



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

GUSTAVO HENRIQUE FREIRIA

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DE GENÓTIPOS EM
ENSAIOS PRELIMINARES DE SOJA TIPO ALIMENTO**

Londrina
2016

GUSTAVO HENRIQUE FREIRIA

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DE GENÓTIPOS EM
ENSAIOS PRELIMINARES DE SOJA TIPO ALIMENTO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Cássio Egídio Cavenaghi Prete.

Londrina
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Freiria, Gustavo Henrique.

Caracterização e avaliação de genótipos em ensaios preliminares de soja tipo alimento / Gustavo Henrique Freiria. - Londrina, 2016.
73 f. : il.

Orientador: Cássio Egídio Cavenaghi Prete.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2016.
Inclui bibliografia.

1. Glycine max - Teses. 2. Alimento funcional - Teses. 3. Genótipo x ambiente - Teses. 4. Lipoxigenases - Teses. I. Prete, Cássio Egídio Cavenaghi. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

GUSTAVO HENRIQUE FREIRIA

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DE GENÓTIPOS EM ENSAIOS
PRELIMINARES DE SOJA TIPO ALIMENTO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Cássio Egídio Cavenaghi
Prete
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Dr^a. Josemeyre Bonifácio da Silva
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Dr. Wilmar Ferreira Lima
Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR

Londrina, 23 de fevereiro de 2016.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Cássio Egídio Cavenaghi Prete não só pela constante orientação neste trabalho, mas sobretudo pela sua amizade e confiança...

A professora Josemeyre Bonifácio da Silva, ao Dr. Wilmar Ferreira Lima e ao Professor Leandro Simões Azeredo Gonçalves pelo auxílio e cooperação na execução desse trabalho...

A Universidade Estadual de Londrina, ao Departamento de Agronomia e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de realizar este curso...

Aos Pós-Graduandos André Prechlak Barbosa, Douglas Junior Bertoncetti, Felipe Favoretto Furlan, Guilherme Augusto Cito Alves, Guilherme Renato Gomes e Luiz Henrique Campos de Almeida e aos Graduandos Kawana Silva Bortolato e João Marcos Novais pela amizade e por toda ajuda...

A minha família, em especial aos meus pais Nelma e Ednaldo e minha irmã Gabriele pelo apoio e motivação em todos os momentos...

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

FREIRIA, Gustavo Henrique. **Caracterização e avaliação de genótipos em ensaios preliminares de soja tipo alimento**. 2016. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

RESUMO

O emprego da soja na alimentação humana é considerado baixo, justificado em muitos casos pelo seu sabor e odor desagradáveis, em especial, pela ação das enzimas lipoxigenases. Em contrapartida, é um alimento funcional que auxilia na prevenção de doenças crônicas degenerativas pela ação de suas proteínas e isoflavonas. Os programas de melhoramento genético buscam obter grãos com características mais indicadas para o consumo humano, destacando-se: ausência das enzimas lipoxigenases, alto teor de proteínas, baixo teor de lipídios e altos teores de isoflavonas, bem como alta produtividade de grãos. Contudo, a escolha dos melhores materiais é dificultada pela interação genótipo x ambiente. Neste contexto, o objetivo do trabalho foi caracterizar e avaliar linhagens de soja, com ausência das enzimas lipoxigenases 1, 2 e 3, direcionadas para alimentação humana, obtidos pelo Programa de Melhoramento Genético de Soja da Universidade Estadual de Londrina, em ensaios preliminares de linhagens de 1º e 2º ano, nas safras 2013/2014 e 2014/2015. O delineamento experimental foi o de blocos completos casualizados, com quatro repetições. No primeiro ano, oito linhagens foram avaliadas no município de Londrina, Paraná, em duas épocas de semeadura (07 e 29 de outubro de 2013), quanto à produtividade e teores de proteína, óleo e isoflavonas. No segundo ano, realizou-se o estudo de adaptabilidade e estabilidade de dez linhagens e duas cultivares comerciais (BRS 257 e BMX Potência RR) em quatro municípios do Estado do Paraná (Londrina, Guarapuava, Ponta Grossa e Pato Branco) e em duas épocas de semeadura. A característica avaliada foi a produtividade de grãos (Kg ha^{-1}) e os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade foram obtidos por métodos de regressão linear simples, regressão linear bissegmentada, análise AMMI e o modelo misto REML/BLUP. As linhagens UEL 131 e UEL 153 apresentaram os maiores teores de isoflavonas totais. Os teores de proteína, glicosídeos, malonilglicosídeos e agliconas foram afetadas pelas condições ambientais. As linhagens UEL 110, UEL 121 e UEL 123 apresentaram alta produtividade de grãos, estabilidade e ampla adaptabilidade.

Palavras-chave: *Glycine max*. Alimento funcional. Genótipo x ambiente. Lipoxigenases.

FREIRIA, Gustavo Henrique. **Characterization and evaluation of genotypes in preliminary trials of food-type soybean.** 2016. 73 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

ABSTRACT

The use of soybean as food is considered low, justified in many cases for their unpleasant taste and odor, especially by the action of lipoxygenase. However, it is a functional food that helps in the prevention of chronic degenerative diseases by the action of proteins and isoflavones. Breeding programs looking for grains with characteristics most appropriate for human consumption, such as: the absence of lipoxygenase enzymes, high concentrations of proteins, low level of lipids and high isoflavone contents, as well as high productivity of grains. However, the selection of the best materials is difficult by genotype x environment interaction. In this context, the aim of this study was to characterize and evaluate soybean lines, with absence of lipoxygenase enzymes 1, 2 e 3, used for human consumption, obtained by the Genetic Improvement Program Soybean the Universidade Estadual de Londrina, in preliminary tests of lines 1 and 2 year in 2013/2014 and 2014/2015 crop years. The experimental design was a completely randomized block design with four replications. In the first year, eight strains were evaluated in Londrina, Paraná, in two sowing dates (07 and 29 October 2013), for the productivity and protein, oil and isoflavones levels present in grains. In the second year, was held the study of adaptability and stability of ten lines and two commercial cultivars (BRS 257 and BMX Power RR) in four municipalities of Paraná State (Londrina, Guarapuava, Ponta Grossa and Pato Branco) in two seasons seeding. The characteristic evaluated was grain yield (kg ha⁻¹) and the parameters of adaptability and stability were obtained by methods of simple linear regression , bissegmented linear regression, AMMI analysis and the mixed model REML / BLUP. The lines UEL 131 and UEL 153 showed the highest total isoflavone levels. The protein, aglycone, glycosides and malonylglycosides are affected by environmental conditions. The lines UEL 110, UEL 121 and UEL 123 present high grain yield, stability and wide adaptability.

Key-words: *Glycine max.* Functional food. Genotype x Environment. Lipoxygenase.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 3.1** – Dados diários de precipitação, temperatura máxima e mínima de outubro a março do ano agrícola 2013/2014 em Londrina – PR30
- Figura 3.2** – Análise de Componentes Principais (ACP) das variáveis de composição química dos grãos de oito linhagens de soja tipo alimento semeados em 07 (A) e 29 (B) de outubro de 2013. Londrina – PR39
- Figura 3.3** – Dendrograma da dissimilaridade genética entre oito linhagens de soja tipo alimento obtidos pelo UPGMA baseado na matriz de dissimilaridade dos descritores químicos nas épocas 1 (07 de outubro) e 2 (29 de outubro de 2013). Londrina – PR41
- Figura 4.1** – Biplot AMMI para dados de rendimento de grãos de soja tipo alimento, com 12 genótipos de soja (1: BRS 257; 2: Potência; 3: UEL 101; 4: UEL 110; 5: UEL 112; 6: UEL 113; 7: UEL 114; 8: UEL 115; 9: UEL 121; 10: UEL 122; 11: UEL 123; 12: UEL 153) e 8 ambientes no Estado do Paraná (Lon: Londrina; Guar: Guarapuava; PG: Ponta Grossa; PB: Pato Branco) na safra 2014/2015.....50

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 –	Valores dos quadrados médios obtidos pela análise de variância conjunta para a composição química dos grãos de oito linhagens de soja tipo alimento, avaliadas em duas épocas de semeadura, na safra 2013/2014. Londrina – PR.....	33
Tabela 3.2 –	Estimativas da interação complexa para a composição química de oito linhagens de soja tipo alimento. Londrina – PR.....	34
Tabela 3.3 –	Composição química de grãos de oito linhagens de soja tipo alimento semeadas em 07 (Época 1) e 29 (Época 2) de outubro de 2013. Londrina - PR.....	37
Tabela 4.1 –	Localização e caracterização climática dos oito ambientes no estado do Paraná.....	46
Tabela 4.2 –	Análise de variância para produtividade de grãos de 12 genótipos de soja tipo alimento, incluindo a participação da interação genótipo x ambiente (GA) de acordo com o efeito aditivo principal e da interação multiplicativa (AMMI) em oito ambientes no estado do Paraná	49
Tabela 4.3 –	Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica, obtidos pelos métodos de Eberhart e Russel (1966) e Cruz, Torres e Vencovsky (1989), para o caráter rendimento de grãos em 12 genótipos de soja em oito ambientes no estado do Paraná, na safra 2014/2015	53
Tabela 4.4 –	Estabilidade de valores genotípicos (MHVG), adaptabilidade de valores genotípicos (PRVG), estabilidade e adaptabilidade de valores genotípicos (MHPRVG) e valores genotípicos médio nos ambientes (MHPRVG * MG) para produtividade em 12 genótipos de soja em oito ambientes no estado do Paraná.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP	Análise de Componentes Principais
AMMI	<i>Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis</i>
BLUE	Melhor Estimador Linear Não-Viesado
BLUP	Melhor Preditor Linear Não-Viesado
CLUE	Cromatógrafo Líquido de Ultra Eficiência
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DHE	Distinguibilidade, Homogeneidade e Estabilidade
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FDA	<i>Food and Drug Administration</i>
LOX	Lipoxigenases
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MHPRVG	Média Harmônica do Desempenho Relativo dos Valores Genéticos
MHVG	Média Harmônica dos Valores Genótipicos
NIR	Espectroscopia do Infravermelho Próximo
PRVG	Desempenho Relativo dos Valores Genótipicos
REML	Máxima Verossimilhança Restrita
SSD	<i>Single Seed Descent</i>
UEL	Universidade Estadual de Londrina
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>
UPGMA	<i>Unweighted Pair-Group Method Using an Arithmetic Average</i>
VCU	Valor de Cultivo e Uso

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1	SOJA: ASPECTOS GERAIS	13
2.1.1	Origem e Botânica	13
2.1.2	Importância Econômica	13
2.1.3	Principais Usos	14
2.2	SOJA TIPO ALIMENTO	15
2.2.1	Soja Tipo Alimento e Tipo Grão.....	15
2.2.2	Alimento Funcional: Isoflavonas e Proteínas	16
2.2.3	Lipoxigenases	17
2.3	ETAPAS DO LANÇAMENTO DE UMA CULTIVAR.....	18
2.4	INTERAÇÃO GENÓTIPO COM AMBIENTE.....	19
2.4.1	Adaptabilidade e Estabilidade.....	21
2.4.1.1	Regressão linear, AMMI e REML/BLUP	22
3	ARTIGO A: PRODUTIVIDADE E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE GRÃOS DE SOJA TIPO ALIMENTO EM DUAS ÉPOCAS DE SEMEADURA	27
3.1	RESUMO.....	27
3.2	ABSTRACT..	28
3.3	INTRODUÇÃO.....	28
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	29
3.4.1	Genótipos e Condições Ambientais	29
3.4.2	Condução dos Ensaios e Avaliação da Produtividade de Grãos	30
3.4.3	Análise da Composição Química dos Grãos	31
3.4.4	Análises Estatísticas	32
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
3.6	CONCLUSÕES	42

4	ARTIGO B: ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE PRODUTIVA DE LINHAGENS DE SOJA TIPO ALIMENTO	43
4.1	RESUMO.....	43
4.2	ABSTRACT.....	44
4.3	INTRODUÇÃO.....	44
4.4	MATERIAL E MÉTODOS	45
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.6	CONCLUSÕES	55
5	CONCLUSÕES GERAIS	57
	REFERÊNCIAS	58
	APÊNDICES	68
	APÊNDICE A – Produtividade de grãos ($t\ ha^{-1}$), variância residual (QMRes) e coeficiente de variação de doze genótipos de soja em oito ambientes no estado do Paraná.	69
	APÊNDICE B – Análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica pela metodologia de Eberhart e Russel (1966) de 12 genótipos de soja em oito ambientes do estado do Paraná na safra 2014/2015.....	70
	APÊNDICE C – Análise bissegmentada de adaptabilidade e estabilidade fenotípica pela metodologia de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) de 12 genótipos de soja em oito ambientes do estado do Paraná na safra 2014/2015.....	72

1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja hoje é fundamental para a manutenção de diversos segmentos produtivos e alimentícios, em decorrência da sua aplicabilidade em diversos produtos e subprodutos. O principal uso dos grãos de soja é a produção de farelo, destinado exclusivamente para ração animal, e o óleo. Seu emprego direto na alimentação humana ainda é baixo, em especial, em países ocidentais.

Estudos recentes comprovam os benefícios do consumo regular da soja, aliado a uma dieta saudável, em especial, pelo seu alto teor de proteínas e isoflavonas, que a caracteriza como um alimento funcional. Porém, um dos maiores obstáculos no seu uso na alimentação humana são seu sabor e odor desagradáveis atribuídos à ação das enzimas lipoxigenases (LOX). Motivado por esse fator, programas de melhoramento genético buscam a obtenção de cultivares livres das enzimas LOX e que possuam altos teores de proteínas e isoflavonas, sem perder as principais características agrônomicas, como: alta produtividade, resistência a patógenos, resistência ao acamamento, uniformidade de maturação, dentre outras.

O sucesso de um programa de melhoramento, para soja tipo grão ou tipo alimento, depende da correta escolha dos parentais, do melhor método de condução das populações segregantes, da escolha das melhores linhagens nos testes de progênes e, não menos importante, dos ensaios intermediários, preliminares e finais, em que somente os melhores genótipos permanecerão, o que reduz o trabalho necessário e aumenta as chances de sucesso nos testes para o registro e proteção de uma nova cultivar.

A seleção dos melhores genótipos frequentemente ocorre em diferentes ambientes, como época de semeadura, safra e local. Contudo, essa escolha é dificultada pela interação genótipo x ambiente, o que gera uma inconstância na expressão fenotípica da característica de interesse frente as variações ambientais.

O estudo da adaptabilidade e estabilidade fenotípica permite mensurar os efeitos da interação genótipo com ambiente, conseqüentemente, facilita o processo de seleção. Este estudo deve ser pautado na análise estatística dos dados, baseados na análise de variância, regressão linear simples, bissegmentada, modelos multivariados, dentre outros.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar e avaliar genótipos de soja tipo alimento obtidos pelo Programa de Melhoramento da Universidade Estadual de Londrina em ensaios preliminares de 1º e 2º ano, para possível indicação dos mais promissores para compor os testes de Valor de Cultivo e Uso (VCU) e Distinguilidade, Homogeneidade e Estabilidade (DHE).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SOJA: ASPECTOS GERAIS

2.1.1 Origem e Botânica

A soja selvagem (*Glycine soja*) ancestral mais próximo da soja cultivada (*Glycine max*) é encontrada na China, Japão, Coréia do Sul e no extremo leste da Rússia na Ásia Oriental. Porém, sua maior distribuição e diversidade são encontradas no território chinês (QIU; CHANG, 2010). O período exato de sua domesticação não é bem definido, porém há importantes indícios que ocorreu por volta de 1500 – 1027 a. C. na região da Manchúria, China (MISSÃO, 2006).

O primeiro relato da soja no continente americano foi em 1804, quando Mease recomendou seu cultivo na Pensilvânia. No Brasil, a primeira referência sobre a soja é de 1882, no Estado da Bahia, introduzida pelo engenheiro agrônomo Gustavo D' Dutra (BONETTI, 1981).

Botanicamente, a soja pertence à família Fabaceae (Leguminosae), subfamília Fabóideae, e ao gênero *Glycine* L., que compreende cerca de quinze espécies, sendo classificada como *Glycine max* (L.) Merrill (BARBIERI; STUMPF, 2008). Caracteriza-se como planta anual com caule ereto e frequentemente ramificado, que varia de 30 a 150 cm de altura, de crescimento determinado, indeterminado ou semi-determinado. Folhas primárias opostas e unifolioladas, as demais folhas trifolioladas e alternas (MÜLLER, 1981). Possui sistema radicular pivotante, passível de associação simbiótica com bactérias da Família *Rhizobiaceae*, em termos agrícolas, a relação mais importante é com bactérias pertencentes às espécies *Bradyrhizobium japonicum* e *Bradyrhizobium elkanii*, responsáveis pela fixação biológica do nitrogênio (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2007).

É uma espécie autógama, com flores perfeitas, nas quais os órgãos masculinos e femininos ficam protegidos dentro da corola. Insetos, principalmente abelhas, podem transportar o pólen e realizar a polinização de flores de diferentes plantas, mas a taxa de fecundação cruzada, em geral, é menor que 1% (SCHUSTER et al., 2007).

2.1.2 Importância Econômica

Em contraste com a antiguidade, quanto ao uso da soja pelos povos orientais, sua expansão para cultivo e consumo, em outras regiões do globo só ganhou importância no começo do século passado. Um aumento significativo da produção mundial só foi verificado a partir de 1925, graças aos esforços de pesquisadores norte-americanos, que a estudaram sobre vários aspectos: agrícola, industrial, nutricional e econômico (MIYASAKA, 1986).

Na safra 2014/2015, de acordo com levantamentos da USDA (2015), a produção mundial de grãos de soja atingiu cerca de 318,92 milhões de toneladas. O Brasil obteve a segunda posição de produtor mundial de grãos de soja, com cerca de 97 milhões de toneladas produzidas. Em termos de exportação, o Brasil ocupa a primeira posição seguido pelos Estados Unidos, Argentina, Paraguai e Canadá, com 50,75 milhões de toneladas exportadas.

A área plantada da soja no país foi de 31,94 milhões de hectares na safra 2014/2015, com um incremento de 6,07 % em comparação com o verificado na temporada 2013/2014. Os principais estados produtores foram Mato Grosso, com 28,13 milhões de toneladas produzidas, seguido pelo Paraná, com 17,12 milhões de toneladas, que juntos representaram 47,04 % de toda produção brasileira de soja na temporada 2014/2015 (CONAB, 2015).

O Valor Bruto da Produção da soja representou mais de 25% do Produto Interno Bruto agropecuário em 2012. O complexo agroindustrial da soja brasileira alcançou o patamar de US\$ 30,961 bilhões em exportações em 2013, representando 30,97% do total das exportações do agronegócio e 12,78% de todo montante de exportações do País (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014).

2.1.3 Principais Usos

O principal destino da soja em grão é o setor industrial, para o processamento de esmagamento, para obtenção do farelo e óleo, que corresponde a 88,73 % da soja produzida. A alimentação humana, na forma *in natura* representa apenas 5,79 % (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014). Em termos mundiais, a soja contribui com 29,4 % do mercado de óleos vegetais, cuja produção é destinada

principalmente ao consumo humano e como matéria-prima para produção de biodiesel (SILVA, 2013a).

O farelo de soja tem sido destinado principalmente para a produção de ração animal. O subproduto gerado na produção do farelo e óleo de soja é a lecitina que pode ser empregada como emulsificante, agente ativo de superfície, antiespumante, dispersante, umidificante, estabilizante e anti-derrapante, pela agroindústria, indústria química e de alimentos (EMBRAPA, 2011a).

De acordo com Liu (1999), os grãos de soja podem ser empregados para a elaboração de diversos alimentos como os tradicionais fermentados (missô, tempeh e natto), os tradicionais não fermentados (extrato solúvel, tofu, farinha torrada [kinako], brotos de soja e edamame), os obtidos a partir da farinha de soja desengordurada (os concentrados e isolados protéicos e a proteína texturizada) e, os de segunda geração que são produzidos a partir dos alimentos tradicionais de soja, como o iogurte que é obtido da fermentação do extrato de soja.

2.2 SOJA TIPO ALIMENTO

2.2.1 Soja Tipo Alimento e Tipo Grão

Existem genótipos específicos de soja em função de seu uso, deste modo a classificação da soja pode ser feita em dois grupos principais: tipo grão e tipo alimento.

Cultivares de soja convencionais, classificadas como tipo grão, são usadas principalmente na alimentação animal e na produção de óleo, devido ao seu sabor pouco apreciado ou indesejado, resultado da ação das enzimas lipoxigenases que produz compostos voláteis como o hexano (SILVA et al., 2012). O que dificulta sua incorporação na alimentação humana de forma direta ou na forma de produtos de segunda e terceira geração (CARRÃO-PANIZZI; SILVA, 2011).

Programas de melhoramento genético de cultivares de soja destinadas a alimentação humana visam à obtenção de grãos, classificados como tipo alimento, com características especiais como: alto teor de proteínas, de isoflavonas e de minerais essenciais; menor conteúdo de óleo e dos ácidos graxos linoleico e linolênico; ausência das enzimas lipoxigenases e elevado teor de carboidratos. Essas características devem ser confirmadas por meio de análises

químicas, físicas e sensoriais para atender à crescente demanda de um mercado especializado (SILVA; CARRÃO-PANIZZI; PRUDÊNCIO, 2009).

Como importante fonte de proteínas de alta qualidade, cultivares de soja com elevado teor proteico podem garantir a produção de alimentos como o extrato solúvel e tofu com maior valor nutricional e maior rendimento do produto final (LIU, 1999). Cultivares de soja que geneticamente apresentam teores elevados de isoflavonas podem contribuir para o processamento de alimentos com maior valor funcional (CARRÃO-PANIZZI et al., 1999a). Menores concentrações dos ácidos graxos poli-insaturados, ácido linoleico e linolênico, e maior teor do ácido oléico podem aumentar a estabilidade do óleo de soja prevenindo a oxidação (FEHR, 2007). A eliminação genética das enzimas lipoxigenases pode melhorar as características sensoriais dos alimentos de soja devido à menor produção do composto hexanal associado ao sabor de *beany flavor* (ranço ou feijão cru) (SILVA; CARRÃO-PANIZZI, PRUDÊNCIO, 2009).

2.2.2 Alimento Funcional: Isoflavonas e Proteínas

A soja e os seus produtos vêm sendo amplamente estudados devido não somente ao seu valor nutricional, mas também em decorrência de suas propriedades funcionais na indústria de alimentos, e como alimento funcional, porque exerce ação moduladora em determinados mecanismos fisiológicos através de suas proteínas e isoflavonas (CIABOTTI et al., 2006).

O grão de soja é a principal fonte de isoflavonas (VIZZOTO; KROLOW; TEIXEIRA, 2010). Estes são compostos pertencentes ao grupo dos flavonóides caracterizados pela estrutura polifenólica de dois anéis benzeno ligados a um terceiro anel na posição do carbono 3 (LIU, 1999). Estão presentes na soja 12 formas químicas de isoflavonas: os glicosídeos (daidzina, genistina e glicitina), as agliconas (daidzeína, genisteína e gliciteína), as formas acetil-glicosídicas (acetil-daidzina, acetil-genistina e acetil-glicitina) e as formas malonil-glicosídicas (malonil-daidzina, malonil-genistina e malonil-glicitina) (PENHA et al., 2007). As isoflavonas podem apresentar atividades estrogênicas, antifúngicas, antitumoral em mama e próstata, e antioxidante. As atividades biológicas mais acentuadas devem-se as agliconas genisteína e daidzeína (LIGGINS et al., 2000).

Em 1999, o Food and Drug Administration (FDA) autorizou o uso da alegação dos benefícios a saúde em alimentos contendo proteínas de soja, atestando o papel deste componente na redução do risco de doenças cardiovasculares. Esse órgão conclui que, alimentos contendo proteína de soja associados a uma dieta de baixo teor de gordura saturada, podem reduzir o risco de doença cardiovascular, pela diminuição dos níveis de colesterol (FDA, 1999). O teor de proteína dos grãos de soja é de aproximadamente 40%, essa composição pode variar com o genótipo e com as condições edafoclimáticas. Do ponto de vista nutricional, a proteína da soja pode substituir razoavelmente as proteínas de origem animal, por conter todos os aminoácidos essenciais e em proporção adequada (DAY, 2013).

2.2.3 Lipoxigenases

Lipoxigenases (LOX) são enzimas que catalisam a adição de oxigênio molecular aos ácidos graxos polinsaturados. Pelo menos seis isoenzimas LOX estão presentes nas plantas de soja (IASSONOVA et al., 2009). Porém, nas sementes são encontradas na forma de três isoenzimas (LOX 1, 2 e 3) e sua ausência é determinada geneticamente pela recessividade de determinados alelos, que possuem herança mendeliana simples (KITAMURA et al., 1983). Os sabores e odores desagradáveis dos produtos da soja são atribuídos à ação dessas enzimas formando hidroperóxidos dos ácidos graxos polinsaturados. Programas de melhoramento genético vêm desenvolvendo cultivares especiais de soja, tipo alimento, isentos de enzimas LOX (AZEVEDO et al., 2004) e medidas tecnológicas também são usadas como o processamento térmico dos grãos, especialmente o branqueamento, para inativar as LOX, podendo, assim, aumentar a aceitabilidade da soja e de seus produtos (CIABOTTI et al., 2007).

O processo de branqueamento utilizado nos grãos de soja para inativação das enzimas lipoxigenases, pode diminuir a qualidade nutricional do produto subsequente, como observado por Ciabotti et al. (2006), em que o processo de branqueamento realizado no início do processamento de grãos de soja reduziu o teor de alguns minerais, em especial fósforo, cobre, zinco, ferro, do extrato de soja, bem como no conteúdo de minerais do tofu.

Em contrapartida, Martins et al. (2002) verificaram que a eliminação genética das lipoxigenases das sementes de soja não afeta negativamente suas características agronômicas. Lima et al. (2007) analisaram o efeito do retardamento da colheita na qualidade de sementes de quatro genótipos similares fenotipicamente, mas contrastantes quanto à presença de lipoxigenases e quanto ao teor de ácido linolênico, e observaram que os genótipos com ausência de lipoxigenases nas sementes apresentaram a melhor qualidade fisiológica.

2.3 ETAPAS DO LANÇAMENTO DE UMA CULTIVAR

No melhoramento genético da soja normalmente estão envolvidas várias fases, desde o desenvolvimento das populações, processo de seleção e avaliações das linhagens. Em uma primeira fase são desenvolvidas as populações segregantes, por meio de hibridações. Tal processo busca aliar em uma única linhagem características favoráveis observadas em linhagens distintas. Para tanto, é necessário a correta escolha dos genitores a serem cruzados, que depende das características a serem melhoradas, do tipo de controle genético dos caracteres e da fonte de germoplasma disponível. Após a formação da população segregante (F_2) é realizada sua condução, podendo ser de diferentes maneiras (RAMALHO; ABREU; SANTOS, 2001).

Os métodos de melhoramento mais utilizados para condução das populações segregantes em soja, são: genealógico (“pedigree”), população (“bulk”), SSD (“Single Seed Descent”) e derivados, teste em gerações precoces e retrocruzamentos (DESTRO; MONTALVÁN, 1999). Modificações e/ou combinações de métodos também são usadas, alternativamente, no processo de avanço de gerações (ALMEIDA et al., 2009).

Após, a aplicação de um determinado método de melhoramento, as plantas são selecionadas para o estabelecimento dos testes de progênes, geralmente a partir da geração F_5 . Nesse processo de seleção, considera-se características agrônomicas tais como: uniformidade do ciclo, hábito de crescimento, porte, atributos gerais para produtividade, acamamento, além de outras características de interesse, como a composição química dos grãos. Após os testes de progênes as melhores linhagens seguem para ensaios intermediários, preliminares e finais, visando avaliar suas características agronômicas de interesse

em condições mais amplas, o que é dificultado, em muitos casos, pela inconsistência da expressão fenotípica das características foco, motivado pelo efeito ambiental (SEDIYAMA; TEIXEIRA; REIS, 2005).

Após a seleção final do(s) genótipo(s) promissor(es) este deve ser registrado e protegido junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para o estabelecimento da nova cultivar e possível utilização e comercialização.

2.4 INTERAÇÃO GENÓTIPO COM AMBIENTE

Um dos princípios básicos da herança de caracteres quantitativos é o de que o valor de um indivíduo (fenótipo) é determinado por dois componentes básicos: a constituição genética (genótipo) e uma contribuição do ambiente específico em que aquele indivíduo se encontra, como segue na formula abaixo (CHAVES, 2001):

$F = G + A$, no qual:

F: valor fenotípico;

G: valor genotípico; e

A: desvio provocado pelo ambiente.

No entanto, segundo Cruz e Carneiro (2003), ao avaliar o mesmo indivíduo em vários ambientes, frequentemente, se observa um componente adicional que influencia seu valor fenotípico, que é denominado interação entre os efeitos genotípicos e os ambientais, em que:

$F = G + A + GA$, sendo:

GA: interação entre o genótipo x ambiente.

Essa interação quantifica o comportamento diferenciado dos genótipos diante das variações ambientais. E quando se considera as inúmeras variações ambientais a que a soja é comumente submetida no Brasil e no mundo, a

interação genótipo com ambiente assume papel fundamental na manifestação fenotípica (PRADO et al., 2001).

A interação entre genótipo com ambiente pode ser classificada em dois tipos: simples e complexa. No primeiro caso, o comportamento das cultivares são concordantes em ambientes distintos, de forma que a posição relativa dos genótipos não é alterada. Porém, quando as cultivares possuem comportamento diverso, em relação aos diferentes ambientes, o que acarreta em alteração na sua classificação, a interação é denominada complexa (RAMALHO; SANTOS; ZIMMERMAN, 1993).

No melhoramento de plantas, a interação genótipo com ambientes é essencial para a eficiência do processo, pois, a maioria dos caracteres de importância para o melhoramento, são caracteres métricos (quantitativos), ou seja, apresentam distribuição contínua, possuem herança poligênica e como consequência sofrem grande influência das variações ambientais (CHAVES, 2001).

As variações ambientais podem ser divididas em: previsíveis e imprevisíveis. A primeira inclui todos os fatores permanentes do ambiente, como as categoriais gerais de clima e do tipo de solo, as características que variam de maneira sistemática, como o comprimento do dia e também as características ambientais passíveis de serem determinadas pelo homem, como data de plantio, densidade, método de preparo do solo e colheita, dentre outras. Já as variações imprevisíveis, inclui as flutuações ambientais, como quantidade de distribuição de chuvas e as variações na temperatura (CRUZ; CARNEIRO, 2003).

Diversos estudos demonstraram a participação da interação genótipo com ambiente na expressão das características fitométricas (PRADO et al., 2001; STÜLP et al., 2009; ALCÂNTRA NETO et al., 2012), nos componentes de produção (CRUZ et al., 2010; MEOTTI et al., 2012), na produtividade de grãos (ROCHA et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2012; YOKOMIZO, et al., 2013; VASCONCELOS et al., 2015) e na composição química de sementes, como no teor de proteína (ÁVILA et al. 2007, ZHE et al., 2010), óleo (MARQUES et al., 2011) e isoflavonas (LEE et al., 2003, CARRÃO-PANIZZI et al., 1999b; 2009) de soja.

2.4.1 Adaptabilidade e Estabilidade

A seleção e recomendação de genótipo mais produtivo é objetivo básico dos programas de melhoramento da soja, bem como das demais espécies cultivadas. O processo de seleção é frequentemente realizado em diferentes ambientes (ano, local e época de semeadura) (ROCHA et al., 2009). Contudo, a decisão de lançamento de novos cultivares é dificultada pela ocorrência da interação genótipo com ambiente (GA) (CARVALHO et al., 2003). Portanto, segundo Rocha et al. (2009), o estudo da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos é de fundamental importância, em especial, nas etapas finais de melhoramento, com intuito de reduzir os efeitos da interação GA e facilitar a recomendação de novos cultivares.

O conceito de adaptabilidade e estabilidade, apresenta diversas definições, mas grande parte dos pesquisadores consideram que a adaptabilidade é a capacidade dos genótipos responderem vantajosamente à melhoria do ambiente, enquanto a estabilidade refere-se a capacidade dos genótipos apresentarem comportamento altamente previsível em função das variações ambientais (CRUZ; CARNEIRO, 2003).

Segundo Pelúzio et al. (2008), as análises de adaptabilidade e estabilidade são procedimentos estatísticos que permitem identificar as cultivares de comportamento mais estáveis e que respondem previsivelmente às variações ambientais.

Diversos métodos tem sido usados para avaliar a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja, em que, as diferenças entre eles se encontram nos próprios conceitos de estabilidade e nos procedimentos biométricos empregados para medi-la (BARROS et al., 2012).

Esses métodos podem ser dispostos em grupos. Aqueles que são embasados em análise de variância, expressam apenas a estabilidade fenotípica, ou seja, não há estimativa da adaptabilidade das cultivares e as estimativas do parâmetro estabilidade são expressas em componentes quadráticos (quadrados médios ou componentes de variância) (CRUZ; CARNEIRO, 2003). Dentre essas metodologia estão o método tradicional, o de Plaisted e Peterson (1959) e Wricke (1965).

Em outra classe, a análise de adaptabilidade e estabilidade é realizada a partir de equações de regressão linear, como proposto por Finlay e

Wilkinson (1963) e também por Eberhart e Russel (1966). O estudo da adaptabilidade e estabilidade através de regressões também ocorre pela utilização de regressão bissegmentada como proposto por Verma, Chahal e Murty (1978), e prevê a estimativa de duas retas de regressão, uma para os ambientes desfavoráveis e a outra para os ambientes favoráveis, essa metodologia foi aperfeiçoada por Silva e Barreto (1985) e posteriormente por Cruz, Torres e Vencosvsky (1989).

Algumas metodologias que se baseiam em análise não paramétricas também são utilizadas no estudo da adaptabilidade e estabilidade de genótipos, como os métodos propostos por Huehn (1990), por Annicchiarico (1992), por Lin e Binns (1988) e por Carneiro (1998).

Modelos de efeitos principais aditivos e interação multiplicativa (AMMI) (ZOBEL; WRIGHT; GAUCH, 1988), que combina a análise de variância, para os efeitos aditivos principais de genótipos e ambientes, com a análise de componentes principais para o efeito multiplicativo da interação genótipo com ambiente, também são uma importante ferramenta no estudo da estabilidade e adaptabilidade (ROCHA et al., 2007).

Contudo, esses métodos se baseiam em valores fenotípicos, aos quais confundem-se aos valores genotípicos e ambientais (PINHEIRO et al., 2013). Segundo Henderson (1975), o uso das equações dos modelos mistos podem prever o valor genotípico e aumentar a eficiência da seleção. As técnicas ótimas de avaliação genética envolvem, simultaneamente, a predição de valores genéticos e a estimação de componentes de variância (RESENDE, 2000). Em que, a predição de valores genéticos pode ocorrer pela melhor predição linear não-viesado (BLUP). E o procedimento de estimação de componentes de variância é o da máxima verossimilhança restrita (REML), como descrito por Patterson e Thompson (1971), que consiste no modelo misto REML/BLUP.

2.4.1.1 Regressão linear, AMMI e REML/BLUP

Dentre os modelos que fazem uso da regressão linear simples para pressupor a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos, se destaca o proposto por Eberhart e Russel (1966), em que os parâmetros utilizados para estudo da estabilidade fenotípica são definidos pelo modelo matemático:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_i I_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}, \text{ sendo:}$$

Y_{ij} : média do genótipo i, no ambiente j;

β_{0i} : média geral do genótipo i;

β_i : coeficiente de regressão que mede a resposta do genótipo i a variação ambiental;

I_j : índice ambiental;

δ_{ij} : desvio da regressão do genótipo i, no ambiente j;

ε_{ij} : erro experimental médio.

Nessa metodologia o conceito de adaptabilidade refere-se à capacidade de os genótipos responderem ao estímulo do ambiente e são classificados como: genótipos com adaptabilidade ampla ou geral ($\beta_i = 1,0$); genótipos com adaptabilidade específica a ambientes favoráveis ($\beta_i > 1,0$); e genótipos com adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis ($\beta_i < 1,0$), que pode ser confirmado por um teste t. E a variância dos desvios da regressão define a estabilidade do genótipo, em que, genótipos com valores que não diferem de zero são considerados com alta previsibilidade, ou seja, maior estabilidade, tal hipótese pode ser testada por um teste F.

Verma, Chahal e Murty (1978), assume que um genótipo ideal seria aquele com alta resposta à melhoria das condições ambientais, mas tolerante às condições de ambientes desfavoráveis. Para a identificação desse genótipo, propuseram a formação de um regressão bissegmentada, uma segmento relativo a ambientes desfavoráveis e o outro a ambientes favoráveis. Essa metodologia foi aperfeiçoada por Cruz, Torres e Vencovsky (1989), e considera:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i} + \beta_{2i} T(I_j) + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}, \text{ sendo:}$$

Y_{ij} : média do genótipo i no ambiente j;

β_{0i} : média geral da cultivar i;

β_{1i} : coeficiente de regressão linear associado a I_j ;

β_{2i} : coeficiente de regressão linear associado a $T(I_j)$;

$T(I_j)$: igual a zero, se $I_j < 0$; e igual a $I_j + I_+$, se $I_j > 0$, em que I_+ corresponde à média dos índices I_j positivos;

δ_{ij} : desvio da regressão linear;

ε_{ij} : erro experimental médio.

Pelo modelo bissegmentado considera-se como genótipo ideal aquele com alta média geral (β_0), pouco responsivo em ambientes desfavoráveis ($\beta_1 < 1,0$), responsivo em ambientes favoráveis ($\beta_1 + \beta_2 > 1,0$) e de alta estabilidade ($\delta_{ij} = 0$).

Métodos com procedimentos multivariados, como a análise AMMI, são uma importante ferramenta na análise da interação genótipo com ambiente. Os efeitos principais são aditivos e a interação é multiplicativa (ZOBEL; WRIGHT; GAUCH, 1988). Portanto, genótipos e ambientes (parte aditiva) são avaliados pela análise de variância e a interação genótipo x ambientes (parte multiplicativa), pela análise multivariada (por decomposição de valores singulares ou componentes principais) (DUARTE; VENCOSKY, 1999):

$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \rho_{ij} + \varepsilon_{ij}$, em que: $\mu + g_i + a_j$, corresponde a parte aditiva e $\sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk}$, aos efeitos multiplicativos da interação genótipo com ambiente. Sendo:

Y_{ij} : média do genótipo i, no ambiente j;

μ : média geral dos experimentos;

g_i : efeito fixo do genótipo i;

a_j : efeito fixo do ambiente j;

λ_k : K-ésimo valor singular da matriz de interações;

γ_{ik} : i-ésimo genótipo no k-ésimo vetor singular na coluna da matriz de interações;

α_{jk} : j-ésimo ambiente no k-ésimo vetor singular na linha da matriz de interações;

ρ_{ij} : resíduo adicional;

s_{ij} : erro experimental médio.

A metodologia de modelos mistos, com a melhor estimação/predição linear não-viesada REML/BLUP, permite a comparação de indivíduos ou variedades através do tempo e espaço, com correção para os efeitos ambientais, estimação de componentes de variância e predição dos valores genéticos (RESENDE, 2007). Considerando a seguinte equação de um modelo linear misto:

$y = X\beta + Z\alpha + e$, em que:

y : vetor de dados;

β : vetor dos efeitos de repetição (fixos) somados a média geral;

α : vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (aleatórios);

e : vetor de erros ou resíduos (aleatórios);

X e Z : matrizes de incidência para os referidos efeitos.

Assumindo-se como conhecidas as matrizes de variância e covariâncias dos efeitos aleatórios (G) e residuais (R), a simultânea estimação dos efeitos fixos e predição dos efeitos aleatórios podem ser obtidas pelas equações de modelos mistos dados por Henderson (1975):

$$\begin{bmatrix} X'R^{-1}X & X'R^{-1}Z \\ Z'R^{-1}X & Z'R^{-1}Z + G^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ \hat{\alpha} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'R^{-1}y \\ Z'R^{-1}y \end{bmatrix}$$

Considera-se que $E(y) = X\beta$; $E(\alpha) = E(e) = 0$ e os efeitos residuais, que incluem efeitos ambientais e genéticos não aditivos são independentemente distribuídos, com variância σ^2_e , entretanto $\text{var}(e) = I \sigma^2_e = R$; $\text{var}(y) = V = ZGZ' + R$; $\text{var}(\alpha) = A \sigma^2_\alpha = G$ e $\text{cov}(\alpha, e) = \text{cov}(e, \alpha) = 0$, em que A é a matrizes que indica o grau de parentesco entre os indivíduos.

Os efeitos fixos podem ser estimados por BLUE (Melhor Estimador Linear Não-Viesado) e os efeitos aleatórios por BLUP (Melhor Preditor Linear Não-

Viesado), sendo obtidos, preferencialmente, pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML), proposta por Patterson e Thompson (1971).

Na análise REMP/BLUP a seleção pelos maiores valores da média harmônica dos valores genotípicos (MHVG) implica simultaneamente na seleção para produtividade e estabilidade. A adaptabilidade, refere-se ao desempenho relativo dos valores genotípicos (PRVG) através dos ambientes. A seleção simultânea para produtividade, estabilidade e adaptabilidade pode ser realizada pelo método da média harmônica do desempenho relativo dos valores genéticos (MHPRVG) (RESENDE, 2007).

3 ARTIGO A:

EFEITO DA ÉPOCA DE SEMEADURA NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA E NA PRODUTIVIDADE DA SOJA TIPO ALIMENTO

3.1 RESUMO

O objetivo do trabalho foi verificar o efeito da época da semeadura na composição química e na produtividade da soja tipo alimento. Foram avaliadas oito linhagens de soja (UEL 101, UEL 112, UEL 113, UEL 114, UEL 121, UEL 122, UEL 131 e UEL 153) com ausência das enzimas lipoxigenases nos grãos e voltadas para alimentação humana. O delineamento foi em blocos casualizados com quatro repetições, desenvolvido em duas épocas de semeadura (07 e 29 de outubro de 2013) no município de Londrina, PR. Determinou-se os teores de proteína, óleo e isoflavonas dos grãos, bem como a produtividade em Kg ha^{-1} . Os dados foram submetidos à análise de variância conjunta, realizou-se a decomposição da interação genótipos x épocas de semeadura (GE), análise de componentes principais e agrupamento UPGMA. A produtividade de grãos não apresentou diferenças significativas para nenhuma das fontes de variação pelo teste F ($p < 0,05$), a maior participação da interação complexa, da interação GE, foi atribuída para os níveis de proteína com 87,82 %. As linhagens UEL 131 e UEL 153 apresentaram os maiores teores de isoflavonas totais. Os percentuais de proteína e das formas químicas das isoflavonas agliconas, glicosídeos e malonilglicosídeos foram afetadas pelas condições ambientais. As relações genótipo com os componentes químicos, obtidos pelos componentes principais, foram modificadas pelas épocas de semeadura. As linhagens mais dissimilares variaram com a data de semeadura.

Palavras-chave: *Glycine max*. Isoflavona. Óleo. Proteína. Genótipo x Ambiente.

3.2 ABSTRACT

The aim of this study was evaluate the effect of sowing date on the chemical composition and productivity of food-type soybean. Eight soybean lines were evaluate (UEL 101, UEL 112, UEL 113, UEL 114, UEL 121, UEL 122, UEL 131 e UEL 153) with absence of lipoxygenase enzymes in grains and focused on human consumption. The design was a randomized block with four replications, conducted in two sowing dates (07 and 29 October 2013). It was determined the content of protein, oil and isoflavones of grains as well as the yield in kg ha⁻¹. The data were submitted to analysis combined variance, there was the decomposition of the genotype x sowing dates (GE), principal component analysis and cluster UPGMA. The grain yield showed no significant differences for any of the sources of variation by F test ($p < 0.05$), the largest share of the complex interaction of GE interaction was attributed to protein levels with 87.82%. The lines UEL 131 and UEL 153 have the highest total isoflavone content. The protein percentage and the chemical forms of aglycone isoflavones, glycosides and malonylglycosides are affected by environmental conditions. The genotype relations with the chemical components obtained by principal components were modified by sowing dates. The most dissimilar lines varied with sowing date.

Key-words: *Glycine max.* Isoflavone. Oil. Protein. Genotype x Environment.

3.3 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é reconhecida pela *Food and Drug Administration* (FDA) como um alimento funcional, em especial pelos seus elevados níveis de proteínas (cerca de 40 %), com uma composição equilibrada de aminoácidos, o que permite substituir razoavelmente as proteínas provindas da carne e produtos lácteos (DAY, 2013). Aliado a ação das isoflavonas, que são flavonóides sintetizados exclusivamente por leguminosas, encontrados em maiores quantidades nos grãos de soja, associadas a prevenção ou redução de diversas doenças crônicas degenerativas (RIMBACH et al., 2008), além de apresentarem atividades estrogênicas e antioxidante (LIU; KANJO; MIZUTANI, 2010; MA et al., 2010).

As isoflavonas são encontradas nos grãos de soja em 12 formas químicas: agliconas (genisteína, daidzeína e gliciteína), 7-O- β -D-glicosídeos (genistina, daidzina e glicitina), 6''-O-malonil-7-O- β -glicosídeos (malonilgenistina, malonildaidzina e malonilglicitina) e 6''-O-acetil-7-O- β -D-glicosídeos (acetilgenistina, acetildaidzina e acetilglicitina) (SHAO et al., 2009).

Apesar dos benefícios evidentes do consumo da soja e de seus derivados, atualmente apenas cerca de 2 a 3 % da soja produzida é destinada para a alimentação humana (DAY, 2013). Fato extremamente relacionada a seu sabor desagradável, conhecido como beany flavor (ranço ou feijão cru), resultado da ação das enzimas lipoxigenases (LOXs) (SILVA et al., 2012). Contudo, a eliminação genética das LOXs melhoram essas características sensoriais dos alimentos de soja em virtude da menor produção do composto hexanal (SILVA; CARRÃO-PANIZZI; PRUDÊNCIO, 2009).

Fatores genéticos e ambientais, principalmente durante o período de enchimento de grãos, governam a quantidade de isoflavonas, proteínas e óleo das sementes de soja, bem como a produtividade de grãos. Diversos autores encontraram diferenças significativas para genótipos e para a interação genótipos x ambiente para os teores de isoflavonas (CARRÃO – PANIZZI et al., 2009; HOECK et al., 2000), proteína (KUMAR et al., 2006; ZHE et al., 2010) e óleo (ÁVILA et al., 2007; MARQUES et al., 2011) de grãos de soja. A existência da interação genótipos por ambiente, pode ser classificada como: simples, quando é proporcionada pela diferença de variabilidade entre genótipos nos ambientes, e complexa, quando denota a falta de correlação entre medidas de um mesmo genótipo em ambientes distintos e indica haver inconsistência na superioridade de genótipos com a variação ambiental (ROBERTSON, 1959).

A existência da interação complexa constitui um dos principais problemas para os programas de melhoramento genético, seja na seleção ou recomendação de cultivares (BUENO et al., 2013). Portanto, o presente trabalho teve como objetivo verificar o efeito da época da semeadura na composição química (isoflavonas, proteínas e óleo) e na produtividade da soja tipo alimento.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

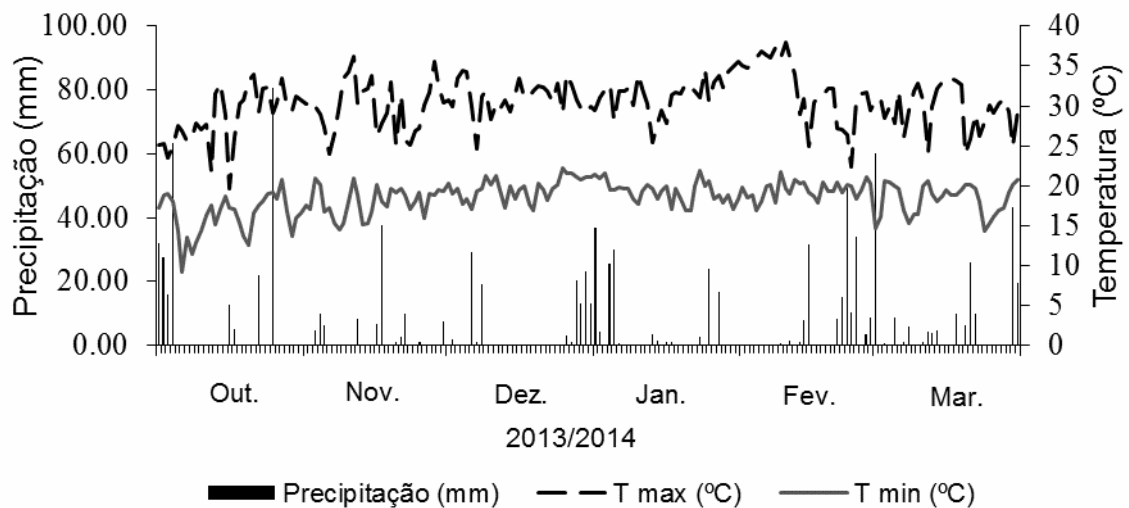
3.4.1 Genótipos e Condições Ambientais

Foram instalados dois ensaios de competição com oito linhagens de soja tipo alimento, todas pertencentes ao Programa de Melhoramento de Soja para Alimentação Humana da Universidade Estadual de Londrina (UEL), em gerações avançadas de autofecundação, com ausência total das enzimas lipoxigenases

presentes nos grãos. Essas linhagens são descritas como: UEL 101, UEL 112, UEL 113, UEL 114, UEL 121, UEL 122, UEL 131 e UEL 153.

Os ensaios foram conduzidos na safra de 2013/2014 no município de Londrina, Paraná, Brasil, latitude: 23° 20' 23.45" S, longitude: 51° 12' 32.38" W, altitude: 532 m. Classificação climática conforme Köppen-Geiger do tipo Cfa, com precipitação média anual de 1400 a 1600 mm (IAPAR, 1987). Os dados climáticos locais de precipitação pluviométrica, temperatura máxima e mínima diária, referentes ao período de duração dos ensaios são apresentados na Figura 3.1.

Figura 3.1 - Dados diários de precipitação, temperatura máxima e mínima de outubro a março do ano agrícola 2013/2014 em Londrina-PR.



Fonte: o próprio autor.

3.4.2 Condução dos Ensaio e Avaliação da Produtividade de Grãos

A semeadura foi realizada nos dias 07 (época 1) e 29 (época 2) de outubro de 2013, em delineamento de blocos completos casualizados, com quatro repetições, sendo as parcelas constituídas de quatro linhas de cinco metros de comprimento, espaçadas de 0,45 m entre si. As sementes foram tratadas com Vitavax-Thiram® (carboxanilida e dimetilditiocarbamato) na concentração de 250 mL do produto comercial para 100 Kg de semente e inoculadas, no momento da semeadura, com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* e *elkanii* na concentração de 10^9 células viáveis por mL. O sistema de manejo utilizado foi o plantio direto na palha. Os tratamentos culturais, como controle de plantas daninhas, pragas e doenças

foram realizados por meio da aplicação de defensivos químicos de acordo com as recomendações propostas pela EMBRAPA (2011).

A colheita foi realizada manualmente, após o estágio de desenvolvimento R_8 , ou seja, quando 95% das vagens apresentavam a coloração típica de vagem madura (FEHR; CAVINES, 1977) eliminando-se as duas fileiras externas, bem como 0,5 m de cada extremidade das linhas centrais como bordadura, totalizando uma área útil de 3,6 m². Após a colheita, as plantas da área útil de cada parcela foram debulhadas em máquina trilhadora estacionária. Partindo-se do rendimento de grãos das parcelas, foi calculado a produtividade de grãos em Kg ha⁻¹, com correção para 13 % de umidade.

3.4.3 Análise da Composição Química dos Grãos

Para a quantificação dos teores de proteína, óleo e isoflavonas as repetições de campo para cada linhagem foram somadas, resultando em um delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições.

Os teores percentuais de proteína e óleo foram determinados em grãos de soja íntegros pela técnica de Espectroscopia do Infravermelho Próximo (NIR) segundo Heil (2012) utilizando um analisador Antaris TM II FT-NIR.

Para a análise de isoflavonas, os grãos de soja foram previamente moídos em moinho de faca (100 mesh) e desengordurados com hexano em uma proporção de 1:10 (w/v) durante uma hora à temperatura ambiente em agitação contínua seguido de filtração sob vácuo. Posteriormente, foi realizado a extração, com a adição de 6 mL de solvente orgânico em 0,5 g de amostra, com agitação a cada 15 minutos durante uma hora à temperatura ambiente. A mistura foi centrifugada (2500 G a 4°C e 15 minutos) (Centrifuga 5804R- Eppendorf, Hamburgo, GE) e filtrada em filtro Millex – H (0,22 µm).

A separação e quantificação de isoflavonas foi realizada em Cromatógrafo Líquido de Ultra Eficiência (CLUE), como descrito por Berhow et al. (2002), com algumas modificações, da marca Waters, modelo UPLC Acquity, usando uma coluna de fase reversa do tipo BEH C18 (Waters Column) com 50 mm de comprimento x 2,1 mm de diâmetro interno e partículas de 1,7 µm. Para a separação das isoflavonas, adotou-se o sistema de gradiente linear binário, tendo como fases móveis: 1) metanol contendo 0,025% ácido trifluoroacético (TFA)

(solvente A) e 2) água ultrapura contendo 0,025% de TFA (solvente B). A condição inicial do gradiente foi de 25% para o solvente A, que aos 7 minutos atingiu a concentração de 52% para, em seguida, retornar a 25% aos 8 minutos e permanecer nestas condições até os 10 minutos. A vazão da fase móvel foi de 0,350 ml min⁻¹ e a temperatura durante a corrida de 24°C. Para a detecção das isoflavonas, foi utilizado o detector de arranjo de fotodiodos, ajustado para o comprimento de onda de 254 nm, com base nos padrões de daidzina, daidzeína, genistina, genisteína, glicitina, gliciteína e, também, os padrões das formas acetil e malonil (marcas Sigma e Fluka).

3.4.4 Análises Estatística

Foram realizadas as análises de variância individuais para todas as características em cada época e após constatação da homogeneidade das variâncias, por meio do teste de Hartley, realizou-se a análise conjunta, em esquema fatorial 8 x 2, sendo oito linhagens de soja tipo alimento e duas épocas de semeadura. Quando constatado efeito significativo, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott, a 5 % de probabilidade. A participação da interação complexa, na interação genótipo com época de semeadura, foi realizada utilizando o algoritmo proposto por Cruz e Castoldi (1991), no qual a parte complexa foi expressa por:

$$c = \sqrt{(1-r)^2} \sqrt{Q_1 Q_2}$$

Em que, Q1 e Q2 corresponderam aos quadrados médios das linhagens na primeira e segunda época de semeadura, respectivamente, e r se refere a correlação entre as médias dos genótipos nas duas épocas.

A distância genética entre as linhagens em cada época foi estimada por meio da distância euclidiana média padronizada, que baseou o método de agrupamento hierárquico *Unweighted Pair-Group Method Using an Arithmetic Average* (UPGMA). Também foi realizada a análise de componentes principais para cada época. As análises foram realizadas com o auxílio dos programas Genes (CRUZ, 2013) e R (R Development Core Team, 2012) com auxílio dos pacotes agricolae, corrplot e dendextendRcpp.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade de grãos não diferiu pelo teste F para nenhuma das fontes de variação analisadas (genótipos (G), épocas de semeadura (E) e a interação G x E). Com uma produtividade média de 3292,65 Kg ha⁻¹, as linhagens superaram em 347 e 450 kg ha⁻¹ a produtividade média de grãos, obtida no estado do Paraná e Brasil, respectivamente (CONAB, 2014). Diversos autores estudaram diferentes épocas de semeadura na soja e encontraram diferenças significativas para a interação genótipo x ambiente no rendimento de grãos, fato explicado pelas variações nas condições ambientais, em especial fotoperíodo, temperatura e pluviosidade (MARQUES et al., 2011; MEOTTI et al., 2012). Portanto, as variações climáticas provocadas pela diferença entre as datas de semeadura, não foram suficientes para refletir na produtividade de grãos. Somado ao fato, que o mês de outubro é considerado o ideal para a semeadura da soja no estado do Paraná (ALBRECHT et al., 2008; STÜLP et al., 2009).

Tabela 3.1 - Valores dos quadrados médios obtidos pela análise de variância conjunta para a composição química de grãos de oito linhagens de soja tipo alimento, avaliadas em duas épocas de semeadura, na safra 2013/2014. Londrina - PR.

Variáveis	Quadrado Médio				Média	CV (%)
	Genótipo (G)	Época (E)	G x E	Resíduo		
Proteína	4,45**	118,76**	3,74*	1,39	38,61	3,05
Óleo	4,41**	31,14**	0,81 ^{NS}	0,55	20,77	3,66
Isoflavonas total	24797,91**	41237,42**	2240,24**	37,62	197,96	3,10
β-glicosídeos						
Daidzina	787,01**	277,97**	40,68**	0,65	23,69	3,41
Glicitina	11,98**	22,49**	2,45**	0,53	3,52	20,76
Genistina	724,93**	370,80**	73,50**	0,68	39,65	2,08
Malonilglicosídeos						
Daidzina	2129,27**	3742,38**	115,56**	2,03	43,77	3,25
Glicitina	90,27**	108,92**	22,03**	3,26	8,02	22,5
Genistina	4074,13**	8270,77**	353,40**	2,4	74,61	2,08
Agliconas						
Daidzeína	3,15**	0,31**	1,26**	0,01	1,98	5,18
Gliciteína	0,169**	0,001 ^{NS}	0,021**	0,001	0,62	3,79
Genisteína	1,34**	0,47**	1,15**	0,003	2,09	2,52

**Significativo a p < 0,01, *Significativo a p < 0,05 e ^{NS}Não significativo pelo teste F.

Fonte: o próprio autor.

Contudo, o mesmo comportamento não foi observado para os componentes químicos dos grãos, em que os teores de proteínas, isoflavonas totais e suas formas químicas β -glicosídeos, malonilglicosídeos e agliconas apresentaram diferenças significativas para genótipos, épocas de semeadura e para a interação G x E, com exceção dos níveis de óleo para essa última fonte de variação (Tabela 3.1).

A presença da interação genótipo x ambiente só se torna um complicador, em um programa de melhoramento quando grande parte dessa interação for considerada complexa, ou seja, resultar em uma mudança na classificação dos genótipos, o que acarreta na dificuldade da seleção e/ou recomendação (CRUZ; CARNEIRO, 2003).

Na tabela 3.2 estão expressos as porcentagens da interação complexa para genótipo x época de semeadura, segundo o algoritmo proposto por Cruz e Castoldi (1991).

Tabela 3.2 - Estimativa da interação complexa para a composição química de oito linhagens de soja tipo alimento. Londrina – PR.

Variáveis	% da interação complexa
Proteína (%)	87,82
Isoflavonas total	34,84
B-glicosídeos	
Daidzina	19,52
Glicitina	30,65
Genistina	25,91
Malonil-glicosídeos	
Daidzina	31,18
Glicitina	55,68
Genistina	33,33
Agliconas	
Daidzeína	65,56
Gliciteína	37,74
Genisteína	80,64

Fonte: o próprio autor.

A maior participação da interação complexa foi atribuída para os níveis de proteínas com 87,82 %. A parte complexa da interação genótipos x ambientes é dada pela falta de correlação entre fenótipo, genótipo e os desvios do ambiente (CARGIN et al., 2006). O conteúdo total de isoflavonas com 34,84 % demonstra menor influência ambiental na classificação das linhagens frente as épocas de semeadura. Porém, quando as diferentes formas químicas de isoflavonas

são analisadas observa-se maior participação da interação complexa no grupo das agliconas, em especial daidzeína e genisteína e no malonilglicetina. Segundo Silva et al. (2013b) altas percentuais da interação complexa torna necessário a busca de medidas para reduzir os efeitos da interação G x E, discriminando as respostas de cada genótipo frente as variações ambientais.

As médias dos componentes químicos dos grãos de linhagens de soja tipo alimento são apresentados na Tabela 3.3. Os maiores teores de proteínas foram encontrados na primeira época de semeadura, com exceção da linhagem UEL 131 que não apresentou diferenças entre épocas. Na primeira época de semeadura ocorreu a formação de dois grupos heterogêneos, o primeiro com média de 40,72 % constituído pelas linhagens UEL 101, UEL 112, UEL 121, UEL 122 e UEL 153, e o segundo com média de 38,73 % formado pelas linhagens UEL 113, UEL 114 e UEL 131. Na segunda época de semeadura, o teste de Scott-Knott a 5 % de significância não detectou diferenças entre os genótipos.

Para os teores de óleo não foi observado interação significativa entre genótipos x época de semeadura. Porém, as fontes de variação genótipos e época de semeadura foram significativas pelo teste F ($p < 0,05$). Em média, os maiores percentuais de óleo foram encontrados nas linhagens UEL 114 e UEL 121, com 21,93 e 21,37 %, respectivamente. As linhagens UEL 131, UEL 113, UEL 122 e UEL 112, formaram o grupo subsequente, e por fim os genótipos com menores teores de óleo foram as linhagens UEL 153 e UEL 101, com 19,85 e 19,70 %, respectivamente. A primeira época de semeadura com média de 20,08 % possibilitou menor acúmulo de óleo nos grãos em comparação com a segunda época de semeadura com 21,47 %.

Diversos autores relataram que os níveis de proteína e óleo em grãos de soja são afetados pelas condições ambientais, em especial pela temperatura no período de enchimento de grãos (PÍPOLO; SINCLAIR; CAMARA, 2004; CARRERA et al., 2009; CARRERA et al., 2011). Porém, pelos dados climáticos obtidos durante a condução dos ensaios (Figura 3.1), foi possível mensurar que as variações de temperatura durante o ciclo e o período que correspondeu ao estágio de desenvolvimento R₅ a R₈ para as linhagens de soja semeadas na primeira época e segunda época de semeadura foram muito semelhantes. No último caso, as temperaturas máximas ficaram em torno de 32,10 e

32,45 °C, as mínimas em torno de 19,33 e 19,28 °C para a primeira e segunda épocas de semeadura, respectivamente.

Pípolo (2002) verificou que em condições em que a temperatura não consegue explicar as variações nas concentrações de proteínas, os resultados foram melhores explicados pela distribuição de chuvas durante o período de enchimento de grãos. Fato que parece ser aplicado as condições do estudo, em que o período de enchimento de grãos das linhagens semeadas na primeira época (que coincidiu ao mês de dezembro) obteve uma precipitação cerca de 20 % menor se comparada ao mesmo período das linhagens semeadas na segunda época (que aconteceu no mês de janeiro). Rangel et al. (2007) e Albrecht et al. (2008) encontraram maiores teores de proteínas em condições de baixa precipitação, o que corroboram com os resultados obtidos.

Os níveis das isoflavonas totais, que corresponde ao somatório das formas químicas β -glicosídeos, malonilglicosídeos e agliconas, foi maior para todas as linhagens, com exceção da UEL 131, na segunda época de semeadura. A linhagem UEL 131 apresentou as maiores quantidades na primeira época com 276,86 mg 100g⁻¹, seguido pela UEL 153 com 259,15 mg 100g⁻¹. Esses dois genótipos permanecerão dentre aqueles com maior acúmulo de isoflavonas nos grãos na segunda época de semeadura, em que os maiores níveis foi encontrado na linhagem UEL 153 com 293,59 mg 100g⁻¹ seguido pelo grupo formado por UEL 131 e UEL 122, com 269,76 e 261,67 mg 100g⁻¹, respectivamente. O que evidencia a predisposição genética para a síntese desse flavonóide, como relatado por Carrão-Panizzi et al. (2009).

Kim et al. (2012) atribuíram as diferenças encontradas nos teores de isoflavonas nas épocas de semeadura as condições climáticas no período do enchimento dos grãos. Chennupati, Seguin e Liu (2011) e Morrison et al. (2010) estudaram o efeito da temperatura e déficit hídrico no acúmulo de isoflavonas nos grãos de soja e relataram redução de seus teores em condições de altas temperaturas, em especial no período de R₅ a R₈.

Porém, segundo Kudou et al. (1991) as diferentes formas químicas de isoflavonas são acumuladas em maiores quantidades em períodos específicos do desenvolvimento e maturação das sementes. Portanto, condições pontuais de temperatura e precipitação são suficientes para resultar em incremento ou redução nos níveis desse bioflavonóide.

Tabela 3.3 - Composição química de grãos de oito linhagens de soja tipo alimento semeadas em 07 (Época 1) e 29 (Época 2) de outubro de 2014. Londrina – PR.

Genótipo	Proteína (%)		Óleo (%)		Isoflavonas total (mg 100g ⁻¹)		β-glicosídeos (mg 100g ⁻¹)					
							Daidzina		Glicitina		Genistina	
	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2
UEL 101	41,53 Aa	37,49 Ba	19,09	20,31	117,67 Bf	145,05 Ag	11,64 Ae	12,14 Af	3,17 Ab	2,85 Ad	28,5 3 Bf	30,12 Ag
UEL 112	39,96 Aa	37,46 Ba	19,75	21,60	120,33 Bf	173,87 Af	12,19 Be	19,86 Ae	4,49 Ba	5,58 Ab	25,5 7 Bg	34,19 Af
UEL 113	39,21 Ab	37,31 Ba	20,42	21,22	141,62 Be	187,99 Ae	17,93 Bd	23,42 Ad	3,38 Bb	4,79 Ac	31,8 6 Be	37,19 Ae
UEL 114	38,78 Ab	36,37 Ba	20,96	22,91	119,01 Bf	206,51 Ad	11,73 Be	18,83 Ae	3,08 Bb	4,23 Ac	25,7 3 Bg	37,71 Ae
UEL 121	40,31 Aa	36,17 Ba	20,45	22,29	179,53 Bc	248,30 Ac	21,30 Bc	29,49 Ac	2,09 Bc	4,31 Ac	41,0 0 Bc	49,93 Ab
UEL 122	41,37 Aa	36,89 Ba	19,61	21,81	166,42 Bd	261,67 Ab	20,53 Bc	28,60 Ac	3,61 Bb	6,76 Aa	38,0 7 Bd	46,82 Ad
UEL 131	38,21 Ab	37,58 Aa	20,75	21,50	276,86 Aa	269,76 Ab	37,78 Ab	34,73 Bb	1,94 Ac	2,53 Ad	54,9 9 Aa	48,87 Bc
UEL 153	40,44 Aa	38,74 Ba	19,56	20,13	259,15 Bb	293,59 Aa	39,78 Aa	39,17 Aa	1,68 Ac	1,87 Ad	52,2 0 Ab	51,65 Aa
	Malonilglicosídeos (mg 100g ⁻¹)						Agliconas (mg 100g ⁻¹)					
Genótipo	Malonildaidzina		Malonilglicitina		Malonilgenistina		Daidzeína		Glicetina		Genisteína	
	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2
UEL 101	19,01 Bg	27,71 Ah	7,24 Ab	6,12 Ac	43,19 Bf	62,53 Ag	1,86 Ac	1,29 Be	0,49 Ae	0,43 Be	2,56 Ab	1,88 Bd
UEL 112	22,59 Bf	37,01 Ag	11,93 Aa	12,27 Ab	40,41 Bg	60,54 Ag	1,17 Be	1,91 Ad	0,44 Af	0,47 Ad	1,56 Be	2,05 Ac
UEL 113	28,87 Be	42,43 Af	8,89 Ab	10,42 Ab	47,00 Be	65,61 Af	1,52 Bd	1,93 Ad	0,54 Ad	0,49 Bd	1,63 Be	1,71 Af
UEL 114	23,23 Bf	45,45 Ae	8,73 Ab	10,94 Ab	43,56 Bf	85,95 Ae	1,08 Be	1,28 Ae	0,40 Bg	0,62 Ac	1,47 Af	1,51 Ag
UEL 121	37,26 Bc	55,09 Ad	4,21 Bc	9,96 Ab	69,14 Bc	93,04 Ad	1,67 Bd	3,00 Aa	0,82 Aa	0,70 Bb	2,07 Bc	2,80 Aa
UEL 122	33,28 Bd	60,65 Ac	7,08 Bb	16,33 Aa	59,76 Bd	97,56 Ac	1,55 Bd	2,06 Ad	0,72 Ac	0,72 Ab	1,82 Bd	2,18 Ab
UEL 131	63,92 Ba	66,69 Ab	3,24 Ac	4,87 Ac	108,08 Aa	106,64 Ab	2,97 Ab	2,62 Bb	0,80 Aa	0,74 Ba	3,14 Aa	2,09 Bc
UEL 153	60,87 Bb	76,35 Aa	2,44 Ac	3,72 Ac	94,79 Bb	115,95 Aa	3,49 Aa	2,34 Bc	0,77 Ab	0,76 Aa	3,13 Aa	1,79 Be

Média seguidas de mesma letra (maiúscula na linha e minúscula na coluna) não diferem a $p < 0,05$ pelo teste de agrupamento de Scott-Knott.

Fonte: o próprio autor.

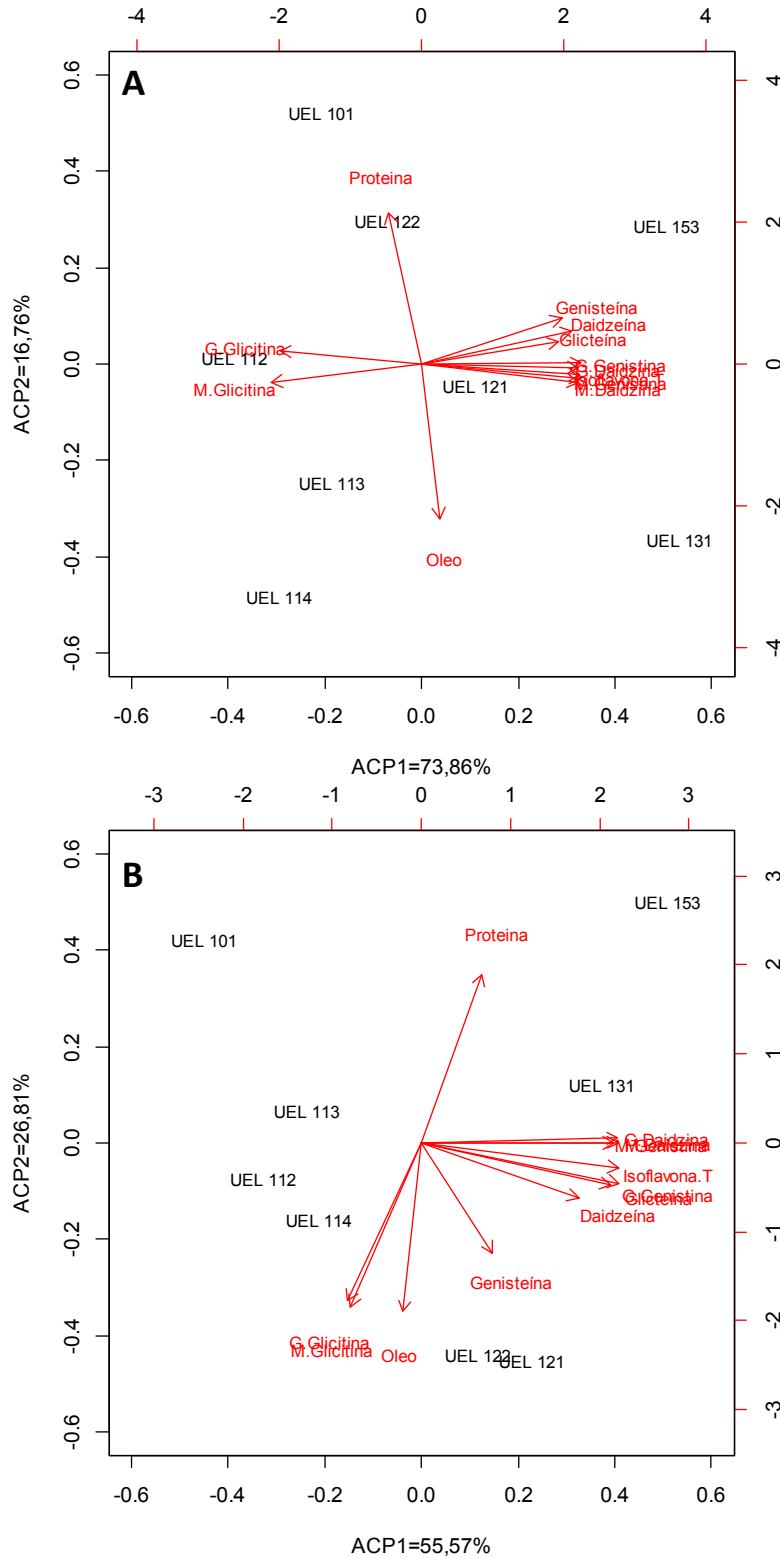
Para as linhagens UEL 112, UEL 113, UEL 114, UEL 121 e UEL 122 as maiores quantidades das três formas químicas β -glicosídeos foram encontradas na segunda época de semeadura. Em contrapartida, as linhagens UEL 153 e UEL 101 não apresentaram diferenças entre épocas para os teores das formas glicosiladas daidzina e glicitina, resultados semelhantes aos obtidos para a UEL 131 para esse último composto. A linhagem UEL 131 para as formas daidzina e genistina apresentou maior acúmulo na primeira data de semeadura.

Para as formas químicas malonildaidzina e malonilgenistina, a segunda época de semeadura se caracterizou como mais favorável em relação a primeira. Em contrapartida, somente as linhagens UEL 121 e UEL 122 apresentaram diferenças para malonilglicitina entre as épocas de semeadura, com maiores quantidades encontradas na segunda data. Para as formas daidzeína a segunda época de semeadura apresentou as melhores condições para acúmulo nos genótipos UEL 112, UEL 113, UEL 114, UEL 121 e UEL 122. Para as demais linhagens os maiores valores foram encontrados na primeira época. As concentrações de gliciteína foram maiores na primeira época para as linhagens UEL 101, UEL 113, UEL 121 e UEL 131, e maiores na segunda época somente para o material UEL 114, os demais não apresentaram diferenças entre épocas.

Kudou et al. (1991) e Kim et al. (2006) estudaram o acúmulo das diferentes formas de isoflavonas nos grãos de soja em diferentes estágios de desenvolvimento das sementes e concluíram que as formas malonilgenistéina e malonildaidzina se acumulam ao longo de todo o período de desenvolvimento das sementes, mas com quantidades superiores a 50 % de seu conteúdo total acumuladas nas etapas finais de desenvolvimento e maturação dos grãos (R₇ e R₈). Enquanto que as concentrações de gliciteína e malonilglicitina mostraram poucas mudanças ou até mesmo uma ligeira diminuição durante os estágios finais de desenvolvimento da semente. O que evidencia que os níveis das diferentes formas de isoflavonas necessitam de uma relação, em muitos casos pontual do genótipo com as condições ambientais.

A Figura 3.2A e 3.2B mostra as projeções dos atributos químicos dos grãos e as projeções das linhagens de soja tipo alimento no plano CP1 e CP2, na primeira e segunda época de semeadura, respectivamente.

Figura 3.2 - Análise de Componentes Principais (ACP) das variáveis de composição química de grãos de oito linhagens de soja tipo alimento semeadas em 07 (A) e 29 (B) de outubro de 2013. Londrina – PR.



Fonte: R Development Core Team, 2012.

Para as condições da primeira época de semeadura (Figura 3.2A) o primeiro componente principal (CP1) explicou 73,86 % da variabilidade inicial contida nas variáveis originais, e o segundo componente principal (CP2) foi responsável por mais 16,76 %, para um percentual acumulado de 90,62 %. Na segunda época de semeadura (Figura 3.2B) o CP1 explicou 55,57 % e o CP2 26,81 %, com um total acumulado de 82,38 %.

Observa-se que as relações genótipo e composição química de grãos se alteram com a época de semeadura (Figura 3.2), provavelmente pela forte interação genótipo x ambiente encontrada para alguns componentes. Na primeira época de semeadura, as linhagens UEL 101 e UEL 122 apresentaram alta relação com os níveis de proteínas, as linhagens UEL 131 e UEL 153, com os teores de isoflavonas, com exceção da glicitina e dos malonilglicitina, estes fortemente associados a linhagem UEL 112. Contudo, na segunda época a maior associação com os níveis de proteína foram obtidos com a linhagem UEL 153, as linhagens UEL 121 e UEL 122 por vez apresentaram maior relação com os níveis de óleo e com as isoflavonas genisteína. As linhagens UEL 101, UEL 113 e UEL 112, com baixas associações com os compostos químicos avaliados.

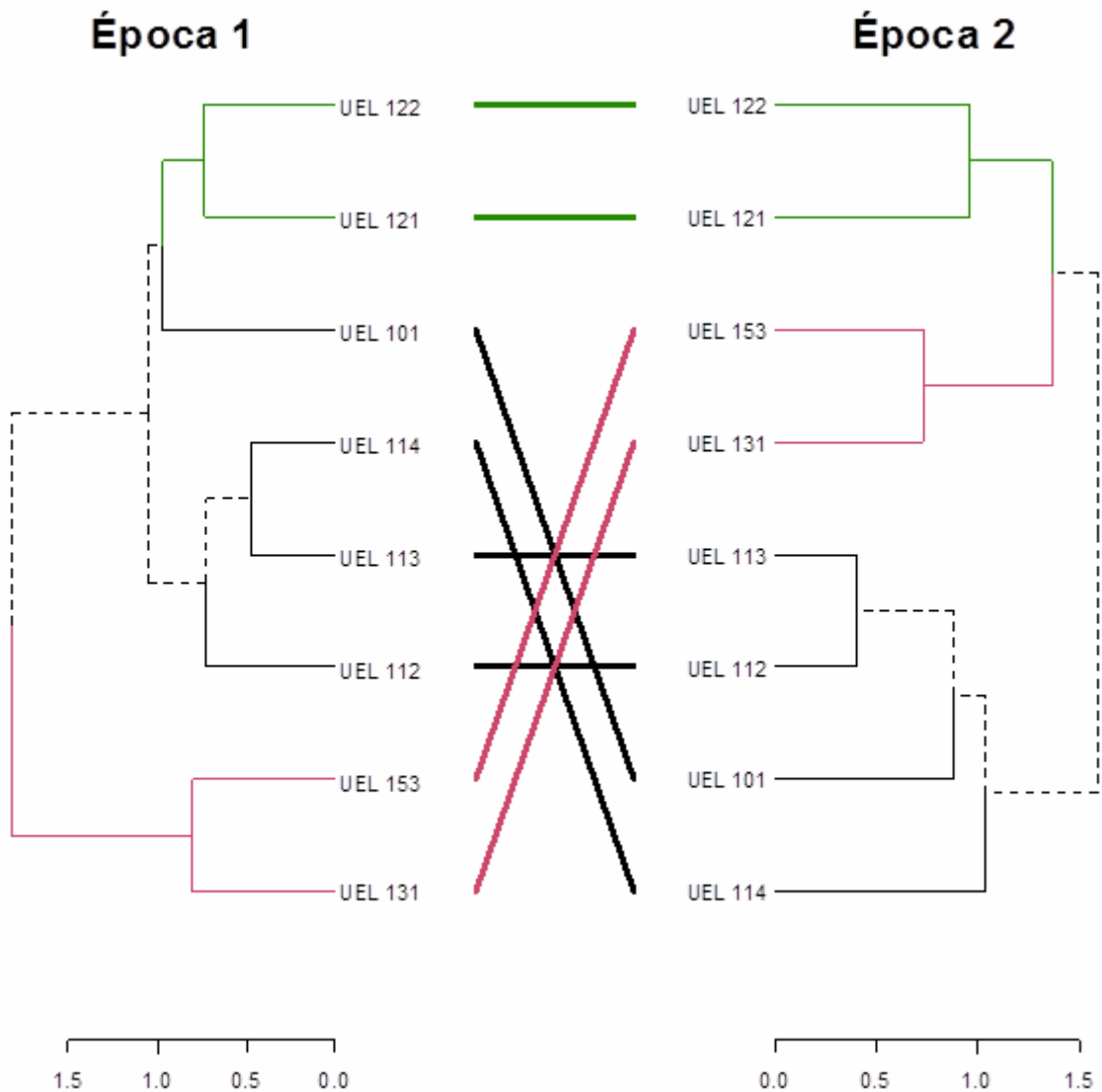
Segundo Rangel et al. (2007) fatores ambientais podem contribuir fortemente para a composição química dos grãos de soja, independentemente dos genes *per se*. Lee et al. (2003) e Hoeck et al. (2000) encontraram grande participação ambiental nos teores de isoflavonas em soja. Zhe et al. (2010) relataram a interação altamente significativa para genótipo x ambiente sobre os percentuais de proteína e óleo em grãos de soja.

Por meio da análise de duas projeções, correspondentes a dois diferentes compostos químicos dos grãos, nós permite o estudo de suas correlações pela análise de componentes principais, em que ângulos próximos de 90 °C significa correlações próximas a zero (ausentes), ângulos 0 °C corresponde a correlações igual a 1, ângulos de 180 °C significa uma correlação igual a -1, ângulos agudos se referem a correlações positivas e ângulos obtusos a correlações negativas.

Nas duas épocas de cultivo se encontrou alta correlação negativa entre os percentuais de proteína e óleo, resultados que corroboram com os obtidos por Pípolo, Sinclair e Camara (2004), Dardanelli et al. (2006), Albretch et al. (2008) e Kandil et al. (2013).

Na primeira época de semeadura as formas malonilglicitina e β -glicitina mostraram uma correlação negativa em relação as demais formas químicas de isoflavonas. Porém, na segunda época essa correlação negativa não foi observada. As formas malonil (genistina e daidzina), β -glicosídeos (genistina e daidzina) e agliconas apresentaram correlações positivas, em ambas as épocas de cultivo, resultados próximos aos encontrados por Lee et al. (2003).

Figura 3.3 - Dendrograma da dissimilaridade genética entre oito linhagens de soja tipo alimento obtidos pelo UPGMA baseado na matriz de dissimilaridade dos descritores químicos nas épocas 1 (07 de outubro) e 2 (29 de outubro de 2013). Londrina – PR.



Fonte: R Development Core Team, 2012.

Na Figura 3.3 foi representado o agrupamento UPGMA das linhagens com base na matriz de dissimilaridade obtida pela distância euclidiana média padronizada, para as variáveis de composição química de grãos, nas duas épocas de semeadura. Pela análise, foi possível visualizar a manutenção de pares de genótipos similares em ambas as épocas de cultivo, como as linhagens UEL 122 e UEL 121, bem como a UEL 153 e UEL 131. Entretanto, a data de semeadura interferiu na proximidade entre alguns pares de genótipos, pois na primeira época de semeadura as linhagens UEL 122 e UEL 121 foram as mais dissimilares em relação às linhagens UEL 131 e UEL 153 o que não foi verificado na segunda época.

Visto que, a formação desses grupos representa valiosa informação dentro do programa de melhoramento, pois cultivares em grupos mais distantes fornece o indicativo de serem consideradas as mais aptas aos cruzamentos artificiais (VILLELA et al., 2014), amplas condições ambientais devem ser testadas para a inferência da dissimilaridade genética para os componentes químicos de grãos de soja, motivado pela grande participação ambiental na expressão dessas características.

3.6 CONCLUSÕES

Os níveis de isoflavonas e de suas diferentes formas químicas, bem como os teores de proteína são afetados pela época de semeadura, em especial pelas condições de temperatura e precipitação, respectivamente.

A relação genótipo com os componentes químicos (proteína, óleo e isoflavonas) e a dissimilaridade entre as linhagens é alterada com a época de semeadura.

4 ARTIGO B:

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE PRODUTIVA DE LINHAGENS DE SOJA TIPO ALIMENTO

4.1 RESUMO

O objetivo deste estudo foi verificar a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja tipo alimento e realizar a comparação entre métodos estatísticos utilizados. Foram avaliadas dez linhagens obtidas pela Universidade Estadual de Londrina, isentas das enzimas lipoxigenases e destinadas a alimentação humana e duas cultivares comerciais de soja (BRS 257 e BMX Potência RR). O delineamento experimental foi em blocos completos ao acaso com quatro repetições. Os materiais foram semeados em quatro municípios do Estado do Paraná (Londrina, Ponta Grossa, Pato Branco e Guarapuava) em duas épocas de cultivo na safra 2014/2015, totalizando oito ambientes. A característica avaliada foi a produtividade de grãos. Para a avaliação da adaptabilidade e estabilidade foram empregados os métodos de Eberhart e Russel (1966), Cruz, Torres e Vencovsky (1989), AMMI e REML/BLUP. As linhagens UEL 110, UEL 121 e UEL 123 apresentaram alta produtividade de grãos, estabilidade e ampla adaptabilidade. Pela análise de regressão bissegmentada não foi constatado o genótipo considerado ideal. O parâmetro estabilidade fornecido pelas análises AMMI, Eberhart e Russel (1966) e Cruz, Torres e Vencovsky (1989) apresentaram relações entre si, em especial, na indicação dos genótipos de menor estabilidade. O modelo misto REML/BLUP apresentou alta relação com a classificação obtida pela média geral nos ambientes estudados.

Palavras-chave: *Glycine max.* AMMI. Melhoramento. Regressão linear. REML/BLUP.

4.2 ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the adaptability and stability of genotypes of food-type soybean and carry out the comparison between the statistical methods used. Was evaluated ten lines obtained from Universidade Estadual de Londrina, free of lipoxygenase enzymes and destined for human consumption and two soybean cultivars (BRS 257 and BMX Power RR). The experimental design was a complete randomized block design with four replications. The materials were seeded in four municipalities of Paraná State (Londrina, Ponta Grossa, Pato Branco and Guarapuava) in two cropping seasons in the harvest 2014/2015, a total of eight environments. The characteristic measured was the grain yield. To evaluate the adaptability and stability were employed Eberhart and Russell (1966), Cruz, Torres e Vencovsky (1989), AMMI and REML / BLUP. The lines UEL 110, UEL 121 and UEL 123 have a high yield, stability and wide adaptability. By bissegmented regression analysis was not evidenced the genotype considered ideal. The stability parameter provided by the analysis AMMI, Eberhart and Russell (1966) and Cruz, Torres and Vencovsky (1989) presented relations between them, in particular, in the indication of decreased stability genotypes. The mixed model REML / BLUP showed high relation with the classification obtained by the general average in the study sites.

Key-words: *Glycine max.* AMMI. Breeding. Linear regression. REML/BLUP.

4.3 INTRODUÇÃO

O rendimento de grãos é um caráter quantitativo governado por inúmeros genes e, conseqüentemente, com alta influencia ambiental. A interação genótipo x ambiente (GA) para a produtividade de grãos em soja é relatada em diversos estudos (YOKOMIZO et al., 2013; BRANQUINHO et al. 2014; HAMAWAKI et al. 2015).

Essa interação quantifica o comportamento diferenciado dos genótipos frente as variações ambientais. Devido as diversas condições em que a soja é comumente cultivada, a interação genótipo com ambiente assume papel fundamental na manifestação fenotípica (PRADO et al., 2001). Logo, deve ser estimada e considerada nos programas de melhoramento genético com o objetivo de lançamento de novas cultivares.

Diversos métodos tem sido propostos com o objetivo de se interpretar a interação GA e com isso identificar os genótipos de comportamento mais estáveis e que respondem previsivelmente as variações ambientais (PELÚZIO et al., 2008).

Nas análises de estabilidade e adaptabilidade, modelos fundamentados em regressões lineares simples ou bissegmentadas são amplamente utilizadas. Porém, metodologias recentes e que explicam adequadamente os efeitos principais (genótipo e ambiente) e a sua interação podem ser empregadas, com destaque para a análise AMMI (SILVA et al., 2011).

A análise AMMI (*additive main effects and multiplicative interaction analysis*) combina a análise de variância e de componentes principais em um único modelo, em que os efeitos principais de genótipos e ambientes formam os componentes aditivos e a interação GA os componentes multiplicativos (ZOBEL; WRIGHT; GAUCH, 1988). Esse método possibilita estimativas precisas das respostas genóticas de fácil interpretação, nos chamados biplots (representação gráfica simultânea dos genótipos e ambientes) (OLIVEIRA; DUARTE; PINHEIRO, 2003).

Contudo, esses métodos se baseiam em valores fenotípicos, aos quais confundem-se aos valores genotípicos e ambientais (PINHEIRO et al., 2013). Segundo Henderson (1975), o uso das equações dos modelos mistos podem prever o valor genotípico e aumentar a eficiência da seleção. Em que é possível obter a estimação de componentes de variância por máxima verossimilhança restrita (REML) e a predição de valores genéticos pela melhor predição linear não-viesado (BLUP), que consiste no modelo REML/BLUP (RESENDE, 2000).

Na análise REML/BLUP a seleção pelos maiores valores da média harmônica dos valores genotípicos (MHVG) implica simultaneamente na seleção para produtividade e estabilidade. A adaptabilidade, refere-se ao desempenho relativo dos valores genotípicos (PRVG) através dos ambientes. A seleção simultânea para produtividade, estabilidade e adaptabilidade pode ser realizada pelo método da média harmônica do desempenho relativo dos valores genéticos (MHPRVG).

O objetivo deste estudo foi verificar a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja tipo alimento e realizar a comparação entre os métodos estatísticos utilizados.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

Doze genótipos de soja, sendo 10 linhagens provenientes do Programa de Melhoramento de Soja para Alimentação Humana da Universidade Estadual de Londrina, todas livres das enzimas lipoxigenases, descritas como: UEL 101, UEL 110, UEL 112, UEL 113, UEL 114, UEL 115, UEL 121, UEL 122, UEL 123 e UEL 153. E as cultivares comerciais BRS 257 e BMX Potência RR. Foram semeadas nos municípios de Londrina, Guarapuava, Ponta Grossa e Pato Branco, todos no estado do Paraná, Brasil, na safra 2014/2015 em duas épocas de semeadura, totalizando oito ambientes (Tabela 4.1).

Os ensaios de competição de cultivares foram instalados mecanicamente, com semeadora de parcela dotada de quatro linhas, em delineamento de blocos completos ao acaso, com quatro repetições. As sementes foram tratadas com o produto Vitavax-thiram® (carboxanilida e dimetilditiocarbamato) na concentração de 250 mL para 100 Kg de sementes, e inoculadas no momento da semeadura com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* e *elkanii* na concentração de 10^9 células viáveis por mL. O sistema de manejo utilizado foi o plantio direto na palha. As parcelas foram formadas de quatro linhas de cinco metros de comprimento, espaçadas de 0,45 m entre si, com 13 a 16 plantas por metro.

Tabela 4.1 - Localização e caracterização climática dos oito ambientes no estado do Paraná.

Ambiente	Cidade	Semeadura	Altitude (m)	Latitude (S)	Longitude (W)	Região ¹	Clima ²
1	Londrina	07 out.	576	23° 21'	51° 09'	201	Cfa
2	Guarapuava	15 out.	1120	25° 23'	52° 27'	102	Cfb
3	PontaGrossa	16 out.	880	25° 13'	50° 01'	103	Cfb
4	Pato Branco	14 out.	760	26° 11'	52° 42'	102	Cfa
5	Londrina	04 dez.	576	23° 21'	51° 09'	201	Cfa
6	Guarapuava	05 nov.	1120	25° 23'	52° 27'	102	Cfb
7	PontaGrossa	03 nov.	880	25° 13'	50° 01'	103	Cfb
8	Pato Branco	12 nov.	760	26° 11'	52° 42'	102	Cfa

¹ Regiões edafoclimáticas, segundo Kaster e Farias (2012).

² Segundo Köppen-Geifer (IAPAR, 1987).

Fonte: o próprio autor.

A colheita foi realizada manualmente, após o estágio de desenvolvimento R8, ou seja, quando 95% das vagens apresentavam a coloração típica de vagem madura (FEHR; CAVINES, 1977) eliminando-se as duas fileiras externas, bem como 0,5 m de cada extremidade das linhas centrais como bordadura, totalizando uma área útil de 3,6 m². Os tratos culturais, como controle de plantas daninhas, pragas e doenças foram realizados através da aplicação de defensivos químicos de acordo com as recomendações propostas pela Embrapa (2011). A característica avaliada foi a produtividade de grãos, com correção para 13 % de umidade e extrapolada para toneladas por hectare.

Inicialmente, foram realizadas as análises de variância individuais e depois de verificada as magnitudes dos quadrados médios residuais, foi realizada a análise de variância conjunta. Os efeitos dos genótipos foram considerados fixos e dos ambientes aleatórios. As comparações de médias foram realizadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5 % de significância.

Para a avaliação da adaptabilidade e estabilidade foram aplicados as metodologias de regressão linear simples (EBERHART; RUSSEL, 1966), regressão linear bissegmentada (CRUZ; TORRES; VENCOVSKY, 1989), AMMI (ZOBEL; WRIGHT; GAUCH, 1988) e REML/BLUP (RESENDE, 2007).

Para a utilização do método AMMI, o modelo empregado foi:

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

Em que: Y_{ij} é a resposta média do genótipo i ($i = 1, 2, \dots, G$ genótipos) no ambiente j ($j = 1, 2, \dots, A$ ambientes); μ é a média dos ensaios; g_i é o efeito fixo do genótipo i ; α_j é o efeito fixo do ambiente j ; λ_k é o k -ésimo valor singular (escalar) da matriz de interações original (denotada por GA); γ_{ik} é o elemento correspondente ao i -ésimo genótipo, no k -ésimo vetor singular coluna da matriz GA; α_{jk} é o elemento correspondente ao j -ésimo ambiente, no k -ésimo vetor singular linha da matriz GA; ρ_{ij} é o resíduo associado ao termo $(g\alpha)_{ij}$ da interação clássica do genótipo i com o ambiente j ; ε_{ij} é o erro experimental médio.

Para a análise REML/BLUP foi utilizado o modelo estatístico para avaliação genética pelos maiores valores da média harmônica dos valores genotípicos:

$$Y = Xr + Zg + Wl + e$$

Em que: y é o vetor de observações (valores fenotípicos), r é o vetor dos efeitos das combinações repetição-local somadas à média geral, g é o vetor dos efeitos genotípicos, i é o vetor dos efeitos da interação genótipos x ambientes, sendo e o vetor de erros. As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

As análises foram realizadas com o auxílio dos programas Genes (CRUZ, 2013), Selegen (RESENDE, 2007) e R (R Development Core Team, 2012) com auxílio do pacote agricolae.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi verificado por meio da análise de variância conjunta (Tabela 4.2), que as fontes de variação genótipo (G), ambiente (A) e a interação GA foram significativas a 1 % de significância. O que permiti inferir que os ambientes avaliados eram distintos e os genótipos apresentaram respostas diferenciadas frente as variações ambientais. A média geral de produtividade de grãos foi de 2,38 t ha⁻¹. Em relação aos ambientes a produtividade variou de 1,51 t ha⁻¹ a 3,05 t ha⁻¹.

O primeiro eixo principal da análise AMMI (IPCA 1) contém o maior percentual do padrão associado à interação GA, com 31,80 % da soma de quadrados (SQ_{GA}). Somando-se ao IPCA 2, o acumulado é de 60,70 %. Ao se considerar a contribuição dos demais eixos, observou-se significância ($p < 0,01$) no IPCA 3 e IPCA 4. Contudo, segundo Oliveira, Duarte e Pinheiro (2003), a medida que se eleva o número de eixos selecionados, aumenta-se a porcentagem de “ruído”, o que reduz o poder de predição da análise AMMI. Gauch (2013) mostrou que a inclusão excessiva de termos multiplicativos pode reduzir a acurácia da análise. Portanto, considerou-se para o estudo AMMI apenas os eixos IPCA 1 e IPCA 2.

Tabela 4.2 - Análise de variância para produtividade de grãos de 12 genótipos de soja tipo alimento, incluindo a participação da interação genótipo x ambiente (GA) de acordo com o efeito aditivo principal e da interação multiplicativa (AMMI) em oito ambientes no estado do Paraná.

Fontes de variação	Grau de liberdade	Produtividade	Componentes principais (IPCA)	
			% explicada	% acumulada
Bloco/ambiente	24	0,1807		
Ambiente (A)	7	13,4199**		
Genótipos (G)	11	2,0203**		
Interação GA	77	0,3452**		
IPCA1	17	0,4977**	31,80	31,80
IPCA2	15	0,5117**	28,90	60,70
IPCA3	13	0,3272**	16,00	76,70
IPCA4	11	0,3313**	13,70	90,40
IPCA5	9	0,1496	5,10	95,50
Erro	264	0,0839		
Coeficiente de variação (%)		12,17		
Produtividade média (t ha ⁻¹)		2,38		

*, ** Significativo a 5 e 1% de probabilidade respectivamente, pelo teste F.

Fonte: o próprio autor.

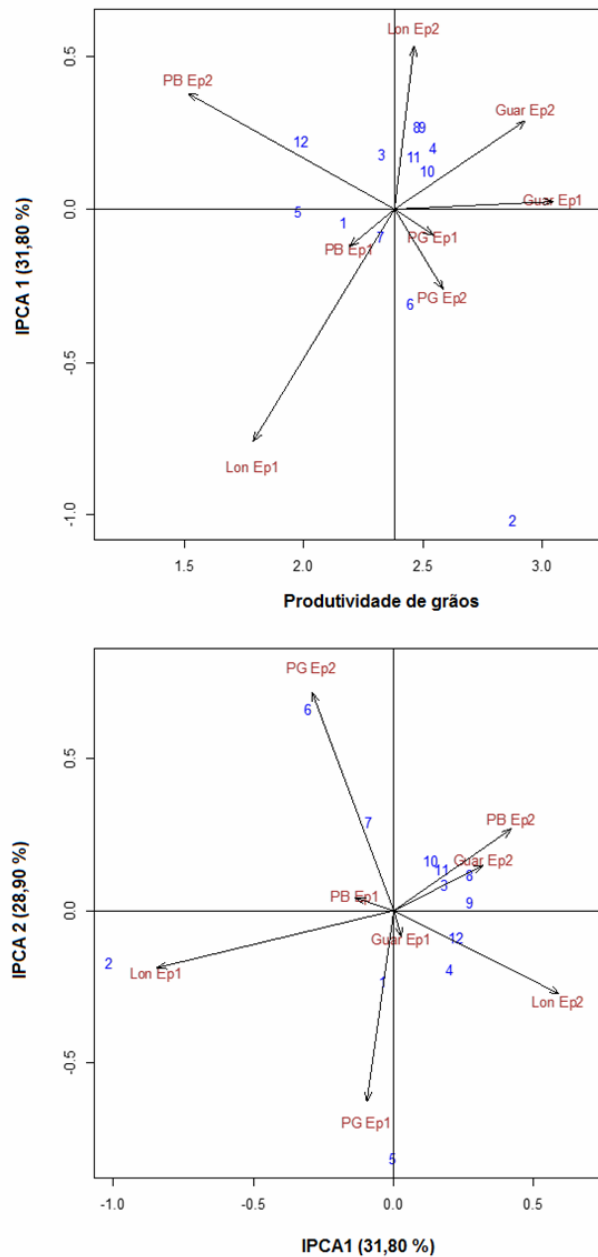
Yokomizo et al. (2013) obteve resultados da porcentagem da explicação de SQ_{GA} com os dois primeiros eixos de 57,2 %. Valores próximos aos obtidos por Maia et al. (2006), com 53,98 %, que corroboram com os resultados obtidos.

Os genótipos ou ambientes com pontos próximos à origem do sistema de coordenadas do gráfico biplot são considerados mais estáveis (DUARTE; VENCOSKY, 1999; YOKOMIZO et al., 2013). Assim, genótipos com valores próximos a zero demonstram estabilidade aos ambientes de teste e combinações de genótipos e ambientes com escores IPCA de mesmo sinal têm interações específicas positivas, consequentemente sinais opostos apresentam interações específicas negativas (OLIVEIRA; DUARTE; PINHEIRO, 2003).

No biplot AMMI 1 (produtividade média vs. IPCA 1) (Figura 4.1), verificou-se que os genótipos mais estáveis, foram: BRS 257, UEL 114, UEL 101, UEL 122 e UEL 123. Entre estes, destacaram-se as linhagens UEL 122 e UEL 123 com rendimentos acima da média geral. Assim, demonstraram adaptabilidade geral, mas com respostas superiores nas semeaduras em Guarapuava, em ambas as épocas de cultivo. A cultivar BMX Potência RR, foi o genótipo de maior contribuição

para a interação GA, pois apresentou a maior magnitude de escore no eixo de interação, embora tenha apresentado as maiores produtividades médias.

Figura 4.1 - Biplot AMMI para dados de rendimento de grãos de soja tipo alimento, com 12 genótipos de soja (1: BRS 257; 2: Potência; 3: UEL 101; 4: UEL 110; 5: UEL 112; 6: UEL 113; 7: UEL 114; 8: UEL 115; 9: UEL 121; 10: UEL 122; 11: UEL 123; 12: UEL 153) e 8 ambientes no Estado do Paraná (Lon: Londrina; Guar: Guarapuava; PG: Ponta Grossa; PB: Pato Branco) na safra 2014/2015.



Fonte: R Development Core Team, 2012.

A utilização do biplot AMMI 2 (IPCA 1 vs. IPCA 2) (Figura 4.1) permiti corrigir possíveis distorções na análise ou na interpretação produzida sob única dimensão (YOKOMIZO et al., 2013). De modo geral, o comportamento genotípico apresentado ratificou a análise anterior, somando-se aos genótipos mais estáveis as linhagens UEL 110, UEL 153, UEL 121 e UEL 115. E somou-se a cultivar BMX Potência RR, as linhagens UEL 112 e UEL 113, classificadas como de baixa estabilidade e de adaptabilidade específica aos municípios de Londrina na primeira época, Ponta Grossa na primeira época e Ponta Grossa na segunda época de semeadura, respectivamente.

Quanto aos ambientes, o município de Ponta Grossa e o de Londrina em ambas as épocas de semeadura, foram os que mais contribuíram para a interação GA, com maiores escores ambientais no eixo da interação, quando considera-se o AMMI 2. Segundo Oliveira, Duarte e Pinheiro (2003) a estabilidade ambiental informa sobre a confiabilidade no ordenamento dos genótipos num dado ambiente de teste, em relação à classificação para a média dos ambientes testados. Resultados que não corresponderam aos obtidos a partir dos índices ambientais, como propostos por Cruz, Torres e Vencovsky (1989), em que os municípios considerados desfavoráveis foram Pato Branco e Londrina; no primeiro, em ambas as épocas de semeadura e no segundo, somente na primeira época.

O índice ambiental é uma medida de qualidade ambiental, o que permiti classificar os ambientes em favoráveis ou desfavoráveis. Contudo, a crítica mais forte à utilização deste critério diz respeito à associação do índice ambiental (variável independente na regressão) com a variável dependente (MAIA et al., 2006).

A metodologia proposta por Eberhart e Russel (1966) permite inferir sobre a adaptabilidade dos genótipos com base no parâmetro β_{1i} (coeficiente de regressão) e a estabilidade com base no parâmetro δ^2_{di} (desvios de regressão). Com base nesta metodologia somente a linhagem UEL 101 e a cultivar BRS 257 apresentaram valores de $\beta_{1i} < 1$, portanto, consideradas adaptadas a ambientes desfavoráveis. Já a linhagem UEL 122 com valor de $\beta_{1i} > 1$ foi considerada adaptada apenas a ambientes favoráveis. Os demais genótipos com valores de β_{1i} estatisticamente semelhantes a 1, são considerados de ampla adaptabilidade. Os genótipos considerados estáveis ($\delta^2_{di} = 0$) foram UEL 101, UEL 114, UEL 121, UEL 153 e BRS 257 (Tabela 4.3).

Os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russel (1966) se assemelham aos utilizados pelo método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989), entretanto, este último por considerar duas retas de regressão, uma para ambientes desfavoráveis e outra para ambientes favoráveis, permite melhores conclusões sobre o comportamento dos genótipos frente as variações ambientais. Considera ainda, como genótipo ideal aquele pouco responsivo em ambientes desfavoráveis ($\beta_1 < 1,0$), responsivo em ambientes favoráveis ($\beta_1 + \beta_2 > 1,0$), de alta estabilidade ($\delta_{ij} = 0$) e boa produtividade. No conjunto de materiais estudados, tal genótipo não foi identificado (Tabela 4.3).

A cultivar BMX Potência RR e a linhagem UEL 101 se mostraram pouco responsivas nos ambientes desfavoráveis ($\beta_{1i} < 1,0$), os demais genótipos, com exceção da linhagem UEL 122, apresentaram responsividade média nos ambientes desfavoráveis ($\beta_{1i} = 1,0$). A linhagem UEL 122 foi altamente responsiva nos ambientes favoráveis ($\beta_{1i} + \beta_{2i} > 1,0$), os demais genótipos com exceção da cultivar BRS 257, apresentaram adaptabilidade ampla a ambientes favoráveis ($\beta_{1i} + \beta_{2i} = 1,0$). Em relação ao parâmetro estabilidade (δ^2_{di}) os únicos genótipos que apresentaram desvios de regressão semelhantes a zero, portanto, considerados estáveis foram as linhagens UEL 101, UEL 122 e UEL 153, juntamente com a cultivar BRS 257 (Tabela 4.3).

Segundo Raizer e Vencovsky (1999) valores de coeficiente de determinação (R^2) baixos ($< 70\%$) representa uma alta dispersão dos dados, o que indica baixa confiabilidade no tipo de resposta ambiental determinado pelas regressões. Porém, a relevância do parâmetro estabilidade pode ser minimizada nas condições em que o valor de R^2 é superior a 80% (CRUZ; CARNEIRO, 2003). Condições estas, encontradas nas linhagens UEL 110, UEL 122 e UEL 123 pelo método de Eberhart e Russel (1966) e nas linhagens UEL 110, UEL 114, UEL 121 e UEL 123 pela metodologia proposta por Cruz, Torres e Vencovsky (1989).

Tabela 4.3 - Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica, obtidos pelos métodos de Eberhart e Russel (1966) e Cruz, Torres e Vencovsky (1989), para o caráter rendimento de grãos em 12 genótipos de soja em oito ambientes no estado do Paraná, na safra 2014/2015.

Genótipos	Produtividade t ha ⁻¹	Eberhart & Russel			Cruz, Torres e Vencovsky			
		β_{1i}	δ^2_{di}	R ² (%)	β_{1i}	$\beta_{1i} + \beta_{2i}$	δ^2_{di}	R ² (%)
UEL 101	2,324 C	0,7529*	0,0008 ^{NS}	89,46	0,7230*	0,9416 ^{NS}	0,0958 ^{NS}	90,35
UEL 110	2,539 B	1,0236 ^{NS}	0,0338*	86,19	1,0922 ^{NS}	0,5903 ^{NS}	0,2163*	88,63
UEL 112	1,970 E	1,1506 ^{NS}	0,1654**	69,85	1,1688 ^{NS}	1,0358 ^{NS}	0,8914**	69,96
UEL 113	2,441 B	0,9684 ^{NS}	0,1142**	69,35	0,9326 ^{NS}	1,1947 ^{NS}	0,6362**	69,96
UEL 114	2,321 C	1,0042 ^{NS}	0,0200 ^{NS}	88,91	1,0159 ^{NS}	0,9302 ^{NS}	0,1956*	88,99
UEL 115	2,469 B	0,8165 ^{NS}	0,0496**	75,50	0,8381 ^{NS}	0,68022 ^{NS}	0,3340**	75,84
UEL 121	2,497 B	1,1355 ^{NS}	0,023 ^{NS}	90,54	1,1511 ^{NS}	1,0371 ^{NS}	0,2085*	90,65
UEL 122	2,517 B	1,3591**	0,0406**	90,73	1,2268*	2,1949**	0,1224 ^{NS}	96,16
UEL 123	2,458 B	0,9871 ^{NS}	0,0339*	85,26	0,9924 ^{NS}	0,9537 ^{NS}	0,2634*	85,28
UEL 153	1,991 E	1,1974 ^{NS}	-0,0048 ^{NS}	96,65	1,1805 ^{NS}	1,3048 ^{NS}	0,0750 ^{NS}	96,77
BRS 257	2,159 D	0,7947*	0,0207 ^{NS}	83,18	0,9154 ^{NS}	0,0323**	0,0558 ^{NS}	95,30
Potência	2,874 A	0,8099 ^{NS}	0,2333**	45,70	0,7633*	1,1045 ^{NS}	1,1989**	46,65

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 % de significância.

^{NS}, * e **: não significativo, significativo ao nível de 5 e 1 % respectivamente, pelo teste t (H₀: $\beta_{1i} = 1,0$; e $\beta_{1i} + \beta_{2i} = 0$) e pelo teste F (H₀: $\delta^2_{di} = 0$).

Fonte: o próprio autor.

O parâmetro estabilidade fornecido pelas análises AMMI, Eberhart e Russel (1966) e Cruz, Torres e Vencovsky. (1989) apresentaram relações entre si, em especial, na indicação dos genótipos de menor estabilidade. Diferentemente dos indicados pela média harmônica dos valores genotípicos (MHVG) do modelo misto REML/BLUP (Tabela 4.4), em que, em ordem decrescente para a estabilidade genotípica, foram classificados assim: BMX Potência RR, UEL 110, UEL 115, UEL 121, UEL 123, UEL 122, UEL 113, UEL 101, UEL 114, BRS 257, UEL 153 e UEL 112.

Tabela 4.4 - Estabilidade de valores genotípicos (MHVG), adaptabilidade de valores genotípicos (PRVG), estabilidade e adaptabilidade de valores genotípicos (MHPRVG) e valores genotípicos médio nos ambientes (MHPRVG * MG) para produtividade em 12 genótipos de soja em oito ambientes no estado do Paraná, na safra 2014/2015.

Genótipos	MHVG	PRVG	MHPRVG	MHPRVG * MG
UEL 153	1,8167	0,8282	0,8200	1,9516
BRS 257	2,0594	0,9126	0,9097	2,1651
Potência	2,7186	1,2144	1,1901	2,8324
UEL 101	2,2486	0,9873	0,9824	2,3381
UEL 110	2,4135	1,0671	1,0624	2,5285
UEL 112	1,7278	0,8187	0,7886	1,8769
UEL 113	2,314	1,0272	1,0188	2,4247
UEL 114	2,1901	0,974	0,9710	2,3109
UEL 115	2,3692	1,0445	1,0373	2,4688
UEL 121	2,3557	1,0456	1,0412	2,4781
UEL 122	2,3336	1,0461	1,0398	2,4747
UEL 123	2,3404	1,0343	1,0302	2,4519

Fonte: o próprio autor.

A cultivar BMX Potência RR anteriormente classificada como o genótipo de menor estabilidade, apresentou os maiores valores da MHVG dentre os doze genótipos avaliados, fato que correspondeu melhor as produtividades obtidas, onde em seis ambientes dos oito avaliados apresentou rendimentos de grãos superior as médias dos respectivos ambientes. Segundo Borges et al. (2010), os valores da MHVG são os próprios valores da produtividade de grãos, porém,

penalizados pela instabilidade, o que facilita a seleção das linhagens mais produtivas e ao mesmo tempo mais estáveis.

Os valores da performance relativa dos valores genotípicos (PRVG) e a média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG) indicam a superioridade média do genótipo em relação à média do ambiente em que for cultivado (CARBONELL et al., 2007). O valor de MHPRVG * MG fornece o valor genotípico médio das linhagens penalizados pela instabilidade e capitalizados pela adaptabilidade. Portanto, permite simultaneamente a seleção para a estabilidade, a adaptabilidade e a produtividade de grãos (BORGES et al., 2010).

Para os valores de MHPRVG os genótipos mantiveram a classificação obtida pela média geral nos ambientes estudados, com apenas a mudança de posição entre as linhagens UEL 122 e UEL 121, que correspondeu a ordem decrescente: BMX Potência RR, UEL 110, UEL 121, UEL 122, UEL 115, UEL 123, UEL 113, UEL 101, UEL 114, BRS 257, UEL 153 e UEL 112. Resultados próximos aos obtidos por Carbonell et al. (2007) que obtiveram uma coincidência de 80 % entre os melhores genótipos com base nos critérios PRVG, MHVG e MHPRVG em relação ao critério da produtividade média de grãos em feijoeiro.

Com a utilização de diferentes métodos de estudo de estabilidade e adaptabilidade é esperado alterações na classificação dos genótipos em estudo, visto os diferentes princípios empregados nas metodologias (CRUZ et al., 2003). Paula et al. (2014) no estudo de diferentes métodos de estabilidade e adaptabilidade, encontraram baixas correlações entre os parâmetros β_{1i} e δ^2_{di} do método de Eberhart e Russel (1966) com os resultados obtidos via REML/BLUP, e correlações negativas deste último modelo com a análise AMMI.

4.4 CONCLUSÕES

As linhagens UEL 110, UEL 121 e UEL 123 apresentam alta produtividade de grãos, estabilidade e ampla adaptabilidade.

O parâmetro estabilidade fornecido pelos métodos AMMI, Eberhart e Russel (1966) e Cruz, Torres e Vencovsky (1989) apresentam relações entre si, em especial, na indicação dos genótipos de menor estabilidade.

O modelo misto REML/BLUP apresenta alta relação com a classificação obtida pela média geral nos ambientes estudados.

5 CONCLUSÕES GERAIS

As linhagens UEL 131 e UEL 153 apresentam os maiores teores de isoflavonas totais.

Os níveis de isoflavonas e de suas diferentes formas químicas, bem como os teores de proteína são afetados pela época de semeadura, em especial pelas condições de temperatura e precipitação.

As linhagens UEL 110, UEL 121 e UEL 123 apresentam alta produtividade de grãos, estabilidade e ampla adaptabilidade. A linhagem UEL 122 se destaca nos ambientes considerados favoráveis.

O parâmetro estabilidade fornecido pelos métodos AMMI, Eberhart e Russel (1966) e Cruz, Torres e Vencovsky (1989) apresentam relações entre si, em especial, na indicação dos genótipos de menor estabilidade.

O modelo misto REML/BLUP apresenta alta relação com a classificação obtida pela média geral nos ambientes estudados.

REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, L. P.; BRACCINI, A. de L.; ÁVILA, M. R.; SUZUKI, L. S.; SCAPIM, C. A.; BARBOSA, M. C. Teores de óleo, proteínas e produtividade de soja em função da antecipação da semeadura na região oeste do Paraná. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 865-873, out. 2008.
- ALCÂNTRA NETO, F.; PETTER, F. A.; PAVAN, B. E.; SCHMITT, C. R.; ALMEIDA, F. A.; PACHECO, L. P.; PIAUILINO, A. C. Desempenho agrônômico de cultivares de soja em duas épocas de semeadura no cerrado piauiense. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 3, n. 3, p. 215-219, set. 2012.
- ALMEIDA, L. A.; KIIHL, R. A. S.; MIRANDA, M. A. C.; CAMPELO, G. J. A. Melhoramento da soja para regiões de baixas latitudes. In: QUEIRÓZ, M. A.; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro**. (online). Versão 1.0. Petrolina – PE: Embrapa Semi-Árido/ Brasília – DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2009. Disponível em: <<http://www.cpatsa.embrapa.br/catalogo/livroorg/sojamelhoramento.pdf>> Acesso em: 10 nov. 2012.
- ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of genetics and plant breeding**, Rome, v. 46, p. 269-278, set. 1992.
- ÁVILA, M. R.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; MANDARINO, J. M.G.; ALBRECHT, L. P.; VIDIGAL FILHO, P. S. Componentes do rendimento, teores de isoflavonas, proteínas, óleo e qualidade de sementes de soja. **Revista brasileira de sementes**, Londrina, v. 29, n. 3, p. 111-117, jul. 2007.
- AZEVEDO, P. H.; AZEVEDO, V. H.; SEDIYAMA, T.; REIS, M. S.; TEIXEIRA, R. C.; CECON, P. R. Divergência genética entre genótipos de soja ausentes de enzimas lipoxigenases. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 51, n. 298, p. 663-670, dez. 2004.
- BARBIERI, R. L.; STUMPF, E. R. T. **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 909 p.
- BARROS, H. B.; SEDIYAMA, T.; MELO, A. V.; FIDELIS, R. R.; CAPONE, A. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja por meio de métodos uni e multivariado. **Journal of biotechnology and biodiversity**, Gurupi, v.3, n. 2, p. 59-58, mai. 2012.
- BERHOW, M. A. Modern analytical techniques for flavonoid determination. In: BUSLIG, B. S.; MANTHEY, J. A. **Flavonoids in the living cell**. New York: Klusher Academic, 2002. p. 61- 76.
- BONETTI, L. P. Distribuição da soja no mundo. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, I. C. **A soja no Brasil**. [S.l.]: Embrapa. 1981. p. 1-6.
- BORGES, V.; SOARES, A. A.; REIS, M. S.; RESENDE, M. D. V.; CORNÉLIO, V. M. O.; LEITE, N. A.; VIEIRA, A. R. Desempenho genotípico de linhagens de arroz de

terras altas utilizando metodologia de modelos mistos. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 833-841, out. 2010.

BRANQUINHO, R. G.; DUARTE, J. B.; SOUZA, P. I. M. de; SILVA NETO, S. P.; PACHECO, R. M. Estratificação ambiental e otimização de rede de ensaios de genótipos de soja no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 10, p. 783-795, out. 2014.

BUENO, R. D.; BORGES, L. L.; ARRUDA, K. M. A.; BHERING, L. L.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Genetic parameters and genotype x environment interaction for productivity, oil and protein content in soybean. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 38, p. 4853-4859, out. 2013.

CARBONELL, S. A. M.; CHIORATO, A. F.; RESENDE, M. D. V.; DIAS, L. A. S.; BERALDO, A. L. A.; PERINA, E. F. Estabilidade de cultivares e linhagens de feijoeiro em diferentes ambientes no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 193-201, abr. 2007.

CARGIN, A.; SOUZA, M. A.; CARNEIRO, P. C.; SOFIATTI, V. Interação entre genótipos e ambientes e implicações em ganhos com seleção em trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 987-993, jun. 2006.

CARNEIRO, P. C. S. **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento**. 1998. 168f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

CARRÃO-PANIZZI, M. C.; BELÉIA, A. D.; FERREIRA, S. H. P.; OLIVEIRA, M. C. N.; KITAMURA, K. Effects of isoflavones on beany flavor and astringency of soymilk and cooked whole soybeans grains. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 1045-1052, jun. 1999a.

CARRÃO-PANIZZI, M. C.; BELÉIA, A. D. P.; KITAMURA, K.; OLIVEIRA, M. C. N. Effects of genetics and environment on isoflavone content of soybean from different regions of Brazil. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 34, n. 10, p. 1787-1795, out. 1999b.

CARRÃO-PANIZZI, M. C.; BERHOW, M.; MANDARINO, J. M. G.; OLIVEIRA, M. C. N. Environmental and genetic variation of isoflavone content of soybean seeds grown in Brazil. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 44, n. 11, p. 1444-1451, nov. 2009.

CARRÃO-PANIZZI, M. C.; SILVA, J. B. Soja na alimentação humana: qualidade na produção de grãos com valor agregado. In: QUINTO CONGRESSO DA SOJA DO MERCOSUL, 5., 2011, Rosario, **Anais...**Rosario: Mercosul, 2011, p. 1-3.

CARRERA, C.; MARTÍNEZ, M. J.; DARDANELLI, J.; BALZARINI, M. Water deficit effect on the relationship between temperature during the seed fill period and soybean seed oil and protein concentrations. **Crop Science**, Madison, v. 49, p. 990-998, jun. 2009.

CARRERA, C.; MARTÍNEZ, M. J.; DARDANELLI, J.; BALZARINI, M. Environmental variation and correlation of seed components in nontransgenic soybeans: Protein,

oil, unsaturated fatty acids, tocopherols, and isoflavones. **Crop Science**, Madison, v. 51, p.800-809, abr. 2011.

CARVALHO, C. G. P.; ARIAS, C. A. A.; TOLEDO, J. F. F.; ALMEDA, L. A.; KIIHL, R. A. S.; OLIVEIRA, M. F.; HIROMOTO, D. M.; TAKEDA, C. Proposta de classificação dos coeficientes de variação em relação à produtividade e altura da planta de soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 187-193, fev. 2003.

CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. **Recursos genéticos e melhoramento:Plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 673-713.

CHENNUPATI, P.; SEGUIN, P. LIU, W. Effects of high temperature stress at different development stages on soybean isoflavone and tocopherol concentrations. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 59, p. 13081-13088, nov. 2011.

CIABOTTI, S; BARCELLOS, M. F. P.; MANDARINO, J. M. G.; TARONE, A. G. Avaliações químicas e bioquímicas dos grãos, extratos e tofus de soja comum e de soja livre de lipoxigenase. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 920-929, out. 2006.

CIABOTTI, S.; BARCELOS, M. F. P.; PINHEIRO, A. C. M.; CLEMENTE, P. R.; LIMA, M. A. C. Características sensoriais e físicas de extratos e tofus de soja processada termicamente e livre de lipoxigenase. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 643-648, set. 2007.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: Grãos**. Conab, Brasília, v. 1, n. 7, p. 1-86, 2014. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_04_14_11_56_28_boletim_graos_abril_2014.pdf> Acesso em: 19 dez. 2015.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: Grãos.**Conab**, Brasília, v. 2, n. 11, p. 1-101, ago. 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_08_18_10_30_18_boletim_graos_agosto_2015.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2015.

CRUZ, C. D.; TORRES, R. A.; VENCOSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, Riberão Preto, v. 12, p. 567-580, 1989.

CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. L. Desempenho da interação genótipo x ambiente em pares simples e complexas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 38, n. 219, p. 422-430, jun. 1991.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. Interação genótipos x ambientes. In:_____. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2 ed. Viçosa: UFV, 2003. p. 435-506.

CRUZ, T. V.; PEIXOTO, C. P.; MARTINS, M. C.; PEIXOTO, M. F. S. P. Componentes de produção de soja em diferentes épocas de semeadura, no oeste da Bahia. **Bioscience journal**, Uberlândia, v. 26, n. 5, p. 709-716, out. 2010.

CRUZ, C. D. GENES – a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 35, n. 3, p. 271-276, set. 2013.

DARDANELLI, J. L.; BALZARINI, M.; MARTÍNEZ, M. J.; CUNIBERTI, M.; RESNIK, S.; RAMUNDA, S. F.; HERRERO, R.; BAIGORRI, H. Soybean maturity groups, environments, and their interaction define mega-environments for seed composition in Argentina. **Crop Science**, Madison, v. 46, p. 1939-1947, out. 2006.

DAY, L. Proteins from land plants – Potential resources for human nutrition and food security. **Trends in Food Science & Technology**, South Norfolk, v. 32, p. 25-42, ago. 2013.

DESTRO, D.; MONTALVÁN, R. **Melhoramento genético de plantas**. Londrina: editora UEL, 1999. 820 p.

DUARTE, J. B.; VENCOSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise AMMI**. Riberão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60p. (Série Monografias, 9).

EBERHART, S. A.; RUSSEL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v. 6, p. 36-40, fev. 1966.

EMBRAPA. **Uso**. 2011a. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br>>. Acesso em: 19 mai. 2014.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil 2012 e 2013**. Londrina: Embrapa Soja, 2011b. 261p.

FINLAY, K. W.; WILKINSON, G. N. The analysis of adaptation in plant-breeding programme. **Australian journal of agricultural research**, Collingwood, v. 14, p. 742-754, jan. 1963.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 12p.

FHER, W. R. Breeding for modified fatty acids composition in soybean. **Crop Science**, Madison v. 47, n. (Suplemento) 3, p. 72- 87, abr. 2007.

FDA. Food labeling: health claims; soy protein and coronary heart disease. **Federal Register**, v. 64, n. 206, p. 57699-57733, out. 1999.

GAUCH, H. G. A simple protocol for AMMI analysis of yield trials. **Crop Science**, Madison, v. 53, n. 5, p. 1860-1869, out. 2013.

HEIL, C. **Rapid, multi-component analysis of soybeans by FT-NIR Spectroscopy**. 2012. Disponível em: <<http://www.nicoletcz.cz/userfiles/files/vjegy/soybeans.pdf>>. Acesso em: 28 jun. 2014.

HAMAWAKI, R. J.; HAMAWAKI, O. T.; NOGUEIRA, A. P. O.; HAMAWAKI, C. D. L.; SOUSA, L. B.; LIGHTFOOT, D. A.; KANTARTZI, S. K. Adaptability and stability

analysis of soybean genotypes using toler and centroid methods. **American Journal of Plant Sciences**, n. 6, p. 1509-1518, jun. 2015.

HENDERSON, C. R. Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. **Biometrics**, Arlington, v. 31, n. 2, p. 423-447, jun. 1975.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 70 p. (Documentos, 349).

HOECK, J. A.; FEHR, W. E.; MURPHY, P. A.; WELKE, G. A. Influence of Genotype and Environment on Isoflavone Contents of Soybean. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 1, p. 48-51, fev. 2000.

HUEHN, M. Nonparametric measures of phenotypic stability: Part 1 Theory. **Euphytica**, Wageningen, v. 47, n. 3, p. 189-194, 1990.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 80p. (Documentos, 283).

IAPAR. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná, 1987. 35p.

IASSONOVA, D. R.; JOHNSON, L. A.; HAMMOND, E. G.; BEATTIE, S. E. Evidence of an enzymatic source of off flavors in "lipoxygenase-null" soybeans. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Boulder, v. 86, n. 1, p. 59-64, jan. 2009.

KANDIL, A. A.; SHARIEF, A. E.; MORSY, A. R.; EL-SAYED, A. I. M. Influence of planting date on some genotypes of soybean growth, yield and seed quality. **Journal of Biological Sciences**, v. 13, n. 3, p. 146-151, mai. 2013.

KASTER, M.; FARIAS, J. R. B. **Regionalização dos testes de Valor de Cultivo e Uso e da indicação de cultivares de soja**: Terceira aproximação. Londrina: Embrapa Soja, 2012. 69p. (Documentos, 330).

KIM, S.; BERHOW, M. A.; KIM, J.; CHI, H.; LEE, S.; CHUNG, I. Evaluation of soyasaponin, isoflavone, protein, lipid, and free sugar accumulation in developing soybean seeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 54, p. 10003-10010, dez. 2006.

KIM, E.; KIM S.; KIM, S.; CHUNG, I. Comparison of isoflavones and anthocyanins in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] seeds of different planting dates. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 60, p. 10196-10202, out. 2012.

KITAMURA, K.; DAVIES, C. S.; KAIZUMA, N.; NIELSEN, N. C. Genetic analysis of a null-allele for lipoxygenase-3 in soybean seeds. **Crop Science**, Madison, v. 23, n. 5, p. 924-927, set. 1983.

KUDOU, S.; FLEURY, Y.; WELTI, D.; MAGNOLATO, D.; UCHIDA, T.; KITAMURA, K.; OKUBO, K. Malonyl isoflavone glycosides in soybean seeds (*Glycine max* Merrill). **Agricultural and Biological Chemistry**, Japão, v. 55, n. 9, p. 2227-2233, jan. 1991.

KUMAR, V.; RANI, A.; SOLANKI, S.; HUSSAIN, S. M. Influence of growing environment on the biochemical composition and physical characteristics of soybean seed. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 19, p. 188-195, mai. 2006.

LEE, S. J.; YAN, W.; AHN, J. K.; CHUNG, I. M. Effects of year, site, genotype and their interactions on various soybeans isoflavones. **Field crops research**, Amsterdam, v. 81, p. 181-192, fev. 2003.

LIGGINS, J.; BLUCK, L. J. C.; RUNSWICK, S.; ATKINSON, C.; COWARD, W. A.; BINGHAM, S. A. Daidzein and genistein content of fruits and nuts. **Journal of Nutrition Biochemistry**, Cambridge, v. 11, n. 6, p. 326-331, jun. 2000.

LIMA, W. A. A.; BORÉM, A.; DIAS, D. C. F.; MORREIRA, M. A.; DIAS, L. A. S.; PIOVESAN, N. D. Retardamento de colheita como método de diferenciação de genótipos de soja para qualidade de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 186-196, out. 2007.

LIU, K. **Soybeans: chemistry, technology and utilization**. New York: Chapman & Hall, 1999. 532p.

LIU, Z.; KANJO, Y.; MIZUTANI S. A review of phytoestrogens: Their occurrence and fate in the environment. **Water Research**, Londres, v. 44, p. 567–577, jan. 2010.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian journal of plant Science**, Ottawa, v. 68, n. 3, p. 193-198, jan. 1988.

MA, W.; YUAN, L.; YU, H.; DING, B.; XI, Y.; FENG, J.; XIAO, R. Genistein as a neuroprotective antioxidant attenuates redox imbalance induced by β -amyloid peptides 25–35 in PC12 cells. **International Journal of Developmental Neuroscience**, Galveston, v. 28, p. 289-295, jun. 2010.

MAIA, M. C. C.; VELLO, N. A.; ROCHA, M. de M.; PINHEIRO, J. B.; SILVA JÚNIOR, N. F. da. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens experimentais de soja selecionadas para caracteres agronômicos através de método uni-multivariado. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 2, p. 215-226, abr. 2006.

MARQUES, M. C.; HAMAWAKI, O. T.; SEDIYAMA, T.; BUENO, M. R.; REIS, M. S.; CRUZ, C. D.; NOGUEIRA, A. P. O. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em diferentes épocas de semeadura. **Bioscience journal**, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 59-69, fev. 2011.

MARTINS, C. A. O.; SEDIYAMA, C. S.; MOREIRA, M. A.; REIS, M. S.; ROCHA, V. S.; OLIVEIRA, M. G. Efeito da eliminação genética das lipoxigenases das sementes sobre as características agronômicas da soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1389-1398, out. 2002.

MEOTTI, G. V.; BENIN, G.; SILVA, R. R.; BECHE, E.; MUNARO, L. B. Épocas de semeadura e desempenho agronômico de cultivares de soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 47, n. 1, p. 14-21, jan. 2012.

MISSÃO, R. M. Soja: origem, classificação, utilização e uma visão abrangente do mercado. **Maringá management**, Maringá, v. 3, n. 1, p. 7-15, jun. 2006.

MIYASAKA, S. Generalidades. In: _____. **A soja no Brasil central**. [S. l.]: Fundação Cargill, 1986. p. 3-19.

MORRISON, M. J.; COBER, E. R.; SALEEM, M. F.; MCLAUGHLIN, N. B.; FRÉGEAU-REID, J.; MA, B. L.; WOODROW, L. Seasonal changes in temperature and precipitation influence isoflavone concentration in short-season soybean. **Field Crops Research**, v. 117, p. 113-121, mai. 2010.

MÜLLER, L. Taxonomia e morfologia. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. **A soja no Brasil**. [S.l.]: Embrapa. 1981. p. 65-72.

OLIVEIRA, A. B.; DUARTE, J. B.; PINHEIRO, J. B. Emprego da análise AMMI na avaliação da estabilidade produtiva em soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 38, n. 3, p. 357-364, mar. 2003.

OLIVEIRA, L. G.; HAMAWAKI, O. T.; SIMON, G. A.; SOUSA, L. B.; NOGUEIRA, A. P. O.; REZENDE, D. F.; HAMAWAKI, C. D. L. Adaptability and stability of soybean yield in two soybean producing regions. **Bioscience jornal**, Uberlândia, v. 28, n. 6, p. 852-861, dez. 2012.

PATTERSON, H. D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. **Biometrika**, Oxford, v. 58, p. 545-554, dez. 1971.

PAULA, T. O. M.; MARINHO, C. D.; SOUZA, V.; BARBOSA, M. H. P.; PETERNELLI, L. A.; KIMBENG, C. A.; ZHOU, M. M. Relationships between methods of variety adaptability and stability in sugarcane. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 13, n. 2, p. 4216-4225, jun. 2014.

PELÚZIO, J. M.; FIDELIS, R. R.; GIONGO, P.; SILVA, J. C. da; CAPPELLARI, D.; BARROS, H. B. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em quatro épocas de semeadura no sul do Estado do Tocantins. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 1, p. 34-40, fev. 2008.

PENHA, L. A. O.; FONSECA, I. C. B.; MANDARINO, J. M.; BENASSI, V. T. A soja como alimento: valor nutricional, benefícios para a saúde e cultivo orgânico. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 25, n. 1, p. 91-102, jun. 2007.

PINHEIRO, L. C. de M.; GOD, P. I. V. G.; FARIA, V. R.; OLIVEIRA, A. G.; HASUI, A. A.; PINTO, E. H. G.; ARRUDA, K. M. A.; PIOVESAN, N. D.; MOREIRA, M. A. Parentesco na seleção para produtividade e teores de óleo e proteína em soja via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 9, p. 1246-1253, set. 2013.

PÍPOLO, A. E. **Influência da temperatura sobre as concentrações de proteína e óleo em sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. 128p. 2002. (Tese) Doutorado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

PÍPOLO, A.; SINCLAIR, T. R.; CAMARA, G. M. S. Effects of temperature on oil and protein concentration in soybean seeds cultured *in vitro*. **Annals Applied Biology**, Wellesbourne, v. 144, p. 71-76, fev. 2004.

PLAISTED, R. L.; PETERSON, L. C. A. Technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. **American Potato Journal**, Orono, v. 36, p. 381-385, nov. 1959.

PRADO, E. E.; HIROMOTO, D. M.; GODINHO, V. P. C.; UTUMI, M. M.; RAMALHO, A. R. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em cinco épocas de plantio no cerrado de Rondônia. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 625-635, abr. 2001.

QIU, L. J.; CHANG, R. Z. The Origin and History of Soybean. In: SINH, G. **The soybean: botany, production and uses**. Wallingford: CABI Publishing, 2010. 480p.

R Development Core Team. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2012.

RAIZER, A. J.; VENCOVSKY, R. Estabilidade fenotípica de novas variedades de cana-de-açúcar para o estado de São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2241-2246, dez. 1999.

RAMALHO, M. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. Interação dos genótipos por ambientes. In: _____. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: UFG, 1993, p. 137-170.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B. Melhoramento de espécies autógamas. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. **Recursos genéticos e melhoramento: Plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 201-230.

RANGEL, M. A. S.; MINUZZI, A.; BRACCINI, A. de L.; SCAPIM, C. A.; CARDOSO, P. C. Efeitos da interação genótipos x ambientes no rendimento de grãos e nos teores de proteína de cultivares de soja. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 3, p. 351-354, abr. 2007.

RESENDE, M. D. V. **Análise estatística de modelos mistos via REML/BLUP na experimentação em melhoramento de plantas perenes**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 101p. (Documentos, 47).

RESENDE, M. D. V. **Software SELEGEN-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 359p.

RIMBACH, G.; BOESCH-SAADATMANDI, C.; FRANK, J.; FUCHS, D.; WENZEL, U.; DANIEL, H.; HALL, W. L.; WEINBERG, P. D. Dietary isoflavones in the prevention of cardiovascular disease – A molecular perspective. **Food Chemical Toxicology**, v. 46, p. 1308-1319, abr. 2008.

ROBERTSON, A. The sampling variance of the genetic correlation coefficient. **Biometrics**, Arlington, v. 15, n. 3, set. 1959.

ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; CARVALHO, H. W. L.; BELARMINO FILHO, J.; RAPOSO, J. A. A.; ALCÂNTRA, J. P.; RAMOS, S. R. R.; MACHADO, C. F. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de porte semi-ereto na região Nordeste do Brasil. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 42, n. 9, p. 1283-1289, set. 2007.

ROCHA, M. M.; VELLO, N. A.; LOPES, A. C. A.; MAIA, M. C. C. Estabilidade e adaptabilidade produtiva em linhagens de soja de ciclo médio. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 6, p. 764-771, dez. 2009.

SCHUSTER, I.; VIEIRA, E. S. N.; SANTANA, H.; SINHORATI, D.; SILVA, R. B.; OLIVEIRA, M. A. R. Fluxo gênico em soja na Região Oeste do Paraná. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 515-520, abr. 2007.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; REIS, M. S. Melhoramento da soja. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2 ed. Viçosa: Editora UFV, 2005. p. 553-603.

SHAO, S.; DUNCAN, A. M.; YANG, R.; MARCONE, M. F.; RAJCAN, I.; TSAO, R. Tracking isoflavones: from soybean to soy flour, soy protein isolates to functional soy bread. **Journal of Functional Foods**, v. 1, p. 119-127, jan. 2009.

SILVA, J. G. C.; BARRETO, J. N. Aplicação de regressão linear segmentada em estudos da interação genótipo x ambiente. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 1., 1985, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 49-50.

SILVA, J. B.; CARRÃO-PANIZZI, M. C.; PUDÊNCIO, S. H. Chemical na physical composition of grain-type and food-type soybean for food processing. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.44, n. 7, p. 777-784, jul. 2009.

SILVA, G. O. da; CARVALHO, A. D. F.; VIEIRA, J. V.; BENIN, G. Verificação da adaptabilidade e estabilidade de populações de cenoura pelos métodos AMMI, GGE biplot e REML/BLUP. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p. 494-501, jul. 2011.

SILVA, J.; PRUDENCIO, S.; CARRÃO-PANIZZI, M.; GREGORUT, C.; FONSECA, F.; MATTOSO, L. Study on the flavour of soybean cultivars by sensory analysis and electronic tongue. **International journal of foodscience & technology**, London, v. 47, p. 1630-1638, ago. 2012.

SILVA, J. A. Avaliação do programa nacional de produção e uso do biodiesel no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 18-31, set. 2013a.

SILVA, T. R. C.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; GONÇALVES, L. S. A.; CANDIDO, L. S.; VITTORAZZI, C.; SCAPIM, C. A. Agronomic performance of popcorn genotypes in northern and northwestern Rio de Janeiro state. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 35, n. 1, p. 57-63, mar. 2013b.

STÜLP, M.; BRACCINI, A. L.; ALBRECHT, L. P.; ÂVILA, M. R.; SCAPIM, C. A.; SCHUSTER, I. Desempenho agrônomico de três cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura em duas safras. **Ciência & agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1240-1248, out. 2009.

- USDA – United States Departamento of Agricultures. **Oilseedds: MarketsandTrade**. 2015. Disponível em: < <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2015.
- VASCONCELOS, E. S.; REIS, M. S.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C. D. Produtividade de grãos, adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja de ciclos precoce e médio. **Semina: Ciências agrárias**, Londrina, v. 36, n. 3, p. 1203-1214, jun. 2015.
- VILLELA, O. T.; UNÊDA-TREVISOLI, S. H.; SILVA, F. M.; BÁRBARO JUNIOR, L. S.; Di MAURO, A. O. Genetic divergence of roundup ready (RR) soybean cultivars estimated by phenotypic characteristics and molecular markers. **African Journal of Biotechnology**, v. 13, n. 26, p. 2613-2625, jun. 2014.
- VERMA, M. M.; CHAHAL, G. S.; MURTY, B. R. Limitations of conventional regression analysis: a proposed modification. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 53, p. 89-91, jan. 1978.
- VIZZOTO, M.; KROLOW, A. C.; TEIXEIRA, F. C. **Alimentos funcionais: conceitos básicos**. Pelotas: Embrapa clima temperado, 2010. 20 p. (Documentos, 312).
- WRICKE, G. Zur Berechnung der Ökovalenz bei Sommerweizen und Hafer. **Zeitschrift für Pflanzenzüchtung**, Berlin, v. 52, p. 127-138, 1965.
- YOKOMIZO, G. K.; DUARTE, J. B.; VELLO, N. A.; UNFRIED, J. R. Análise AMMI da produtividade de grãos em linhagens de soja selecionadas para resistência à ferrugem asiática. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 48, n. 10, p. 1376-1384, out. 2013.
- ZHE, Y.; LAUER, J. G.; BORGES, R.; LEON, N. Effects of genotype x environment interaction on agronomic traits in soybean. **Crop science**, Madison, v. 50, p. 696-702, abr. 2010.
- ZOBEL, R. W.; WRIGHT, M. J.; GAUCH, H. G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy journal**, Madison, v. 80, p. 388-393, 1988.

APÊNDICES

APÊNDICE A

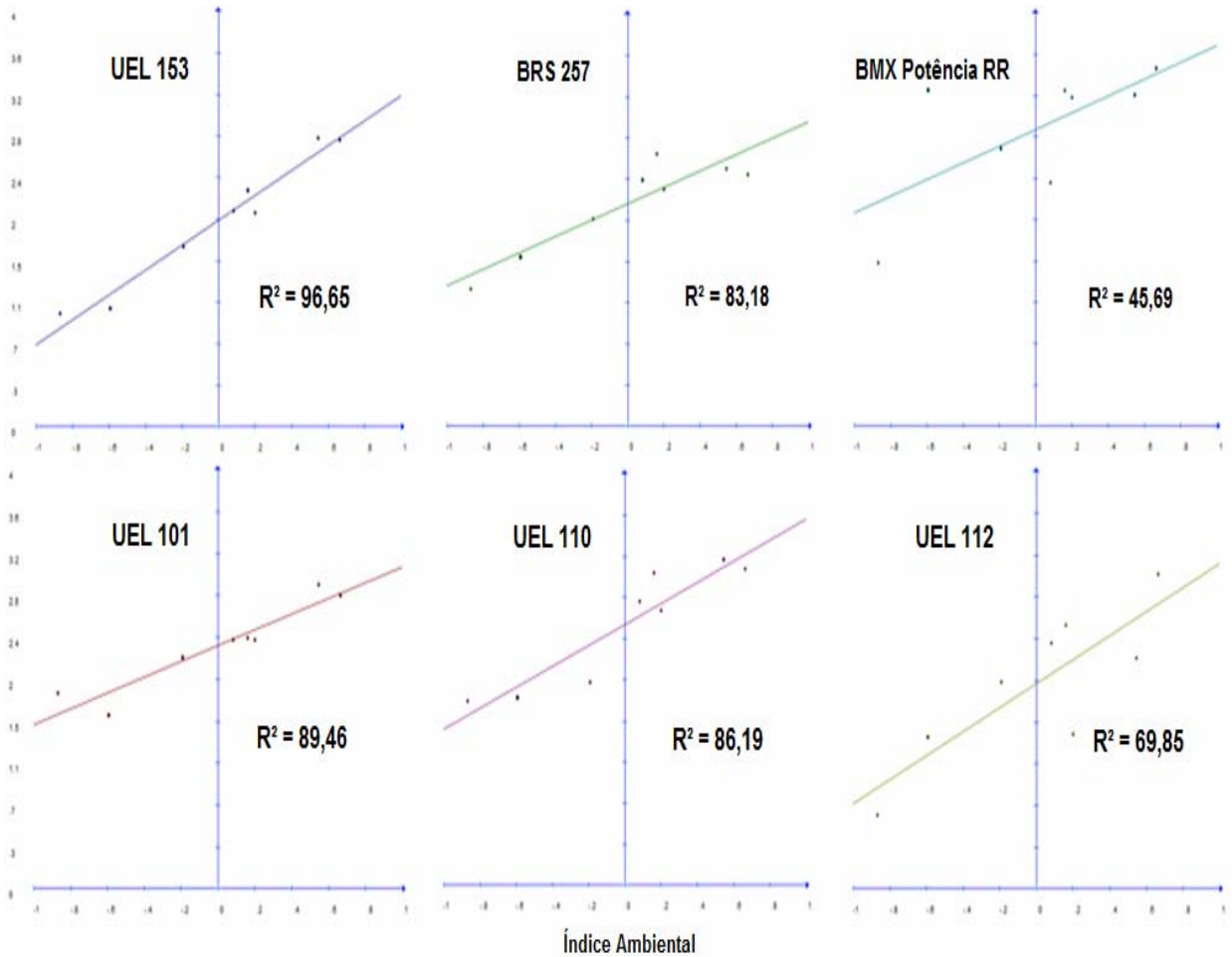
Produtividade de grãos ($t\ ha^{-1}$), variância residual (QMRes) e coeficiente de variação de doze genótipos de soja em oito ambientes no estado do Paraná.

Genótipos	Época 1				Época 2				Média
	Londrina	Guarapuava	Ponta Grossa	Pato Branco	Londrina	Guarapuava	Ponta Grossa	Pato Branco	
UEL 101	1,656	2,798	2,400	2,210	2,375	2,906	2,380	1,870	2,324
UEL 110	1,826	3,075	3,040	1,978	2,759	3,169	2,672	1,794	2,539
UEL 112	1,460	3,020	2,530	1,981	2,355	2,218	1,483	0,711	1,970
UEL 113	1,858	3,152	2,200	2,400	2,159	2,838	3,328	1,595	2,441
UEL 114	1,698	3,037	2,197	2,295	2,425	2,697	2,837	1,381	2,321
UEL 115	1,714	3,082	2,262	2,563	2,918	2,790	2,592	1,828	2,469
UEL 121	1,685	3,151	2,767	1,920	2,652	3,306	2,740	1,751	2,497
UEL 122	1,559	3,534	2,632	2,435	2,212	3,505	2,697	1,563	2,517
UEL 123	1,948	3,022	2,275	2,042	2,856	3,211	2,680	1,635	2,458
UEL 153	1,138	2,762	2,277	1,736	2,076	2,778	2,062	1,095	1,991
BRS 257	1,644	2,444	2,650	2,011	2,392	2,500	2,302	1,331	2,159
Potência	3,255	3,466	3,247	2,688	2,355	3,208	3,185	1,585	2,874
Média	1,787	3,045	2,540	2,188	2,461	2,927	2,580	1,511	
QMRes	0,0703	0,1094	0,0591	0,0635	0,1263	0,0875	0,1012	0,0541	
CV (%)	14,83	10,86	9,57	11,51	14,44	10,11	12,33	15,38	

Fonte: o próprio autor.

APÊNDICE B

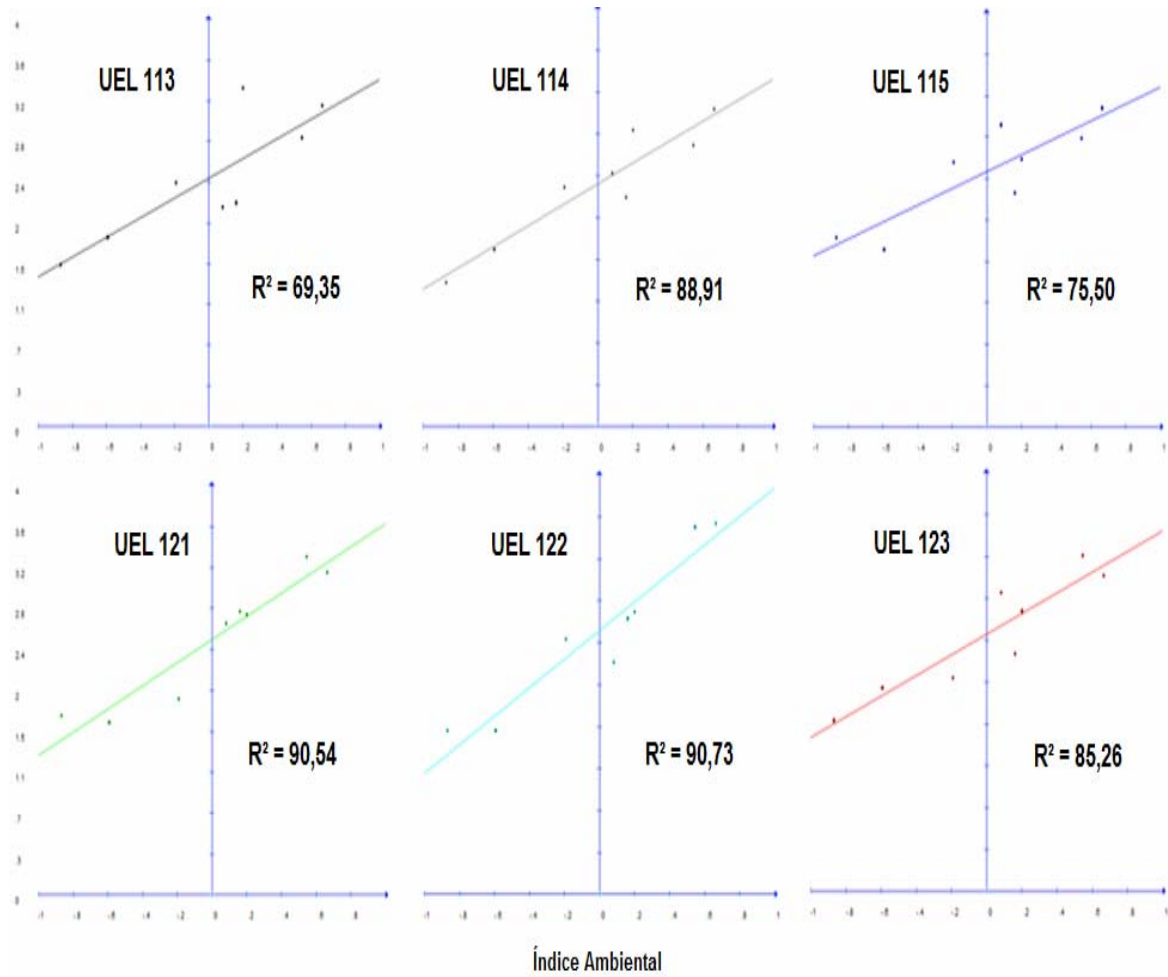
Análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica pela metodologia de Eberhart e Russel (1966) de 12 genótipos de soja em oito ambientes do estado do Paraná na safra 2014/2015.



Fonte: Software Genes (CRUZ, 2013).

APÊNDICE B

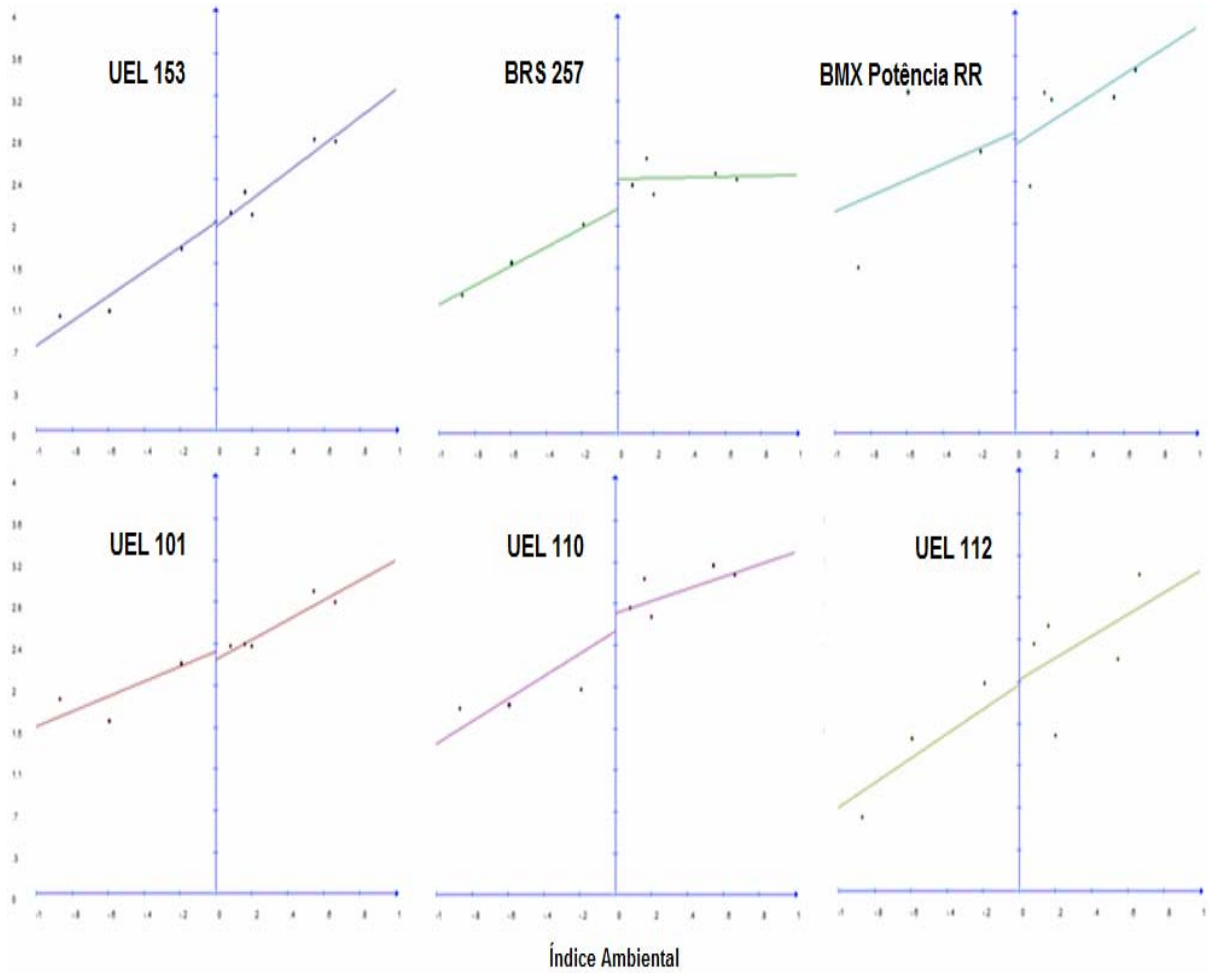
Continuação. Análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica pela metodologia de Eberhart e Russel (1966) de 12 genótipos de soja em oito ambientes do estado do Paraná na safra 2014/2015.



Fonte: Software Genes (CRUZ, 2013).

APÊNDICE C

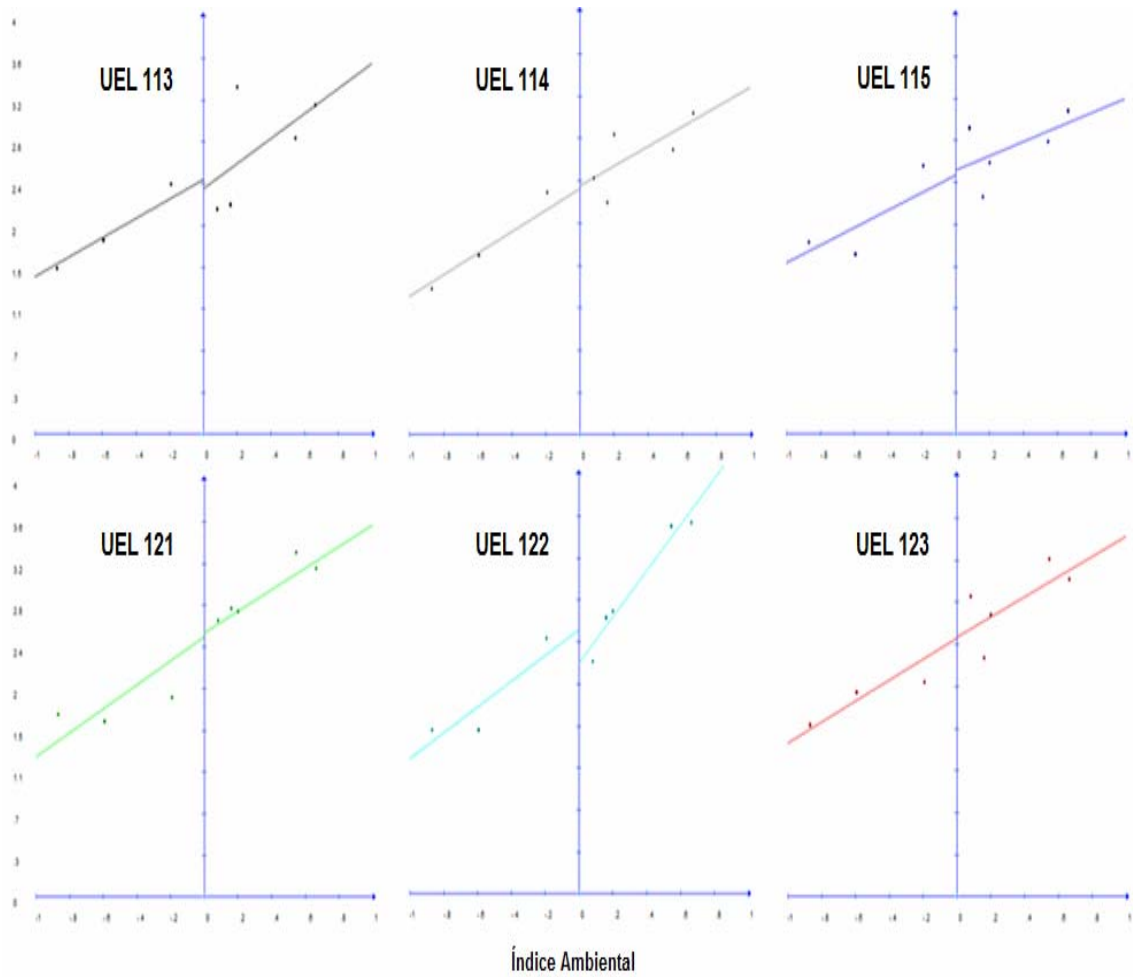
Análise bissegmentada de adaptabilidade e estabilidade fenotípica pela metodologia de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) de 12 genótipos de soja em oito ambientes do estado do Paraná na safra 2014/2015.



Fonte: Software Genes (CRUZ, 2013).

APÊNDICE C

Continuação. Análise bissegmentada de adaptabilidade e estabilidade fenotípica pela metodologia de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) de 12 genótipos de soja em oito ambientes do estado do Paraná na safra 2014/2015.



Fonte: Software Genes (CRUZ, 2013).