cultivos, ou seja, indica a previsibilidade da resposta de determinada cultivar naquelas condições de cultivo previamente definidas como

favoráveis ou desfavoráveis. Estas estimativas evidenciaram que o método possibilitou (PC I: 41,12% e PC II: 20,10%) representar 61,22% dos efeitos da interação através da fração padrão dos dados (Figura 5).

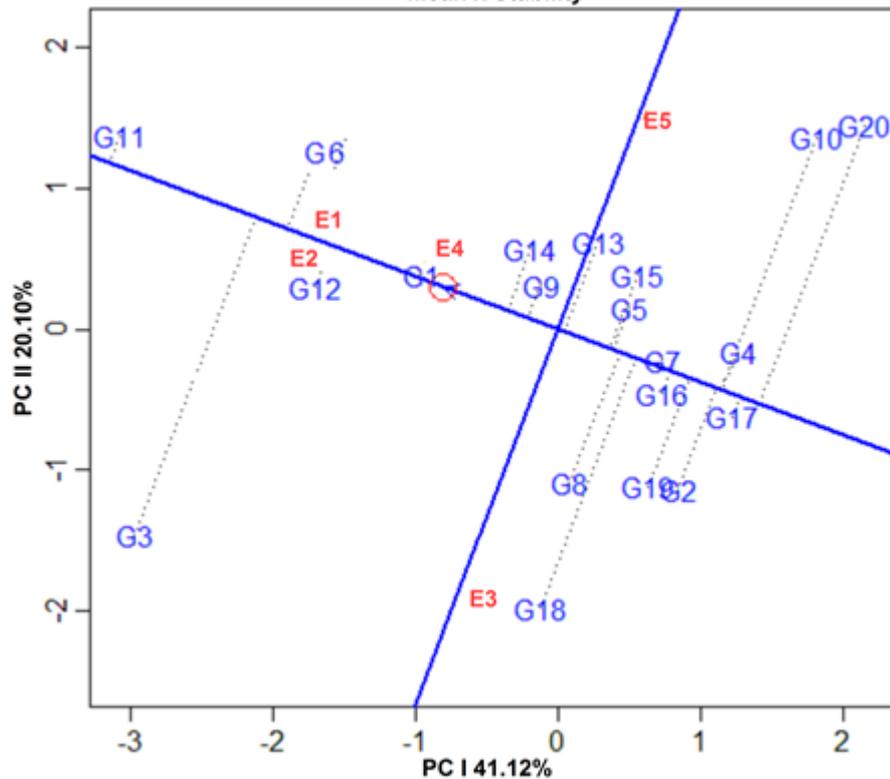


Figura 5- GGE biplot indicando o ranqueamento dos 20 cultivares da soja (G), com suas respectivas estabilidades referentes ao índice multivariado de vigor das sementes. Ambientes E₁ (Santa Rosa - RS), E₂ (Tenente Portela - RS), E₃ (Campos Borges - RS), E₄ (Sarandi - RS) and E₅ (Pelotas - RS). Cultivares da soja G₁ (BRS Tordilha RR), G₂ (FPS Paranapanema RR), G₃ (Fepagro 37 RR), G₄ (FPS Solimões RR), G₅ (Fepagro 36 RR), G₆ (FPS Netuno RR), G₇ (FPS Iguaçu RR), G₈ (FPS Urano RR), G₉ (FPS Júpiter RR), G₁₀ (AMS Tibagi RR), G₁₁ (BMX Magna RR), G₁₂ (A 6411 RG), G₁₃ (BMX Apolo RR), G₁₄ (BMX Potência RR), G₁₅ (BMX Alvo RR), G₁₆ (Roos Camino RR), G₁₇ (BMX Ativa RR), G₁₈ (NA 5909 RG), G₁₉ (BMX Turbo RR) e G₂₀ (TMG 7161 RR).

Desta forma, o genótipo ideal foi ponderado pela média geral de todos os ambientes perpendicularmente as maiores magnitudes dos desvios de cada ambiente, onde se elencou a cultivar BRS Tordilha RR (G₁) como de ótima estabilidade e previsibilidade para o índice multivariado de vigor. As cultivares BMX Magna RR (G₁₁), FPS Júpiter RR (G₉), BMX Potência RR (G₁₄) e FPS Netuno RR (G₆) apresentaram-se estáveis com alta previsibilidade em relação ao âmbito geral dos ambientes testados.

A cultivar Fepagro 37 RR (G₃) revelou instabilidade perante os ambientes testados, bem como, os ambientes Campos Borges – RS (E₃) e Pelotas – RS (E₅) foram considerados instáveis para a abordagem multicaráter do vigor das sementes da soja. As cultivares (G), FPS Iguaçu RR (G₇), FPS Solimões RR (G₄), Fepagro 36 RR (G₅),

Roos Camino RR (G₁₆), BMX Ativa RR (G₁₇) e BMX Alvo RR (G₁₅) apresentaram-se estáveis, mas com baixa expressividade para o índice multivariado.

Os resultados e as tendências multivariadas obtidas neste estudo apresentam-se imprescindíveis para a definição de quais são os efeitos da interação genótipos x ambientes no posicionamento estratégico de cultivares da soja para produção de sementes com alta performance, bem como, revelou a tendência multivariada dos testes de vigor conjugados ao índice multivariado elaborado exclusivamente para a melhoria das atuais inferências realizadas à área de Ciência e Tecnologia de Sementes.

3.4 Conclusões

Os ambientes de produção de sementes da soja de Tenente Portela – RS e Santa Rosa – RS caracterizam-se como os ambientes que expressam maior magnitude para o índice de vigor das sementes, entretanto biometricamente Sarandi – RS definiu-se como o ambiente ótimo para a produção de sementes de alto vigor diante das cultivares testadas.

Elevado índice de vigor das sementes foram expressos para as cultivares TMG 7161 RR, AMS Tibagi RR, BMX Magna RR, Fepagro 37 RR e NA 5909 RR.

Os efeitos diferenciais da interação genótipos x ambientes de produção da soja influencia em mais de 68% o índice de vigor das sementes produzidas.

Capítulo III

Rendimento de sementes do trigo no Brasil: Abordagem fenotípica e genética predita no posicionamento de cultivares

4.1 Introdução

A cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) apresenta-se amplamente difundida nas mais variadas regiões brasileiras, onde assume um importante papel estratégico na economia e no agronegócio. A crescente demanda por alimentos resulta na necessidade de desenvolver cultivares com altos rendimentos, bem como, deve-se aprimorar as estratégias e manejos empregados na cultura (BENIN et al., 2012). Neste contexto, é notória a importância de recomendar fidedignamente uma determinada cultivar para condições específicas de cultivo, pois os principais caracteres de interesse agrônomo e o rendimento de sementes são determinados por efeitos genéticos e de ambiente, bem como, pela ação conjunta dos efeitos atribuídos a interação genótipos x ambientes (G x E) (WOYANN et al., 2018).

Devido aos vários fatores que influenciam o posicionamento de qual cultivar deve ser desenvolvida para condições específicas de cultivo, torna-se necessário empregar e adaptar modelos biométricos para obter estimativas acuradas e fidedignas, minimizando as distorções impostas pelos vieses intrínsecos às mensurações fenotípicas. A expressão fenotípica do rendimento de sementes do trigo é decorrente de mais de 80% devido aos efeitos do ambiente de cultivo, desta maneira, devido à expressividade destes efeitos nas estimativas é possível obter predições dos valores genéticos com precisão, para então posicionar as cultivares fidedignamente para as mais variadas regiões tritícolas brasileiras (BORNHOFEN et al., 2017).

As metodologias biométricas multivariadas são consideradas ótimas alternativas para representar os efeitos aditivos e multiplicativos envolvidos na interação G x E, bem como, possibilitam a decomposição da variação total do caráter de interesse em frações explicáveis e apresentáveis em dimensões conhecidas e gráficas. A metodologia *Additive Main effects and Multiplicative Interaction* (AMMI) compila as variações impostas pela interação G x E em componentes significativos (EPCA), onde permite evidenciar as premissas de uma cultivar altamente produtiva, estável e responsiva aos ambientes

favoráveis (NDHLELA et al., 2014). O modelo *Genotype Main Effects and Genotype Environment Interaction* (GGE) permite agrupar os ambientes correlacionados e definir macroambientes de cultivo, bem como, revela quais são as cultivares de alto desempenho que potencializam a expressão do rendimento de sementes, dentre suas premissas não permite associar cultivares a quaisquer ambiente quando sua média for inferior à média de cada ambiente testado (YAN et al., 2016).

Mesmo com a disponibilidade de metodologias biométricas avançadas que possibilitam obter estimativas acuradas, estas podem ser influenciadas por vieses intrínsecos ao modelo estatístico. Diante disto, uma abordagem que pode minimizar estes efeitos é o uso de estimativas dos componentes de variância e parâmetros genéticos, bem como, as predições (REML/BLUP) que possibilitam compreender a fração genética determinante para a expressão fenotípica, e posteriormente utilizar estes parâmetros nas predições do valor genético de cada cultivar avaliada (PIMENTEL et al., 2014). Ao possuir estas estimativas e predições torna-se passível empregá-las em modelos multivariados para direcionar e recomendar as melhores cultivares e ambientes de cultivo.

Neste contexto, este trabalho teve por objetivo determinar as estimativas de estabilidade e adaptabilidade através das metodologias de AMMI e GGE, bem como, estimar e predizer os parâmetros REML/BLUP e empregá-los em modelos multivariados utilizando cultivares de trigo cultivadas nas principais regiões tritícolas do Brasil.

4.2 Material e métodos

Os experimentos foram conduzidos em 12 regiões tritícolas do Brasil, compreendendo os estados do Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso organizado em esquema fatorial, sendo 12 ambientes de cultivo (E) x nove cultivares de trigo (G), dispostos em três repetições. As cultivares (G) utilizados foram: G_1 (BRS 327), G_2 (BRS 331), G_3 (FPS Certero), G_4 (FPS Nitron), G_5 (FPS Virtude), G_6 (FPS Amplitude), G_7 (Marfim), G_8 (TBIO Iguaçu) e G_9 (TBIO Makto), os ambientes de cultivo testados foram: E_1 (São Gabriel – RS), E_2 (Cachoeira do Sul - RS), E_3 (Cruz Alta – RS), E_4 (São Luiz Gonzaga – RS), E_5 (Santo Augusto – RS), E_6 (Passo Fundo – RS), E_7 (Ponta Grossa – PR), E_8 (Pato Branco – PR), E_9 (Cascavel – PR), E_{10} (Nova Fátima – PR), E_{11} (Itapeva – SP) e E_{12} (Dourados – MS).

Descrição dos ambientes:

- **E1-São Gabriel – RS** (Localiza-se à latitude 30°20'09" sul e à longitude 54°10'21" oeste, estando à altitude de 159 metros).
- **E2-Cachoeira do Sul – RS** (Localiza-se à latitude 30°17'52" sul e à longitude 52°57'54" oeste, estando à altitude de 113 metros).
- **E3- Cruz Alta – RS** (Localiza-se à latitude 28°38' 19" sul e à longitude 53°36'23" oeste, estando à altitude de 452 metros).
- **E4- São Luiz Gonzaga – RS** (Localiza-se à latitude 28°24'42" sul e à longitude 54°45'45" oeste, estando à altitude de 270 metros).
- **E5- Santo Augusto – RS** (Localiza-se à latitude 27°54'47" sul e à longitude 53°49'04"oeste, estando à altitude de 503 metros).
- **E6- Passo Fundo – RS** (Localiza-se à latitude 28°13'17" sul e à longitude 52°19'39" oeste, estando à altitude de 709 metros).
- **E7- Ponta Grossa – PR** (Localiza-se à latitude 25°05'42" sul e à longitude 50°09'43"oeste, estando à altitude de 969 metros).
- **E8- Pato Branco – PR** (Localiza-se à latitude 26°13'42" sul e à longitude 52°40'14"oeste, estando à altitude de 770 metros).
- **E9- Cascavel – PR** (Localiza-se à latitude 24°57'20" sul e à longitude 53°27'19"oeste, estando à altitude de 786 metros).
- **E10- Nova Fátima – PR** (Localiza-se à latitude 23°25'57" sul e à longitude 50°33'55"oeste, estando à altitude de 651 metros).
- **E11- Itapeva – SP** (Localiza-se à latitude 23°58'56" sul e à longitude 48°52'32" oeste, estando à altitude de 684 metros).
- **E12- Dourados – MS** (Localiza-se à latitude 22°13'16" sul e à longitude 54°48' 20" oeste, estando à altitude de 430 metros).

As unidades experimentais foram constituídas por cinco linhas de semeadura espaçadas por 0,20 metros e cinco metros de comprimento. A semeadura foi realizada na primeira quinzena do mês de junho (critério padrão para todos os ambientes de cultivo). A densidade populacional utilizada foi de 330 sementes viáveis por metro quadrado, o manejo nutricional foi baseado em 250 kg ha⁻¹ de NPK (08-25-20) na semeadura, com 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio por cobertura (Ureia: 46% de nitrogênio)

aplicado no estágio de pleno afilamento. O controle de plantas daninhas, insetos-praga e doenças foram procedidos com a finalidade de minimizar os efeitos bióticos no experimento. O rendimento de sementes (RS) foi mensurado através da colheita da área útil de cada unidade experimental (5,0 m²), posteriormente a massa de sementes foi adequada para 13% de umidade e ajustada para kg ha⁻¹.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade onde se verificou as pressuposições, aditividade do modelo, normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias (RAMALHO et al., 2000). Posteriormente, procedeu-se a identificação da interação entre ambientes de cultivo x cultivares de trigo a 5% de probabilidade. Na presença de interação G x E significativa empregou-se o método de AMMI que combina as variâncias dos efeitos aditivos das cultivares e ambientes de cultivo com aos efeitos multiplicativos da interação G x E, que posteriormente os escores obtidos foram representados em gráficos *biplot* através da metodologia multivariada dos componentes principais (ZOBEL et al., 1988). O modelo AMMI foi realizado com base nas inferências fenotípicas do rendimento de sementes.

$$Y_{ij} = \mu + g_i + e_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \rho_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

onde,

Y_{ij} : representa a resposta média das unidades experimentais da i -ésima cultivar (i) no j -ésimo ambiente de cultivo (j);

μ : corresponde a média geral das cultivares nos ambientes de cultivo;

g_i : apresenta-se como o efeito principal atribuído a cultivar i ;

a_j : representa o efeito principal do ambiente de cultivo j ;

λ_k , γ_{ik} e α_{jk} : correspondem aos termos referentes a decomposição da matriz G x E que captura o padrão associado à interação da cultivar i com o ambiente de cultivo j , pondera os desvios aditivos do caráter de interesse (Y_{ij}) em relação aos efeitos principais do g_i e a_j ;

ρ_{ij} : representa o ruído que será eliminado da análise relativa a interação G x E;

ε_{ij} : corresponde ao erro experimental (DUARTE & VENCOVSKY, 1999).

O método GGE conjuga os efeitos atribuídos as cultivares testadas e da interação G x E (YAN et al., 2000). Viabiliza a identificação da cultivar com elevado desempenho sendo este eficiente em um determinado ambiente de cultivo testado, da mesma

maneira, permite a formação de macroambientes (WOYANN et al., 2016). O modelo GGE foi realizado com base nas inferências fenotípicas da produção de sementes.

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \xi_{1j} n_{1j} + \lambda_2 \xi_{2j} n_{2j} + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

onde,

Y_{ij} : representa a magnitude esperada referente a cultivar i cultivada no ambiente j ;

μ : corresponde à média geral das observações Y_{ij} ;

β_j : evidencia-se como o efeito principal atribuído ao ambiente de cultivo j ;

λ_1 e λ_2 : correspondem aos escores principal (PC I) e secundário (PC II) determinantes para a expressão gráfica através dos componentes principais biplot;

ξ_{1j} e ξ_{2j} : evidenciam-se como os autovetores que representam a cultivar i nos eixos das abscissas do PC I e PC II;

ε_{ij} : expressa o resíduo não ajustado dos efeitos do modelo estatístico.

Realizou-se o método baseado na Máxima Verossimilhança Restrita (REML) com a finalidade de estimar os componentes de variância e parâmetros genéticos, onde a significância foi obtida através da análise de *Deviance* a 5% de probabilidade pelo teste do qui-quadrado (RESENDE, 2007). Para isto utilizou-se o modelo estatístico:

$$Y = Xr + Zg + Wi + e, \quad (1)$$

onde,

y : é o vetor de dados,

r : são os efeitos das repetições (fixos),

g : são os efeitos genotípicos (aleatórios),

i : são os efeitos da interação genótipos x ambientes (aleatórios),

e : são os resíduos (aleatórios).

Desta forma, estimou-se a variância genotípica (σ^2G), variância da interação genótipos x ambientes (σ^2INT), variância fenotípica (σ^2F), variância residual (Ve), herdabilidade com sentido amplo da média da cultivar (\hat{h}^2mg), acurácia para a seleção das cultivares ($Acgen$), coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos x ambientes (C^2INT), correlação genotípica entre o desempenho dos ambientes ($rgloc$), coeficiente de variação genotípico (CVg), coeficiente de variação residual (CVe) e a

média geral dos caracteres. As estimativas e predições REML/BLUP foram empregadas ao método multivariado GGE, para obter inferências baseadas em efeitos genéticos e denominou-se de abordagem GGE genética predita. Para a confecção das análises estatísticas utilizou-se os softwares Statistical Analysis System® (SAS, 1989), GENES (CRUZ, 2013), R (R CORE TEAM, 2015[®]) e Selegen (RESENDE, 2007).

4.3 Resultado e discussão

A análise de variância revelou interação significativa entre os ambientes de cultivos x cultivares de trigo para o rendimento de sementes a 5% de probabilidade, dentre os fatores de variação constatou-se que o ambiente de cultivo influenciou a variação total do caráter em mais de 90%, estes resultados possibilitam estimar a estabilidade e adaptabilidade das cultivares de trigo frente aos ambientes testados, nestas condições obteve-se coeficiente de variação de 11,57% apresentando-se baixo, o que reflete em estimativas fidedignas, tendo o experimento como média geral 3691 kg ha⁻¹ de sementes (Tabela 6).

Tabela 6- Análise de variância (ANOVA) para o rendimento de sementes do trigo, escores da adaptabilidade e estabilidade multivariada (AMMI), referentes a nove cultivares de trigo (G) cultivadas em 12 ambientes nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo, Brasil.

Rendimento de sementes (kg ha ⁻¹)						
ANOVA			ANOVA (AMMI)			
FV	GL	QM	FV	GL	SQ	QM
Ambiente de cultivo (A)	11	52438011,7*	Ambiente de cultivo	8	12584551	1573068,86
Cultivares (G)	8	4719206,6*	Cultivares	11	1,92E+08	17479337,24
E x G	88	725645,3*	Interação E x G	88	21285596	241881,77*
Blocos/Ambientes de cultivo	24	278083,2	EPCA I	18	8740667	485592,61*
CV (%)		11,57	EPCA II	16	4246233	265389,58*
R ²		0,95	EPCA III	14	3518516	251322,58*

Sigla	Ambientes	Média (kg ha ⁻¹)	EPCA I	EPCA II	EPCA III
			41,06%	19,94%	16,53%
E ₁	São Gabriel - RS	3072	-44,50	-3,49	10,66
E ₂	Cachoeira do Sul - RS	4889	10,11	-9,35	6,40
E ₃	Cruz Alta - RS	3835	-9,09	1,33	-8,88
E ₄	São Luiz Gonzaga - RS	5655	0,95	10,16	-9,40
E ₅	Santo Augusto - RS	5568	8,88	1,22	-23,53
E ₆	Passo Fundo - RS	2670	-12,04	-17,35	-9,26
E ₇	Ponta Grossa - PR	3700	9,88	6,98	3,87
E ₈	Pato Branco - PR	2107	14,38	-7,12	20,94
E ₉	Cascavel - PR	4446	8,78	-22,59	-0,96
E ₁₀	Nova Fátima - PR	4698	12,37	2,69	15,12
E ₁₁	Itapeva - SP	1627	-3,80	29,53	7,96
E ₁₂	Dourados - MS	2033	4,06	7,98	-12,91

Cultivares (G)					
G ₁	BRS 337	3972	-21,13	12,76	25,47
G ₂	BRS 331	3299	-9,22	22,33	-4,70
G ₃	FPS Certero	4184	0,94	-14,46	8,49
G ₄	FPS Nitron	3271	-15,38	10,43	-17,84
G ₅	FPS Virtude	3260	30,56	6,34	-17,00
G ₆	FPS Amplitude	4017	10,86	-13,78	1,56
G ₇	Marfim	3525	-1,21	5,14	-6,95
G ₈	TBIO Iguaçu	3730	-21,39	-28,70	-8,90
G ₉	TBIO Makto	3966	25,98	-0,07	19,86

Additive main effects and multiplicative interaction analysis (AMMI)

O primeiro eixo dos componentes principais (EPCAI) foi responsável por representar 41,06% dos efeitos gerais atribuídos a interação G x E, a magnitude dos efeitos para o caráter rendimento de sementes é justificável devido este caráter ser controlado por um grande número de genes responsáveis pela expressão fenotípica, baixa herdabilidade, distribuição contínua e grande efeito do ambiente de cultivo (YOKOMIZO et al., 2013). Pesquisas realizadas em 10 ambientes de cultivo e 42 cultivares de trigo revelaram 86,2% de capitalização dos efeitos da interação G x E através do primeiro componente principal (EPCA) para estimar a adaptabilidade e estabilidade das cultivares referentes ao rendimento de sementes (SZARESKI et al., 2017).

Ao considerar a contribuição dos componentes principais (EPCA), apresentou-se significância a 5% de probabilidade para o EPCA I (41,06%) EPCA II (19,94%) e EPCA III (16,53%), conjuntamente os três primeiros componentes principais significativos inferem 77,53% de informações referentes a fração padrão extraída dos efeitos totais da interação G x E. Para a adequada representação gráfica dos escores nos componentes principais (EPCA I, II, III) é necessário a independência destes eixos, para proporcionar as menores tendenciosidades e maximizar a interpretação correta das inferências sobre os ambientes de cultivo e cultivares estudadas (SILVEIRA et al., 2016).

O gráfico *biplot* referente ao AMMI (EPCA I) representou 41,06% da interação G x E, onde os ambientes E₄ (São Luiz Gonzaga - RS), E₁₁ (Itapeva - SP) e E₁₂ (Dourados - MS) apresentaram-se estáveis e previsíveis, estes contribuíram minimamente para a interação G x E (Tabela 6; Figura 7 A). Entretanto, mesmo sendo estes considerados estáveis devem possuir alto rendimento de sementes, isto foi evidenciado através do ambiente E₄ (São Luiz Gonzaga - RS). Em relação aos ambientes E₂ (Cachoeira do Sul - RS), E₃ (Cruz Alta - RS), E₅ (Santo Augusto - RS), E₇ (Ponta Grossa - PR), E₉ (Cascavel - PR) e E₁₀ (Nova Fátima - PR) foram considerados ambientes instáveis, não previsíveis, mas de alto rendimento de sementes.

Para os efeitos atribuídos as cultivares, menores influências à interação G x E foram destacadas a G₃ (FPS Certero) e G₇ (Marfim), sendo a primeira considerada como uma cultivar superior para este caráter. Duarte e Vencovski (1999), definiram que

cultivares instáveis com elevado rendimento de sementes não devem ser descartados em função da sua adaptabilidade específica a determinados ambientes, fato evidenciado para as cultivares (G) G₆ (FPS Amplitude), G₁ (BRS 327), G₉ (TBIO Makto) e G₈ (TBIO Iguaçu) (Tabela 6; Figura 6 A).

Adaptabilidade específica foi verificada através das cultivares G₃ (FPS Certero), G₆ (FPS Amplitude) e G₉ (TBIO Makto) para os ambientes E₂ (Cachoeira do Sul – RS), E₄ (São Luiz Gonzaga – RS), E₅ (Santo Augusto – RS), E₉ (Cascavel – PR) e E₁₀ (Nova Fátima – PR). As cultivares (G) G₁ (BRS 327) e G₈ (TBIO Iguaçu) foram posicionadas para o cultivo no ambiente E₃ (Cruz Alta – RS), para as cultivares G₂ (BRS 331), G₄ (FPS Nitron) e G₇ (Marfim) indicou-se os ambientes E₆ (Passo Fundo – RS) e E₁₁ (Itapeva – SP), bem como, a cultivar G₅ (FPS Virtude) aos ambientes E₇ (Ponta Grossa – PR), E₈ (Pato Branco – PR) e E₁₂ (Dourados – MS).

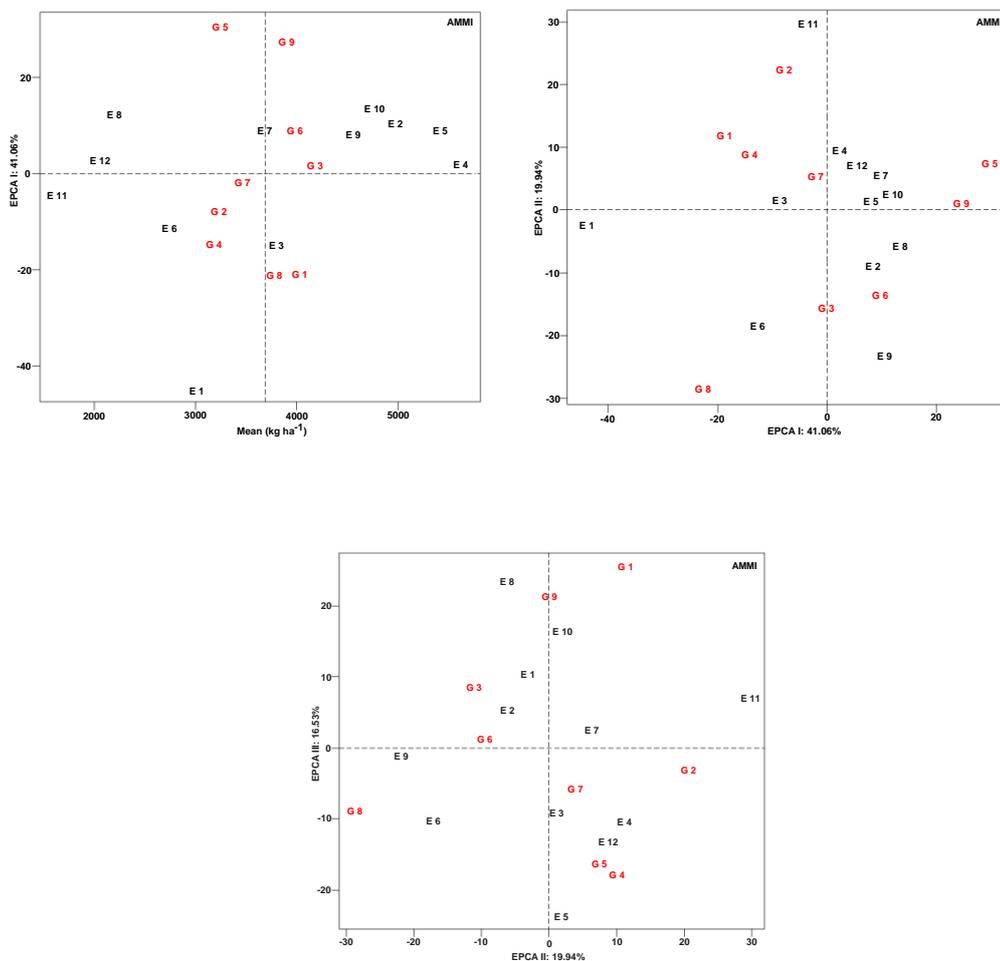


Figura 6- Plotagem dos escores dos componentes principais EPCA I, EPCA II e EPCA III referentes à interação genótipos x ambientes obtidos pelo método de AMMI para o rendimento de sementes de trigo, referentes a nove cultivares (G) cultivados em 12 ambientes (E) nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo. Sendo: E₁-São Gabriel – RS, E₂-Cachoeira do Sul – RS, E₃- Cruz Alta – RS, E₄- São Luiz Gonzaga – RS, E₅- Santo Augusto – RS, E₆- Passo Fundo – RS, E₇- Ponta Grossa – PR, E₈- Pato Branco – PR, E₉- Cascavel – PR, E₁₀- Nova Fátima – PR, E₁₁- Itapeva – SP, E₁₂- Dourados – MS. Cultivares: G₁(BRS 327), G₂(BRS 331), G₃(FPS Certero), G₄(FPS Nitron), G₅(FPS Virtude), G₆(FPS Amplitude), G₇(Marfim), G₈(TBIO Iguaçu) e G₉(TBIO Makto).

O gráfico *biplot* referente ao AMMI (EPCA II) representou 19,94% dos efeitos atribuídos à interação G x E, possibilita inferir a estabilidade e previsibilidade para o ambiente E₁ (São Gabriel - RS), contudo, obtém baixo rendimento de sementes. Instabilidades foram evidenciadas para as cultivares G₂ (BRS 331) e G₈ (TBIO Iguaçu) que contribuíram altamente aos efeitos da interação G x E (Tabela 6; Figura 6 B). O gráfico *biplot* referente ao AMMI (EPCA III) representou 16,53% dos efeitos da interação G x E, onde se atribuiu como instáveis e de baixo rendimento de sementes os ambientes E₆ (Passo Fundo - RS) e E₈ (Pato Branco - PR), comportamento similar foi verificado para as cultivares G₄ (FPS Nitron) e G₅ (FPS Virtude) (Tabela 6; Figura 6 C).

Genotype main effects and Genotype environment interaction (GGE - Fenotípico)

A visualização do melhor desempenho de um determinada cultivar em cada ambiente testado pode ser obtida interligando os escores atribuídos as cultivares localizadas nas coordenadas extremas do gráfico biplot, formando um polígono relativo ao máximo desempenho (YAN & KANG, 2003; YAN & TINKER, 2006). Esse polígono revela qual a melhor cultivar para cada ambiente (ALWALA et al., 2010). Quando as cultivares estão localizados internamente ao macroambiente são definidas como adaptadas especificamente àqueles ambientes, desta forma, ao identificar que diferentes cultivares são adaptadas especificamente a grupos de ambientes, estes possibilitam a formação de um macroambiente (YAN & KANG, 2003). A definição de macroambiente é atribuída pela relação entre as características edafoclimáticas e manejos intrínsecos aos ambientes, pois sua definição permite indicar cultivares de adaptabilidade ampla ou específica a determinados ambientes ou grupos de ambientes (TRETOWAN et al., 2001).

O método GGE possibilita compreender os macroambientes e a ausência de relação entre a média gráfica com a média geral (YAN & TINKER, 2006). A abordagem fenotípica (GGE - Fenotípica) revelou a formação de quatro macroambientes e explicabilidade de 61% dos efeitos diferenciais da interação G x E. O macroambiente I

foi composto pelos ambientes E₄ (São Luiz Gonzaga – RS) e E₁₁ (Itapeva – SP), sendo considerado de alto desempenho para o rendimento de sementes do ambiente E₁₁ (Itapeva – SP), nestas condições o macroambiente reuniu as cultivares (G) G₂ (BRS 331) e G₇ (Marfim), sendo a primeira considerada de alto desempenho para estes ambientes correlacionados e localizados no vértice do polígono (Figura 7; GGE).

Tabela 7- Médias e escores de PC (componente principal) Fenotípico e Genético predito, referente ao método GGE (*Genotype main effects and genotype environment interaction*), componentes de variância e parâmetros genéticos (REML) referentes a nove cultivares (G) de trigo cultivadas em doze ambientes (E) nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo, Brasil.

GGE		Fenotípico			Genético Predito		
Sigla	Ambientes (E)	Média	PC I	PC II	Média	PC I	PC II
			41,06%	19,94%		57,89%	20,76%
E ₁	São Gabriel - RS	3072	1,40	-0,11	3072	0,63	1,22
E ₂	Cachoeira do Sul - RS	4889	-0,31	-0,29	4889	0,68	-0,26
E ₃	Cruz Alta - RS	3835	0,28	0,04	3835	0,38	0,24
E ₄	São Luiz Gonzaga - RS	5655	-0,03	0,32	5655	0,25	-0,03
E ₅	Santo Augusto - RS	5568	-0,28	0,03	5568	0,19	-0,25
E ₆	Passo Fundo - RS	2670	0,38	-0,54	2670	0,60	0,33
E ₇	Ponta Grossa - RS	3700	-0,31	0,22	3700	0,50	-0,26
E ₈	Pato Branco - PR	2107	-0,45	-0,22	2107	0,86	-0,37
E ₉	Cascavel - PR	4446	-0,27	-0,71	4446	0,72	-0,22
E ₁₀	Nova Fátima - PR	4698	-0,39	0,08	4698	0,71	-0,32
E ₁₁	Itapeva - SP	1627	0,12	0,93	1627	0,33	0,09
E ₁₂	Dourados - MS	2033	-0,12	0,25	2033	0,24	-0,11
Cultivares (G)							
G ₁	BRS 327	3972	0,66	0,40	3961	0,51	0,59
G ₂	BRS 331	3299	0,29	0,70	3314	-0,75	0,23
G ₃	FPS Certero	4184	-0,02	-0,45	4165	0,89	0,00
G ₄	FPS Nitron	3271	0,48	0,32	3288	-0,81	0,39
G ₅	FPS Virtude	3260	-0,96	0,20	3277	-0,78	-0,85
G ₆	FPS Amplitude	4017	-0,34	-0,43	4004	0,59	-0,28
G ₇	Marfim	3525	0,03	0,16	3531	-0,32	0,02
G ₈	TBIO Iguaçú	3525	0,67	-0,90	3729	0,12	0,59
G ₉	TBIO Makto	3966	-0,82	0,00	3956	0,54	-0,69
Componentes de variância e parâmetros genéticos (REML)							
LRT- + 127,5		Deviance significativa a 1 e 5% de probabilidade					
σ^2_F	Variância fenotípica					474664,65	
σ^2_G	Variância genotípica					110932,82	
σ^2_{INT}	Variância da interação genótipos x ambientes					180944,54	
Ve	Variância residual					182787,29	
h^2_{mg}	Herdabilidade com sentido amplo					0,23	
Acgen	Acurácia da seleção					0,91	
C ² INT	Coeficiente de determinação dos efeitos da interação					0,38	
Rgloc	Correlação genotípica entre o desempenho nos vários ambientes					0,38	
CVg (%)	Coeficiente de variação genotípico					9,02	
Cve (%)	Coeficiente de variação residual					11,58	
Média Geral						3691,99	

O macroambiente II permitiu reunir os ambientes E₁ (São Gabriel – RS), E₉ (Cascavel – PR) e E₆ (Passo Fundo – RS), que estabeleceu os ambientes E₁(São Gabriel

– RS) e E₉ (Cascavel – PR) como de alto desempenho. Nesta situação, se posiciona as cultivares (G) G₃ (FPS Certero) e G₈ (TBIO Iguaçu), sendo a segunda caracterizada como de alto desempenho. O macroambiente III foi composto por apenas o ambiente E₃ (Cruz Alta – RS) e reuniu as cultivares G₁ (BRS 327) e G₄ (FPS Nitron), sendo a primeira de alto desempenho. O macroambiente IV associou os ambientes E₅ (Santo Augusto – RS), E₇ (Ponta Grossa – PR), E₈ (Pato Branco – PR), E₁₀ (Nova Fátima – PR) e E₁₂ (Dourados – MS), proporcionando recomendar as cultivares G₅ (FPS Virtude) e G₉ (TBIO Makto) como de adaptabilidade ampla a este conjunto de ambientes, sendo ambas de elevado potencial.

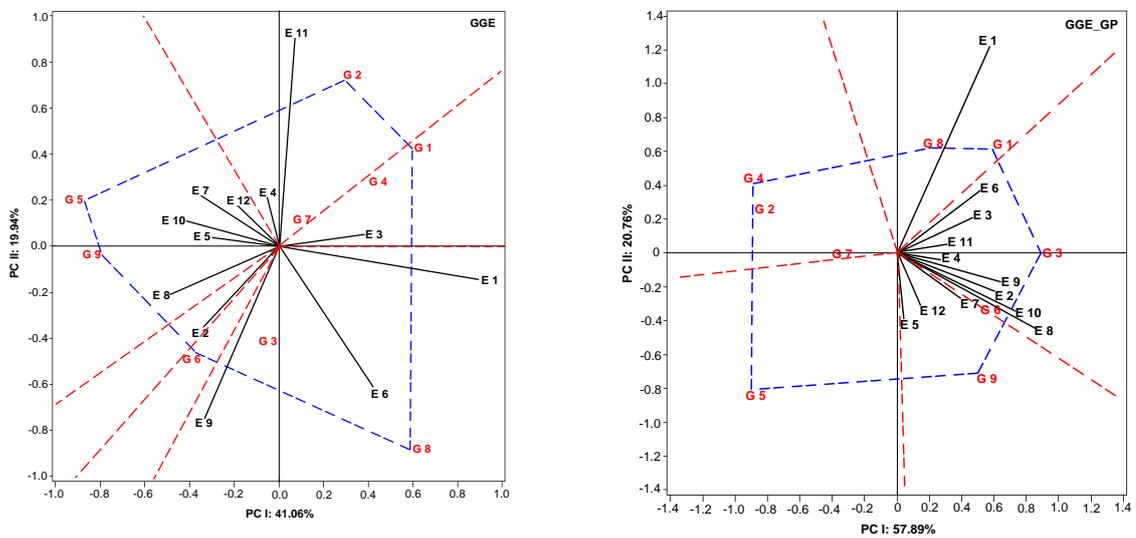


Figura 7- Plotagem dos escores dos componentes principais quanto à classificação das cultivares (G) com base em seu desempenho através do método GGE para o rendimento de sementes de nove cultivares de trigo cultivadas em 12 ambientes (E), nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo. Sendo: E₁-São Gabriel – RS, E₂-Cachoeira do Sul – RS, E₃- Cruz Alta – RS, E₄- São Luiz Gonzaga – RS, E₅- Santo Augusto – RS, E₆- Passo Fundo – RS, E₇- Ponta Grossa – PR, E₈- Pato Branco – PR, E₉- Cascavel – PR, E₁₀- Nova Fátima – PR, E₁₁- Itapeva – SP, E₁₂- Dourados – MS. Cultivares: G₁(BRS 327), G₂(BRS 331), G₃(FPS Certero), G₄(FPS Nitron), G₅(FPS Virtude), G₆(FPS Amplitude), G₇(Marfim), G₈(TBIO Iguaçu) e G₉(TBIO Makto).

Foram necessários seis cultivares para formar o polígono (Figura 7; GGE) responsável pela indicação de quais cultivares evidenciam alto desempenho produtivo, sendo estas, G₁ (BRS 327), G₂ (BRS 331), G₅ (FPS Virtude), G₆ (FPS Amplitude), G₈ (TBIO Iguaçu) e G₉ (TBIO Makto). De modo geral, os ambientes de cultivo que se destacaram foram E₁ (São Gabriel – RS), E₉ (Cascavel – PR) e E₁₁ (Itapeva – SP).

Componentes de variância e parâmetros genéticos

As estimativas dos componentes de variância e parâmetros genéticos obtidos através da Máxima Verossimilhança Restrita (REML) revelaram que a variância genotípica (σ^2G) determinou em 23,37% a manifestação fenotípica (σ^2F) do rendimento de sementes (Tabela 7), o incremento da variância genotípica influencia diretamente os efeitos da interação $G \times E$ (ANNICCHIARICO, 2002; SILVA et al., 2011). O rendimento de sementes (σ^2F) foi influenciado por 38,12% devido aos efeitos da interação $G \times E$ (C^2INT), e os efeitos diferenciais da interação foram determinados por 61,30% devido aos efeitos genéticos totais.

Através da herdabilidade com sentido amplo (h^2mg) foi possível constatar que o ambiente de cultivo influenciou em 77% a expressão fenotípica do rendimento de sementes. Estes efeitos podem ser comprovados pela natureza genética deste caráter, pois é controlada por muitos genes que modificam sua expressão devido as variações impostas pelo ambiente de cultivo (BORGES et al., 2010; PHIEPO et al., 2012). Pesquisas de Szarecki et al. (2017), avaliando 42 genótipos de trigo em duas safras agrícolas no estado do Rio Grande do Sul verificaram que os efeitos do ambiente de cultivo foram responsáveis por 88% do rendimento de sementes, para Benin et al. (2012), 73% da manifestação fenotípica do rendimento do trigo no estado do Paraná foi decorrente dos efeitos do ambiente. O experimento revelou elevada acurácia (Acgen: 0,91) e proporciona adequada qualidade dos resultados obtidos e permite fazer inferências com segurança, bem como, posicionar com fidedignidade quais foram as melhores cultivares (RESENDE, 2007). A correlação genética entre as cultivares perante os ambientes de cultivo (rgloc) foi baixa e indica que os efeitos diferenciais da interação $G \times E$ são de natureza complexa, que podem dificultar as estratégias de seleção e o posicionamento de algumas cultivares para o rendimento de sementes frente aos ambientes testados (ROSADO et al., 2012; PUPIN et al., 2015).

O coeficiente de variação genotípico (CVg) possibilita quantificar a fração genética determinante para a variação total do caráter de interesse, este evidenciou-se alto (9,2%) e comprova a presença de variabilidade genética para as cultivares de trigo. No entanto, ao relacionar os coeficientes de variação genético e residual observou-se razão (CVg/CVe) inferior a 1.0, nestas condições as estratégias de seleção das melhores cultivares utilizando os parâmetros genéticos previamente estabelecidos pode ser uma tarefa difícil. Elevados coeficientes de variação genotípicos indicam maior possibilidade

de seleção de cultivares superiores (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992; RESENDE e DUARTE, 2007).

Genotype main effects and Genotype environment interaction (GGE – Genético predito)

Esta abordagem consiste em utilizar o valor genético predito (BLUP) para nortear as inferências obtidas pelo modelo multivariado GGE, possibilitando minimizar os vieses atribuídos aos efeitos do ambiente (Tabela 7; Figura GGE_GP), desta maneira, este modelo adaptado permitiu explicar 78.6% dos efeitos diferenciais da interação G x E. Graficamente, foi possível identificar a formação de três macroambientes. Mesmo havendo ambientes contrastantes neste estudo, esta abordagem permitiu reuni-los no mesmo macroambiente, isto se deve pelo princípio do modelo genético predito minimizar o viés atribuído as características não controláveis, sendo benéfico ao posicionamento das melhores cultivares de trigo, com a menor probabilidade de haver equívocos na recomendação destas a ambientes específicos.

Nestas condições, o macroambiente I foi caracterizado por apenas um ambiente E₁ (São Gabriel – RS), sendo este considerado de alto desempenho no âmbito geral, onde reuniu as cultivares G₁ (BRS 327) e G₈ (TBIO Iguaçu). O macroambiente II foi composto pelos ambientes E₂ (Cachoeira do Sul – RS), E₃ (Cruz Alta – RS), E₄ (São Luiz Gonzaga – RS), E₆ (Passo Fundo – RS), E₈ (Pato Branco – PR), E₁₀ (Nova Fátima – PR) e E₁₁ (Cachoeira do Sul – RS), onde se estabeleceu que os ambientes E₈ (Pato Branco – PR) e E₁₀ (Nova Fátima – PR) foram de alto desempenho genético predito para o rendimento de sementes de trigo. O macroambiente III foi responsável por reunir os ambientes E₅ (Santo Augusto – RS), E₇ (Ponta Grossa – PR) e E₁₂ (Dourados – MS) onde se definiu que a cultivar G₉ (TBIO Makto) apresentou alta potencialidade genética para a produção de sementes e pode ser considerada de adaptabilidade ampla as regiões brasileiras testadas. As cultivares G₂ (BRS 331), G₄ (FPS Nitron) e G₅ (FPS Virtude) apresentaram-se de alto desempenho, porém, não foram relacionadas a nenhum ambiente de cultivo específico, mas a cultivar G₇ (Marfim) expressou baixo desempenho genético predito e ausência de relação específica com os ambientes testados.

Nesta abordagem foram necessários sete cultivares para compor o polígono de alto desempenho para o rendimento de sementes do trigo, sendo estas, G₁ (BRS 327), G₂ (BRS 331), G₃ (FPS Certero), G₄ (FPS Nitron), G₅ (FPS Virtude), G₈ (TBIO Iguaçu) e

G₉ (TBIO Makto), todas estas cultivares foram destinados ao cultivo em ambientes específicos (Figura 3 GGE_GP). De maneira geral, os ambientes de cultivo que revelaram alto desempenho foram E₁ (São Gabriel – RS), E₈ (Pato Branco – PR) e E₁₀ (Nova Fátima – PR).

AMMI x GGE Fenotípico x GGE Genético predito

O uso das metodologias biométricas multivariadas em conjunto, possibilitam proceder com fidedignidade a seleção e indicar quais as melhores cultivares para determinadas condições ou ambientes de cultivo nas mais variadas regiões tritícolas brasileiras. O método de AMMI possibilitou explicar através de três componentes principais 77.53% da variação imposta pela interação G x E sendo esta explicável pela fração padrão do modelo. Entretanto, a abordagem multivariada GGE Fenotípica capitalizou em dois componentes principais 61% da variação imposta pela interação G x E, em contrapartida, ao utilizar estimativas dos componentes de variância (REML), parâmetros genéticos e predições genéticas (BLUP) empregando-as ao modelo multivariado GGE genético predito possibilitou 78.65% de explicabilidade dos efeitos diferenciais da interação (Figura 7 GGE_GP). Portanto, é justificável o uso desta estratégia para melhor representar as variações em ensaios de grande representatividade.

Houve concordância entre as abordagens fenotípicas e genéticas preditas em função dos modelos de AMMI e GGE, que revelaram estabilidade e previsibilidade a cultivar G₇ (Marfim). Adaptabilidade específica foi evidenciada para as cultivares G₂ (BRS 331) e G₇ (Marfim) referentes ao ambiente de cultivo E₁₁ (Nova Fátima – PR), a cultivar G₃ (FPS Certero) foi intrínseca ao ambiente E₉ (Cascavel – PR), bem como, a cultivar G₁ (BRS 327) foi indicada para o ambiente E₃ (Cruz Alta – RS). A cultivar G₃ (FPS Certero) foi posicionada como de alto desempenho para os ambientes de cultivo E₂ (Cachoeira do Sul – RS), E₄ (São Luiz Gonzaga – RS) e E₁₀ (Nova Fátima – PR).

Este trabalho possibilitou inferir sobre os componentes de variância e parâmetros genéticos (REML), predições (BLUP), estabilidade e adaptabilidade através dos métodos de AMMI e GGE. Estas informações compiladas permitem desenvolver estratégias para o posicionamento das cultivares de trigo cultivadas nas principais regiões do Brasil. As inferências obtidas nesse estudo poderão auxiliar em futuras pesquisas voltadas às ciências agrárias e tecnologia de sementes, principalmente na definição da potencialidade das regiões tritícolas brasileiras para a produção de sementes de trigo.

3.4 Conclusões

A abordagem genética predita é superior a fenotípica em relação a explicabilidade dos efeitos da interação genótipos x ambientes para o rendimento de sementes do trigo no Brasil.

Adaptabilidade específica para a produção de sementes foi estabelecida através da abordagem fenotípica e genética predita para as cultivares BRS 331 e Marfim referentes aos ambientes Itapeva – SP, bem como, a cultivar FPS Certero ao ambiente Cascavel – PR e BRS 327 para o ambiente Cruz Alta – RS.

As cultivares BRS 327, FPS Certero, FPS Amplitude, TBIO Iguaçu e TBIO Makto são estabelecidas como de alto rendimento de sementes e adaptabilidade específica.

6. Considerações finais

Diante das estratégias biométricas aplicadas em campos de produção de sementes de soja e trigo, verificou-se que os caracteres fenotípicos, fisiológicos e de rendimento são fortemente modificados diante dos ambientes de produção e implicam em grandes variações diante dos reflexos da interação genótipos x ambientes, dificultando na tomada de decisão por partes dos produtores, quais devem avaliar de modo assertivo as cultivares que apresentam-se estáveis e adaptadas à sua região de cultivo independentemente de sua finalidade.

Com este estudo foi possível elucidar que a utilização do índice multivariado de vigor de sementes da soja, possibilita aos produtores de sementes tornar esta ferramenta de grande valia para a tomada de decisão no controle interno de qualidade, pois o índice é baseado em diferentes parâmetros adimensionais e possibilita à observação de uma tendência única garantindo o estabelecimento a campo.

O posicionamento estratégico de cultivares de trigo revelou os ambientes superiores em relação ao rendimento de sementes, assim como evidenciou a formação de macro-ambientes com cultivares específicas.

A partir deste estudo ficou evidenciado que a utilização da abordagem genética predita revela superioridade em relação a fenotípica na explicação dos melhores ambientes e cultivares, pois não leva em consideração distúrbios ambientais, de manejo e resíduos, consolidando assim apenas a fração genética, evitando erros comuns de má posicionamento estratégico.

Referências

ALLARD, Robert W.; BRADSHAW, Anda D. Implications of genotype environment interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, v. 04, n. 02, p. 503-507, 1964.

American Association of Cereal Chemists International. **Approved 445 Methods of Analysis** (11 th ed.). St Paul, MN, USA: AACCC International, 2010.

AMORIM, Edson Perito; RAMOS, Nilza Patricia; UNGARO, Regina Gonçalves; KIIHL, Tammy A. M. Correlações e análise de trilha em girassol. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 307-316, 2008.

ANNICCHIARICO, Paolo. Genotype x environment interactions: challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. **Food & Agriculture Org.**, 2002.

ARNON, Daniel I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant physiology**, v. 24, n. 1, p. 1, 1949.

AUMONDE, Tiago Zanatta; PEDÓ, Tiago; MARTINAZZO, E. G.; VILLELA, Francisco Amaral. Estresses ambientais e a produção de sementes: Ciência e Aplicação. Cópia Santa Cruz, 1 ed. Pelotas. 2017. 313p.

BAHRY, Carlos André; VENSKE, Eduardo; NARDINO, Maicon; FIN, Silvana Spaniol, ZIMMER, Paulo Dejalma; SOUZA, Velci Queiróz De; CARON, Brualio Otomar. Aplicação de ureia na fase reprodutiva da soja e seu efeito sobre os caracteres agrônômicos. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 7, n. 2, p. 9-14, 2013.

BALLARÉ, Carlos L.; SCOPEL, Ana L.; SÁNCHEZ, Rodolfo A. Plant photomorphogenesis in canopies, crop growth, and yield. **HortScience**, v. 30, n. 6, p. 1172-1181, 1995.

BARBIERI, Ana Paula Piccinin; MATTIONI, Nilson Matheus; HAESBAERT, Fernando Machado; ANDRADE, Fabricio Fuser; CABRERA, Indrid Cervo; MERTZ, Liliane Marcia. Teste de condutividade elétrica individual em sementes de soja e a relação com emergência de plântulas a campo. **Interciência** (Caracas), v. 38, p. 310-316, 2013.

BARROS, Alexandre Lahóz Mendonça de. **Capital, produtividade e crescimento da agricultura brasileira: o Brasil de 1970 a 1995**. 1999. 149p. Tese de Doutorado em Economia Aplicada – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1999.

BENIN, Giovani; PINNOW, Cilas; SILVA, Cristiano Lemes; PAGLIOSA, Eduardo Stefani; BECHE, Eduardo; BORNHOFEN, Elesandro; MUNARO, Lucas Berger; SILVA, Rafael Rossi. Análises biplot na avaliação de cultivares de trigo em diferentes níveis de manejo. **Bragantia**, v. 71, p. 28- 36, 2012.

BESPALHOK, João Carlos Filho; GUERRA, Edson Perez; OLIVEIRA, Ricardo. **Melhoramento de Plantas**, v. 204, p. 11-18, 2014. Disponível em <http://www.bespa.agrarias.ufpr.br>

BOARD, James E.; WIER, Alan T.; BOETHEL, David J. Soybean yield reductions caused by defoliation during mid to late seed filling. **Agronomy journal**, v. 86, n. 6, p. 1074-1079, 1994.

BONATO, Emídio Rizzo. **Estabilidade fenotípica da produção de grãos de dez cultivares de soja nas condições do Rio Grande do Sul**. 1978. 75 f. Dissertação de (mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Piracicaba.

BORGES, Vanderley.; SOARES, Antonio Alvez.; REIS, Moizés Souza; RESENDE, Marcos Deon Vilela; CORNÉLIO, Vanda Maria Oliveira; LEITE, Natalia Alvez; VIEIRA, Aantonio Rodrigues. Desempenho genotípico de linhagens de arroz de terras altas utilizando metodologia de modelos mistos. **Bragantia**, v. 69, p. 833-841, 2010.

BORNHOFEN, Elesandro; BENIN, Giovani; STORCK, Lindolfo; WOYANN, Leonarndo Guilherme; MARCHIORO, Volmir Sergio; STOCO, Matheus Giovani. Statistical methods to study adaptability and stability of wheat genotypes. **Bragantia** v. 76, p. 1-10, 2017.

BRADFORD, Marion. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principles of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 72, n. 1/2, p. 248-254, 1976.

BRASIL. Lei Nº 10.711, de 05 Agosto de 2013. Lei Federal de Sementes e Mudás. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF, 2013.

BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

BRENCHLEY, Rachel et al. Analysis of the bread wheat genome using whole-genome shotgun sequencing. **Nature**, v. 491, p. 705-710, 2012.

BRESSIANI, Joseane; ORO, Tatiana; SANTETTI, Gabriela S.; ALMEIDA, Juliano L.; BERTOLIN, Telma E.; GÓMEZ, Manuel; GUTKOSKI, Luiz C. Properties of whole grain wheat flour and performance in bakery products as a function of particle size. **Journal of Cereal Science**, v. 75, p. 269-277, 2017.

CAMPELO, Gilson Jesus de Azevedo; TEXEIRA NETO, Marcos Lopes; ROCHA, Carlos Magno Campos da. **Validação de plantio direto de soja sobre resíduo de milheto**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 1999.15p. (Embrapa Meio-Norte. Documento, 36).

CAMPELO, Gilson Jesus Azevedo; KIIHL, Romeu Afonso Souza; ALMEIDA, Leones Alves. Características agrônômicas e morfológicas das cultivares de soja desenvolvidas para as regiões de baixas latitudes. Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro, 15 p. Disponível em: www.cpatsa.embrapa.br/catalogo/livrorg/sojacultivares.pdf. Acesso em 13 de janeiro de 2019.

CAMPELO, Gilson Jesus de Azevedo et al. Introdução e evolução da soja. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. **A soja no Brasil**. Campinas: ITAL, 1981. p. 52-55.

CARVALHO, Claudio Guilherme Portela. et al. Interação genótipo x ambiente no desempenho produtivo da soja no Paraná. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 37, n. 07, p. 989-1000, 2002.

CARVALHO, Ivan Ricardo et al. Diallel and prediction (REML/BLUP) for yield components in intervarietal maize hybrids. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, p. 1-12, 2017.

CARVALHO, Ivan Ricardo; NARDINO, Maicon; DEMARI, Gustavo Henrique; BAHRY, Carlos André; SZARESKI, Vinicius Jardel; PELISSARI, Gustavo; FERRARI, Mauricio; PELEGRIN, Alan Junior; OLIVEIRA, Antonio Costa; MAIA, Luciano Carlos; SOUZA, Velci Queiroz. Bi-segmented regression, factor analysis and AMMI applied to the analysis of adaptability and stability of soybean. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 10, p. 1410, 2016..

CARVALHO, Ivan Ricardo; NARDINO, Maicon; SOUZA, Velci Queiroz de. **Melhoramento e cultivo da soja**, n. 1, ed Cidadela, Porto Alegre, 2017, 336 p.

CASAGRANDE, Elaine Cristina et al. Expressão gênica diferencial durante déficit hídrico em soja. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 2, p. 168-184, 2001.

CHARNET, Reinaldo; FREIRE, Clarice Azavedo de Luna; CHARNET, Eugênia M. Reginato; BONVINO, Heloísa. Análise de modelos de regressão linear com aplicações. **Campinas, São Paulo, Unicamp, 356p**, 1999.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira: grãos. Brasília, DF. Nov. 2019.** Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 11 nov. 2019.

COSTA, José Antonio. **Cultura da Soja**. Porto Alegre. Evangraf. 1996. 233p.

CRUZ, Cosme Damião, CARNEIRO, Pedro Crescêncio Souza, REGAZZI, Adair José. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: Editora da UFV, 2014.

CRUZ, Cosme Damião, REGAZZI, Adair José, CARNEIRO, Pedro Crescêncio Souza. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa: Editora da UFV, 2012.

CRUZ, Cosme Damião, CARNEIRO, Pedro Crescêncio Souza, REGAZZI, Adair José. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2004. 480p.

CRUZ, Cosme Damião, REGAZZI, Adair José. **Modelos biométricos aplicados no melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 1994. 390 p.

CRUZ, Cosme Damião. Genes: A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

CRUZ, Cosme Damião; FERREIRA, Fabio Medeiros; PESSONI, Luiz Alberto. Diversidade genética-Importância. In: CRUZ, Cosme Damião; FERREIRA, Fabio Medeiros; PESSONI, Luiz Alberto. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. Viçosa: Suprema, p. 2-28, 2011..

DA SILVA, Giovani Olegario et al. Verificação da adaptabilidade e estabilidade de populações de cenoura pelos métodos AMMI, GGE Biplot e REML/BLUP. **Bragantia**, v. 70, p. 494- 501, 2012.

DALCHIAVON, Flávio Carlos; CARVALHO, Morel Passos. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, 541-552, 2012.

DE ALMEIDA, Ricardo Dias; PELUZIO, Joêns Mucci; AFFERRI, Flávio Sérgio. Correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais em soja cultivada sob condições várzea irrigada, sul do Tocantins. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 1, 2010.

DE CARVALHO, Agnaldo Donizete Ferreira; NETO, Roberto Fritsche; GERALDI, Isaias Olívio. Estimation and prediction of parameters and breeding values in soybean using REML/BLUP and Least Squares. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 8, n. 3, 2008.

DE CARVALHO, Claudio Guilherme Portela et al. Correlações e análise de trilha em linhagens de soja semeadas em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 3, p. 311-320, 2002.

DE OLIVEIRA, Adriano Borges; DUARTE, João Batista; PINHEIRO, José Baldin. Emprego da análise AMMI na avaliação da estabilidade produtiva em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 3, p. 357-364, 2003.

DE RESENDE, Marcos Deon Vilela; DUARTE, João Batista. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, p. 182-194, 2007.

DE RESENDE, Marcos Deon Vilele. **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. 1ª Ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 57 p.

DE VASCONCELOS, Edmar Soares et al. Genetics parameters estimates of seeds physiologic quality of soybean genotypes grown in different areas of Minas Gerais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 65-76, 2012.

DOS SANTOS, Adriano et al. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão caupi ereto via REML/BLUP e GGE Biplot. **Bragantia**, v. 75, n. 3, p. 299-306, 2016.

DUARTE, João Batista; VENCOVSKY, Roland. **Interação genótipo x ambiente: uma introdução à análise “AMMI”**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60 p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Tecnologias de produção de soja - Paraná - 2003/04. Londrina: Embrapa Soja, 2003, 218p. (Sistemas de Produção, 3).

EMBRAPA SOJA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil – 2001/2002. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 276p.

FALCONER, Douglas Scott. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa, Imprensa Universitária, 279 p, 1987.

FAO Plant Production and Protection Paper – 174. **Food and Agriculture Org**. Rome.

FARIAS, José Renato Bouças; NEPOMUCENO, Alexandre Lima; NEUMAIER, Norman. **Agência Da Embrapa De Informação Tecnológica**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONT000fzr67crj02wx5ok0c-poo6ar6pq9g5.html>>. Acesso em 20 nov. 2019.

FARIAS, José Renato Bouças; NEUMAIER, Norman; NEPOMUCENO, Alexandre Lima. Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Agrometeorologia dos Cultivos. **O fator meteorológico na produção agrícola**, 1ª edição, Brasília- DF, 2009, 530p.

FONTOURA, Tatiana Brum; COSTA, José Antonio; DAROS, Edelclaiton. Efeitos de níveis e épocas de desfolhamento sobre o rendimento e os componentes do rendimento de grãos da soja. **Scientia Agraria**, v. 7, n. 1-2, p. 49-54, 2006.

GOMES, Carlos Nick et al. Caracterização morfoagronômica e coeficientes de trilha de caracteres componentes da produção em mandioca. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1121-1130, 2007.

HIRAKURI, Marcelo Hiroshi; LAZZAROTTO, Joelsio José. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. **Documentos Embrapa**, Londrina, n. 349, 2014.

JIANG, Hongfei; EGLI, D. B. Shade induced changes in flower and pod number and flower and fruit abscission in soybean. **Agronomy Journal**, v. 85, n. 2, p. 221-225, 1993.

KEHL, Kassiana; SZARESKI, Vinicius Jardel; CARVALHO, Ivan Ricardo; NARDINO, Maicon; DEMARI, Gustavo Henrique; ROSA, Tiago Corazza; GUTKOSKI, Luis Carlos; PEDO, Tiago; AUMONDE, Tiago Zanatta; SOUZA, Velci Queiroz.; ZIMMER, Paulo Dejalma; MENEGHELLO, Geri Eduardo. Genotype environment interaction under industrial and physiological quality of wheat seeds. **International Journal of Current Research**, v. 8, p. 38461-38468, 2016.

KEMPTON, R. A. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, Inglaterra, v.103, p.123-135, 1984.

KOCH, Felipe et al. Yield and physiological quality of seeds of different bean genotypes produced in the off-season period in subtropical climate. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, p. 669-675, 2018.

KOLCHINSKI, Eliane Maria; SCHUCH, Luis Osmar Braga; PESKE, Silmar Teichert. Crescimento inicial de soja em função do vigor das sementes. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 12, n. 2, 2006.

KOMORI, Edson et al. Influência da época de semeadura e população de plantas sobre características agronômicas na cultura da soja. **Bioscience Journal**, v. 20, n. 3, 2004.

LEITE, A. C.S. **Adaptabilidade, estabilidade, heterose e avaliação de metodologias alternativas de seleção recorrente recíproca com famílias de irmãos completos em milho (*Zea mays*)**. 1988. 118 f. Tese (Doutorado)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

LITTELL, Ramon C. Analysis of unbalanced mixed model data: a case study comparison of ANOVA versus REML/GLS. **Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics**, v. 7, n. 4, p. 472, 2002.

LOPES, Angela Celis de Almeida, et al. Variabilidade e correlações entre caracteres em cruzamentos de soja. **Scientia Agrícola**, v. 59, p. 341-348, 2002.

LOPES, José Carlos et al. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja produzidas em Alegre-ES. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, n. 01, p. 51-58, 2002.

MAEHLER, André Roberto et al. Potencial de rendimento da soja durante a ontogenia em razão da irrigação e arranjo de plantas. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 38, n. 2, p. 225-231, 2003.

MANDEL, John. A new analysis of variance model for non-additive data. **Technometrics**, Alexandria, v.13, p.1-18, 1971.

MARCOS FILHO, Julio. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES. 2015. 660p.

MARCOS FILHO, Julio. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia agrícola**, v. 72, n. 4, p. 363-374, 2015.

MARCOS FILHO, Julio; KIKUTI, Ana Lúcia Pereira; DE LIMA, Liana Baptista. Métodos para avaliação do vigor de sementes de soja, incluindo a análise computadorizada de imagens. **Revista Brasileira de sementes**, v. 31, n. 1, 2009.

MARTINS, Mônica Cagnin C. et al. Épocas de semeadura, densidades de plantas e desempenho vegetativo de cultivares de soja. **Scientia Agrícola**, v. 56, n. 04, p. 851-858, 1999.

MENDONÇA, José Lindorico et al. Avaliação de genótipos de soja para consumo de grãos verdes em Brasília-DF. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 02, 2002. Suplemento 2.

MENEGATTI, Ana Laura Angeli; BARROS, Alexandre Lahóz Mendonça de. Análise comparativa dos custos de produção entre soja transgênica e convencional: um estudo de caso para o Estado do Mato Grosso do Sul. **Rer**, v. 45, n. 01, p. 163-183, 2007.

MISSÃO, Mauricio Roberto. Soja: origem, classificação, utilização e uma visão abrangente do mercado. **Maringá Management: Revista de ciências empresariais**, v. 3, n. 1, p. 7-15, 2006.

MITTELMANN, Andréa; NETO, José Fernandes Barbosa; CARVALHO, Fernanda Irajá Félix; LEMOS, Maria Celia Ibañes; CONCEIÇÃO, Léo Duc Haa. Herança de caracteres do trigo relacionados a qualidade de panificação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 5, p. 975-983, 2000.

MUNDSTOCK, Cláudio Mario; THOMAS, André Luís. SOJA: Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005, 30p.

MURAKAMI, Devanir Mitsuyuki; CRUZ, Cosme Damião. Proposal of methodologies for environment stratification and analysis of genotype adaptability. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 4, n. 1, 2004.

NAKAGAWA, João. Testes de vigor baseados no desempenho de plântulas. In: KRZYZANOWSKI, Francisco Carlos.; VIEIRA, Roberval Dailton.; FRANÇA NETO, José de Barros. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. cap. 2, p. 1-24.

NAVARRO JUNIOR, Hugo Motta; COSTA, José Antonio. Contribuição relativa dos componentes do rendimento para produção de grãos em soja. **Pequisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. Vol. 37, n. 3 (mar. 2002), p. 269-274, 2002.

NDHLELA, Thokozile et al. Genotypex environment interaction of maize grain yield using AMMI biplots. **Crop Science**, v. 54, n. 5, p. 1992-1999, 2014.

NOGUEIRA, Ana Paula Oliveira et al. Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 6, 2012.

NOGUEIRA, Rejane J. Mansur; MORAES, Jose Antonio P. V.; BURITY, Hélio Almeida; NETO, Egídio Bezerra. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relação

hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, p.66-74, 2001.

NUNES, Andrei Caíque Pires et al. Evaluation of different selection indices combining Pilodyn penetration and growth performance in Eucalyptus clones. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 3, p. 206-213, 2017.

PEREIRA, Érica Mirre et al. Aplicações dos modelos lineares mistos na pesquisa agropecuária. **Natureza on line**, v. 10, n. 2, p. 52-58, 2012.

PESKE, Silmar Teichert; VILLELA, Francisco Amaral; MENEGHELLO, Geri Eduardo. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 3.ed. Pelotas: Ed. Universitária, 2012. 573 p.

PIEPHO, Hans-Peter et al. The use of two-way linear mixed models in multitreatment meta-analysis. **Biometrics**, v. 68, n. 4, p. 1269-1277, 2012.

PIMENTEL, Adérico Júnior Badaró et al. Estimation of genetic parameters and prediction of additive genetic value for wheat by mixed models. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 11, p. 882-890, 2014.

POTAFOS - Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato. **Como a planta de soja se desenvolve**. Piracicaba. 1997. 20 p.

PUPIN, Silvelise et al. Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênies de polinização aberta de Eucalyptus urophylla ST Blake. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, p. 127-134, 2015.

RAMALHO, Magno Antonio Patto; FERREIRA, Daniel Furtado; OLIVEIRA, Antonio Costa de. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2. ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005. 322 p.

RAMALHO, Magno Antonio Patto; FERREIRA, Daniel Furtado.; OLIVEIRA, Antônio Carlos De. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras: UFLA, 2000. 326 p.

RAMBO, Lisandro et al. Estimativa do potencial de rendimento por estrato do dossel da soja, em diferentes arranjos de plantas. **Ciência Rural**, v. 34, n. 1, p. 33-40, 2004.

RESENDE, Marcos Deon Vilela. **Software SELEGEN-REML/BLUP**: Sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 359 p.

RIGO, Geliandro Anhaia; SCHUCH, Luis Osmar Braga; BARROS, Willian Silva; VARGAS, Rodrigo Lamaison; SZARESKI, Vinicius Jardel; CARVALHO, Ivan Ricardo; PIMENTEL, João Roberto; TROYJACK, Cristian; ROSA, Tiago Corazza; SOUZA, Velci Queiroz; AUMONDE, Tiago Zanatta; PEDO, Tiago. Effects of Macronutrients in the Physiological Quality of Soybean Seeds. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, p. 312, 2018.

ROESSING, Antônio Carlos; GUEDES, Luiz Cesar Auvray. Aspectos econômicos do complexo soja: sua participação na economia brasileira e evolução na região do Brasil Central. In: ARANTES, N.E.; SOUZA, P.I.M. (Eds.) **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato, 1993. p.1-70.

ROSADO, Antonio Marcos; ROSADO, Tatiana Barbosa; ALVES, Alexandre Alonso, LAVIOLA, Bruno Galveas; BHERING, Leonardo Lopes. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 964-971, 2012.

SANTOS, Gleison Augusto et al. Genetic control and genotype-by-environment interaction of wood weight in Eucalyptus clones in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Árvore**, v. 40, n. 5, p. 867-876, 2016.

SANTOS, Humberto Gonçalves Dos; JACOMINE, Paulo Kínger Tito; ANJOS, Lúcia Helena Cunha Dos; OLIVEIRA, Virlei Álvaro De; LUMBRERAS, José Francisco; COELHO, Maurício Rizzato; ALMEIDA, Jaime Antônio De; CUNHA, Tony Jarbas Ferreira; OLIVEIRA, João Bertoldo de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

SAS INSTITUTE (Cary, NC). SAS/STAT. **User's Guide**. GLMVARCOMP: version 6.4.ed. v.2, Cary, 1989. 846p.

SCHEEREN, Bruno Ricardo; PESKE, Silmar Teichert; SCHUCH, Luis Osmar Braga; BARROS, Antonio Carlos Albuquerque. Qualidade fisiológica e produtividade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 3, p. 35–41, 2010.

STRUKER, S; CARVALHO, Ivan Ricardo; SZARESKI, Vinicius Jardel; BARBOSA, Mauricio Horbach; SOUZA, Velci Queiroz. ; CONTE, Giordano Gelain; VILLELA, Francisco Amaral; PEDO, Tiago. Influence of seeds vigor in the attributes of soybean yield. **Revista de Ciências Agrárias (Lisboa)**, v. 42, p. 698-703, 2019.

SCHEUER, Patrícia Matos; FRANCISCO, Alicia; MIRANDA, Martha Zavariz; LIMBERG, Valeria Maria. Trigo: características e utilização na panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 211-222, 2011.

SCHUCH, Luis Osmar Braga; KOLCHINSKI, Eliane Maria; FINATTO, Jonas Alex. Qualidade fisiológica da semente e desempenho de plantas isoladas em soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, 2009.

SEDIYAMA, Tuneo. (Org.). **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina, PR: Mecenas, 2009, v. 1. 314 p.

SEDIYAMA, Tuneo.; SILVA, Felipe; BORÉM, Aluízio. **Soja do plantio a colheita**. Viçosa, MG, Ed UFV. 2015, 333p.

SHAPIRO, Samuel Sanford; WILK, Martin B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

SILVA, Giovani Olegario; CARVALHO, Agnaldo Donizete Ferreiro; VEIRA, Jairo Vidal; Verificação da adaptabilidade e estabilidade de populações de cenoura pelos métodos AMMI, GGE Biplot e REML/BLUP. **Bragantia**, v. 70, p. 494- 501, 2011.

SILVA, Raphael Rossi; BENIN, Giovani. Análises Biplot: conceitos, interpretações e aplicações. **Ciência Rural**, v. 42, n. 8,p. 1404–1412, 2012.

SILVA, Raphael Rossi et al. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de trigo em diferentes épocas de semeadura, no Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 11, p. 1439-1447, 2012.

SILVA, Waldir Camargos Junior; DUARTE, João Batista. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 01, p. 23-30, 2006.

SINGH, Daljit. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding (The)**, v. 41, n. 2, p. 237-245, 1981.

SMIDERLE, Oscar José Smiderle. **Cultivo de Soja no cerrado de Roraima**. Embrapa Roraima, 2009.

SOUZA, Velci Queiróz; BELLÉ, R.; FERRARI, Mauricio; PELEGRIN, Alan Junior; CARON, Braulio Otomar; NARDINO, Maicon; FOLLMANN, Diego Nicolau; CARVALHO, Ivan Ricardo. Componentes de rendimento em combinações de fungicidas e inseticidas e análise de trilha em soja. **Global Science and Technology**, v. 8, n. 1, 167 – 176, 2015.

SPIPKE, Joachim et al. Analysis of unbalanced data by mixed linear models using the Mixed Procedure of the SAS System. **Journal Agronomy & Crop Science**, v. 191, p. 47-54, 2005.

STRAUB, Shannon CK; PFEIL, Bernard E.; DOYLE, Jeff J. Testing the polyploid past of soybean using a low-copy nuclear gene? Is Glycine (Fabaceae: Papilionoideae) an auto- or allopolyploid?. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 39, n. 2, p. 580-584, 2006.

STRECK, Edegar Valdir et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre, Emater, 2008. 222 p.

STROBEL, Thiago et al. Physical and physiological quality of soybean seeds harvested under different trial systems after storage period. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 10, n. 13, p. 124-130, 2016.

STURION, José Alfredo; DE RESENDE, Marcos Deon Vilela. Avaliação genética e análise de deviance em um teste desbalanceado de procedência e progênie de *Ilex paraguariensis*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 62, p. 157, 2010.

SZARESKI, Vinicius Jardel; CARVALHO, Ivan Ricardo; KEHL, Kássia; LEVIEN, Alexandre Moscarelli; NARDINO, Maicon; DELLAGOSTIN, Simone Morgan; DEMARI, Gustavo Henrique; LAUTENCHLEGER, Francine; VILLELA, Francisco Amaral; PEDO, Tiago; SOUZA, Velci Queiroz; AUMONDE, Tiago Zanatta. Evaluation of the adaptability and stability of wheat genotypes using a phenotypic index of seed vigor. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, p. 727-735, 2018.

SZARESKI, Vinicius Jardel; CARVALHO, Ivan Ricardo; KEHL, Kássia; LEVIEN, A.M.; NARDINO, Maicon; DEMARI, Gustavo Henrique; LAUTENCHLEGER, Francine; SOUZA, Velci Queiroz; PEDO, Tiago; AUMONDE, Tiago Zanatta. Univariate, multivariate techniques and mixed models applied to the adaptability and stability of wheat in the Rio Grande do Sul State. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, p. 1-13, 2017.

TEAM, R. Core et al. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2013.

TECNOLOGIAS de produção de soja - região central do Brasil 2009 e 2010. Londrina: **Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste**, 2008. 262 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 13).

THOMAS, André Luis; COSTA, José Antonio. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, p. 1389-1396, 1994.

TOMASINI, Roque Gilberto Annes; AMBROSI, Ivo. Aspectos econômicos da cultura de trigo. **Caderno de Ciência & Tecnologia**, v. 15, n. 2, p. 59-84, 1998.

TOURINO, Maria Cristina Cavalheiro; DE REZENDE, Pedro Milanez; SALVADOR, Nilson. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agronômicas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 8, p. 1071-1077, 2002.

TRETHOWAN, Richard M. et al. Relationships among bread wheat international yield testing locations in dry areas. **Crop Science**, v. 41, n. 5, p. 1461-1469, 2001.

VALÉRIO, Igor Pirez et al. Desenvolvimento de afilhos e componentes do rendimento em genótipos de trigo sob diferentes densidades de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 3, p. 319-326, 2008.

VANZOLINI, Silvelena; CARVALHO, Nelson Moreira. Effects of soybean seed vigor on field plant performance. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2002.

VENCOVSKY, Roland; BARRIGA, Patrício. Genética biométrica no fitomelhoramento, *Revista Brasileira de Genética*, p. 496, 1992.

- VENCOVSKY, Rolando. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. **Melhoramento e produção do milho**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 137-214.
- WOYANN, Leomar Guilherme et al. Estimation of missing values affects important aspects of GGE biplot analysis. **Crop Science**, v. 57, n. 1, p. 40-52, 2017.
- WOYANN, Leomar Guilherme et al. Repeatability of associations between analytical methods of adaptability, stability, and productivity in soybean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 1, p. 63-73, 2018. DOI: 10.1590/S0100-204X2018000100007.
- YAN, Weikai. GGE Biplot vs. AMMI Graphs for Genotype-by-Environment Data Analysis. **Journal of the India Society of Agricultural Statistics**, v.65, n.2, p.181-193, 2011.
- YAN, Weikai et al. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. **Crop Science**, v.47, n.2, p.643-653, 2007.
- YAN, Weikai et al. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. **Crop Science**, v. 40, n. 3, p. 597-605, 2000.
- YAN, Weikai et al. Genotype-by-environment interaction and trait associations in two genetic populations of oat. **Crop Science**, v. 56, n. 3, p. 1136-1145, 2016.
- YOKOMIZO, Gilberto Ken-Iti et al. Análise AMMI da produtividade de grãos em linhagens de soja selecionadas para resistência à ferrugem asiática. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 10, p. 1376-1384, 2013.
- ZARDO, F.P. Análises laboratoriais para o controle de qualidade da farinha de trigo. Trabalho de conclusão de Curso de Tecnologia em Alimentos do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Bento Gonçalves. 46 p., 2010.
- ZILLI, Jerri Édson et al. Inoculação de Bradyrhizobium em soja por pulverização em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 4, p. 541-544, 2008.
- ZOBEL, Richard W.; WRIGHT, Madison J.; GAUCH, Hugh G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy journal**, v. 80, n. 3, p. 388-393, 1988.