

VITOR SPADER

**CARACTERÍSTICAS DE PLANTAS DE SOJA ASSOCIADAS COM
ALTA PRODUTIVIDADE EM CONDIÇÃO DE ELEVADA
ALTITUDE**

**CURITIBA
2014**

VITOR SPADER

**CARACTERÍSTICAS DE PLANTAS DE SOJA ASSOCIADAS COM
ALTA PRODUTIVIDADE EM CONDIÇÃO DE ELEVADA ALTITUDE**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Cícero Deschamps

CURITIBA

2014

S732 Spader, Vitor

Características de plantas de soja associadas com alta produtividade em condição de elevada altitude. / Vitor Spader. – Curitiba : 2014.

100 f. il.

Orientador: Cícero Deschamps.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná.

Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal.

1. Soja – Cultivares. 2. Brasil, Sul - Altitudes. I. Deschamps, Cícero. II. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal. III. Título.

CDU 633.34(816)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRONOMIA - PRODUÇÃO VEGETAL




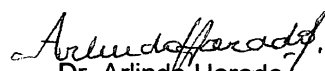
PARECER

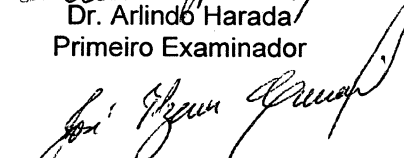
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, reuniram-se para realizar a arguição da Tese de DOUTORADO, apresentada pelo candidato **VITOR SPADER**, sob o título "**CARACTERÍSTICAS DE PLANTAS DE SOJA ASSOCIADAS COM ALTA PRODUTIVIDADE EM CONDIÇÃO DE ELEVADA ALTITUDE**", para obtenção do grau de Doutor em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

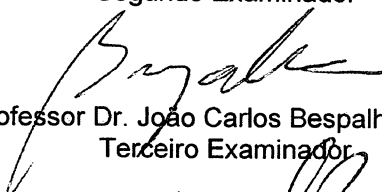
Após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato são de parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Tese.

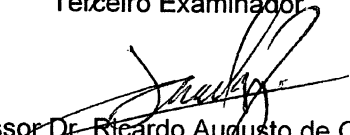
Curitiba, 15 de Dezembro de 2014.



Professor Dr. Cícero Deschamps
Coordenador do Programa


Dr. Arlindo Harada
Primeiro Examinador


Dr. José Elzevir Cavassim
Segundo Examinador


Professor Dr. João Carlos Bessalhoc Filho
Terceiro Examinador


Professor Dr. Ricardo Augusto de Oliveira
Quarto Examinador


Professor Dr. Cícero Deschamps
Presidente da Banca e Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus

Ao Prof. Dr. Cícero Deschamps pela orientação, paciência, profissionalismo e amizade dedicados.

Ao Prof. Dr. João Carlos Bespalhok Filho, pela co-orientação, paciência e auxílio nas discussões.

Aos colegas de trabalho pesquisadores da FAPA, Heraldo R. Feksa, Sandra M. V. Fontoura, Juliano L. de Almeida, Celso Wobeto, Alfred Stoetzer, e Noemir Antoniazzi, pela parceria, paciência, amizade e ensinamentos que muito contribuíram para este trabalho e para minha carreira profissional.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em Produção Vegetal, da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de realizar este estudo.

Aos professores da Pós-Graduação pela contribuição na minha formação profissional, à secretária Lucimara Antunes, pela prestatividade e a todos os amigos de curso, pelo companheirismo, estudos e amizade que tornaram este período melhor e mais gratificante.

À empresa Tropical Melhoramento Genético – TMG, em especial aos pesquisadores Dr. Romeu Afonso de Souza Kiihl, Dr. Arlindo Harada e Dr. Alexandre Garcia, pelas valiosas contribuições para este estudo e pela disponibilização do laboratório de biologia molecular e de todos os recursos para análises.

Às empresas Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária – FAPA e Cooperativa Agrária Agroindustrial, que me concederam a oportunidade de realizar este curso e os recursos necessários.

À todos os funcionários da FAPA, em especial Everton Makuch e João Francisco de Moraes, pelo importante apoio na condução dos experimentos.

À todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram para essa importante conquista na minha vida profissional.

BIOGRAFIA DO AUTOR

VITOR SPADER, filho de Genuino Spader e Antônia Albina Spader, nasceu em Catanduvas, Estado de Santa Catarina, em 09 de agosto de 1970.

Ingressou no curso de Agronomia, da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, em Lages – SC em março de 1993 e concluiu em dezembro de 1997.

Iniciou os estudos de pós-graduação em 1998, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, em Porto Alegre - RS, no curso de Fitotecnia – Plantas Daninhas, formando-se em 2000 em nível de mestrado.

Em janeiro de 2000, iniciou na empresa CVale Cooperativa Agroindustrial, trabalhando com assistência técnica e produção de sementes de soja, nos estados do Paraná e Santa Catarina, onde permaneceu até março de 2003. Neste mesmo mês, ingressou na Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária - FAPA, em Guarapuava, PR, onde atua até a atualidade, como pesquisador nas áreas de fitotecnia em soja e manejo de plantas daninhas.

Em julho de 2011 iniciou o doutoramento no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, no Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná - UFPR.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	06
LISTA DE FIGURAS.....	08
RESUMO.....	10
ABSTRACT.....	12
1 INTRODUÇÃO.....	14
2 ARQUITETURA DE PLANTAS DE SOJA EM FUNÇÃO DA CULTIVAR E DA DENSIDADE DE SEMEADURA, EM CONDIÇÃO DE ELEVADA ALTITUDE.....	16
RESUMO.....	16
ABSTRACT.....	17
2.1 INTRODUÇÃO.....	18
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
2.4 CONCLUSÕES.....	33
2.5 REFERÊNCIAS.....	34
3 COMPONENTES DO RENDIMENTO E ÍNDICE DE COLHEITA DE CULTIVARES DE SOJA COM DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTAS EM CONDIÇÃO DE ELEVADA ALTITUDE.....	38
RESUMO.....	38
ABSTRACT.....	39
3.1 INTRODUÇÃO.....	40
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	41
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
3.4 CONCLUSÕES.....	54
3.5 REFERÊNCIAS.....	54
4 ANÁLISE DE CRESCIMENTO E RENDIMENTO DE GRÃOS DE CULTIVARES DE SOJA COM DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTAS EM CONDIÇÃO DE ELEVADA ALTITUDE.....	58
RESUMO.....	58
ABSTRACT.....	59
4.1 INTRODUÇÃO.....	60

4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	62
4.3 RESULTADOS E DISSCUSSÃO.....	64
4.4 CONCLUSÃO.....	79
4.5 REFERÊNCIAS.....	79
5 DISTÂNCIA GENÉTICA ENTRE CULTIVARES DE SOJA CULTIVADAS NA REGIÃO DE ELEVADA ALTITUDE NO SUL DO BRASIL.....	85
RESUMO.....	85
ABSTRACT.....	86
5.1 INTRODUÇÃO.....	87
5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	88
5.3 RESULTADOS E DISSCUSSÃO.....	90
5.4 CONCLUSÃO.....	94
5.5 REFERÊNCIAS.....	94
6 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	96
7. ANEXOS.....	97
7.1 ANEXO I: Plantas de soja, de quatro grupos de cultivares (de acordo com a adaptação por altitude), semeadas com quatro densidades de plantas (200, 350, 500 e 650 mil plantas ha⁻¹), na Região Sul do Brasil.....	97

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1	Ciclo médio (dias) da emergência ao florescimento (E-F) e da emergência à maturação (E-M), maturidade relativa e tipo de crescimento, de doze cultivares de soja, divididas em quatro grupos de adaptação por altitude, na média de quatro densidades (200, 350, 500 e 650 mil plantas ha ⁻¹) e dois anos (2011/12 e 2012/13), semeadas na Região Sul do Brasil.....	24
TABELA 2.2	Número médio de nós na haste principal, por planta, de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas (200, 350, 500 e 650 mil plantas ha ⁻¹), na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.....	27
TABELA 2.3	Altura de inserção do primeiro vagem (cm), de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas (200, 350, 500 e 650 mil plantas ha ⁻¹), na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.....	29
TABELA 3.1	Ciclo médio (dias) da emergência ao florescimento (E-F) e da emergência à maturação (E-M), maturidade relativa e tipo de crescimento, de doze cultivares de soja, divididas em quatro grupos de adaptação por altitude, na média de quatro densidades (200, 350, 500 e 650 mil plantas ha ⁻¹) e dois anos (2011/12 e 2012/13), semeadas na Região Sul do Brasil.....	44
TABELA 3.2	Número de grãos por vagem de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.....	48
TABELA 3.3	Peso de mil grãos (g) de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.....	49
TABELA 3.4	Índice de colheita aparente (%), de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.....	51

TABELA 3.5	Rendimento de grãos (kg ha^{-1}), de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.....	53
TABELA 4.1	Índice de área foliar (IAF) ótimo, massa seca total, densidade de plantas e dias após a emergência de quatro grupos de cultivares de soja, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.....	68
TABELA 4.2	Coefficientes de correlação entre variáveis de crescimento e rendimento de grãos, aos 70 dias após a emergência, de doze cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na região Sul do Brasil.....	77
TABELA 5.1	Distância genética (Nei's original, 1972) entre doze cultivares de soja, divididas em quatro grupos de adaptação por altitude.....	92

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1	Balanço hídrico mensal, durante o período de desenvolvimento da soja, nos anos agrícolas de 2011/12 e 2012/13, no local de condução dos experimentos.....	22
FIGURA 2.2	Estatura de planta (cm), de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas (200, 350, 500 e 650 mil plantas ha ⁻¹), na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.....	25
FIGURA 2.3	Acamamento de planta (notas de 1 a 5), de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas (200, 350, 500 e 650 mil plantas ha ⁻¹), na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.....	26
FIGURA 2.4	Número de ramos por planta, de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas (200, 350, 500 e 650 mil plantas ha ⁻¹), na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.....	30
FIGURA 2.5	Distribuição de vagens (%) nos estratos superior, médio e inferior do dossel da planta, de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas (200, 350, 500 e 650 mil plantas ha ⁻¹), na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.....	32
FIGURA 3.1	Número de vagens por planta, de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.....	45
FIGURA 3.2	Número de vagens por metro quadrado, de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.....	47

FIGURA 4.1	Índice de área foliar (IAF) de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.....	67
FIGURA 4.2	Taxa de crescimento da cultura – TCC ($\text{g planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.....	69
FIGURA 4.3	Taxa de crescimento relativo – TCR ($\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.....	71
FIGURA 4.4	Taxa assimilatória líquida – TAL ($\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.....	72
FIGURA 4.5	Massa seca (g m^{-2}) de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.....	75
FIGURA 4.6	Rendimento de grãos (kg ha^{-1}), de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.....	76
FIGURA 5.1	Padrões moleculares obtidos com alguns dos primers avaliados, em 12 cultivares de soja.....	91
FIGURA 5.2	Dendrograma representativo da distância genética entre as doze cultivares de soja, divididas em quatro grupos de adaptação por altitude, obtidas pelo método UPGMA.....	93

RESUMO

A elevação da produtividade da soja requer, dentre vários fatores, a seleção de cultivares adaptadas às condições de ambiente de cada região. Para tanto, torna-se necessário conhecer as características das cultivares e suas interações com o ambiente de cultivo. Os objetivos deste estudo foram: identificar características morfofisiológicas correlacionadas com o rendimento de grãos de soja e determinar a distância genética entre cultivares adaptadas e produtivas em ambiente de elevada altitude, na Região Sul do Brasil. Foram avaliadas 12 cultivares de soja, semeadas em 4 densidades, durante as safras 2011/2012 e 2012/2013. Os experimentos foram conduzidos na Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária - FAPA, localizada na latitude 25° 33' S, longitude 51° 29' W e com 1.100 metros de altitude, em Guarapuava, Paraná, Brasil. O delineamento experimental foi blocos ao acaso, com arranjo fatorial 12 x 4 sendo: 12 cultivares de soja e 4 densidades. As cultivares foram agrupadas de acordo com a adaptação por altitude, conforme informações obtidas junto aos respectivos obtentores. No primeiro grupo foram incluídas três cultivares registradas recentemente e atualmente, cultivadas em larga escala na região de elevada altitude no sul do Brasil (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR). No segundo, três cultivares com ampla indicação, tanto para a região de alta altitude quanto na de menor altitude no centro-sul do Brasil (BMX Turbo RR, V_Top RR e TMG 7262 RR). No terceiro grupo, duas cultivares que ocupam área significativa na região de menor altitude, desde o sul até o centro do País (BMX Potência RR e BRS 284). Finalmente, no quarto grupo, quatro cultivares que foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente, porém atualmente ocupam área pouco expressiva (CD 202, BRS 232, BRS 243 RR e BRS 133) foram avaliadas. Plantas de soja com crescimento excessivo, folhas grandes e decumbentes, são mais suscetíveis ao acamamento, diminuem a distribuição da radiação, a fotossíntese líquida e a produção de fotoassimilados, no interior do dossel. Por outro lado, plantas mais compactas, com estatura reduzida, entrenós curtos, hastes e folhas eretas são mais tolerantes ao acamamento. A presença de folhas pequenas, principalmente na parte superior do dossel, permite maior penetração da radiação e dos produtos fitossanitários no interior do dossel, mantendo as folhas viáveis por mais tempo, aumentando a atividade fotossintética e formação de vagens e grãos em todas as partes da planta. O comportamento dos componentes do rendimento e o índice de colheita variam de acordo com os diferentes grupos de cultivares e com a densidade de plantas. Cultivares que toleram o aumento da densidade de plantas, produzem maior número de vagens por área comparado às demais, indicando que o aumento na densidade pode ser

uma estratégia para elevar a produtividade de soja, dependendo, das características de cada cultivar. A resposta da soja ao aumento da densidade de plantas varia entre os grupos de cultivares. As cultivares com menor estatura de planta, IAF entre 4,5 e 6,7, com folhas pequenas e eretas, principalmente na parte superior do dossel, apresentam maior tolerância ao acamamento. Estas cultivares respondem positivamente ao aumento da densidade, até valores próximos a 500 mil plantas ha⁻¹, tanto em crescimento como em acúmulo de biomassa e rendimento de grãos. Por outro lado, cultivares com elevada estatura e folhas grandes na parte superior do dossel, apresentam IAF e auto sombreamento excessivos, estiolamento e acamamento das plantas, resultando em menor fotossíntese líquida e afetando negativamente os componentes do rendimento, índice de colheita e rendimento de grãos. A distância genética entre cultivares com características favoráveis à adaptação no ambiente de elevada altitude no sul do Brasil é relativamente ampla.

Palavras-chave: *Glycine max.* (L.) Merrill, cultivares, ambiente, morfologia, fisiologia, produtividade.

ABSTRACT

Increasing soybean productivity requires, among other factors, the selection of adapted cultivars to specific environment conditions. Therefore, it becomes necessary to know the cultivar characteristics according to their interactions with the environment. The objectives of this study were to identify morphological and physiological characteristics correlated with the yield of soybean and determine the genetic distance between adapted and productive cultivars in high altitude environment, in Southern Brazil. We evaluated 12 soybean cultivars, seeded with 4 plant densities, during the years 2011/2012 and 2012/2013. The experiments were carried out at the “Fundação Agraria de Pesquisa Agropecuária FAPA”, located at latitude 25° 33 'S, longitude 51° 29' W and 1,100 meters of altitude, in Guarapuava, Parana, Brazil. The cultivars were grouped according to the altitude adaptation, according to the breeders information. The first group included three cultivars that have recently registered and which has been grown on large scale in high altitude regions of Southern Brazil (BMX Energia RR, BMX Apolo RR and BMX Ativa RR). The second, three cultivars with broad indication for both high and lower altitude regions in Central Southern Brazil (BMX Turbo RR, V_Top RR and TMG 7262 RR). In the third group, two cultivars wich occupy significant area in the lower altitude region, from the South to the center of the country (BMX Potência RR and BRS 284). Finally, in the fourth group, four cultivars which were largely cultivated until recently, but with lower cultivation area in the last years were evaluated (CD 202, BRS 232, BRS 243 RR and BRS 133). Soybean plants with excessive growth, large leaves and decumbent, are more susceptible to lodging, reduce the radiation distribution, net photosynthesis and plant assimilation within the canopy. On the other hand, more compact plants, with reduced height, short internodes, stems and erect leaves usually show lodging tolerance. Small leaves, especially on top of the canopy, allow greater radiation and pesticides penetration inside the canopy, keeping the leaves functional, improving to the photosynthetic activity and the pods and grain formation, in all parts of the plant. The yield components and harvest index vary according to the different groups of cultivars and plant density. Cultivars which tolerate increased plant density, produce the largest number of pods per area, indicating that the increase in density would be a strategy to consider to increase soybean yield, according to the cultivar characteristics. The soybean response to increased plant density varies between cultivars groups. Cultivars with lower plant height, LAI between 4.5 and 6.7, andwith small and erect leaves, especially in the upper canopy present high lodging tolerance. These cultivars respond positively to increased density until 500 000 plants ha⁻¹ for growth,

dry matter accumulation and grain yield. On the other hand, cultivars with high height and big leaves on top of the canopy, present high LAI and shading, etiolation and plant lodging, resulting in lower net photosynthesis and negatively affecting the yield components, harvest index and grain yield. The genetic distance between cultivars with high altitude adaptation in Southern Brazil conditions is relatively wide.

Keywords: *Glycine max.* (L.) Merrill, cultivars, environment, morphology, physiology, productivity.

1 INTRODUÇÃO

A soja destaca-se como uma das principais culturas agrícolas, tanto a nível mundial, com uma área plantada de aproximadamente 108 milhões de hectares, quanto nacional e estadual, sendo uma importante fonte de proteína e de óleo vegetal, para o consumo humano e animal e, recentemente como matéria prima na produção de biocombustível. O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. A soja representa aproximadamente 45% da produção total de grãos brasileira, sendo que a maior parte desse volume é exportada, na forma de grãos ou subprodutos, injetando um montante significativo de recursos na balança comercial do país, todos os anos.

O Paraná é o segundo maior produtor de soja, com mais de 15 milhões de toneladas, porém, tem se destacado com a maior produtividade, dentre os estados brasileiros. O maior produtor é o Mato Grosso, com 23,5 milhões de toneladas, mas com produtividade inferior à obtida no Paraná.

No Paraná, dentre as três maiores regiões produtoras de soja, as regiões oeste e norte, normalmente apresentam maiores níveis de produtividade, quando comparadas a região de elevada altitude no sul do estado. Comportamento semelhante também pode ser observado em toda a região sul do Brasil, onde normalmente a soja cultivada na região acima de 700 metros de altitude apresenta problemas de adaptação.

As cultivares de soja desenvolvidas nas regiões de baixa altitude e com temperaturas elevadas do Sul do Brasil, na maioria das vezes, não tem apresentado boa adaptação nas condições de cultivo acima de 700 metros de altitude, onde é comum se verificar temperatura noturna abaixo de 15 °C, durante o período de cultivo. Contudo, a disponibilidade hídrica, historicamente é maior nessa região, quando comparado com as demais regiões do Sul do Brasil, fator este, considerado como um dos mais importantes para a maximização do potencial de rendimento da soja.

Dentre os problemas observados, para a maioria das cultivares, quando semeadas nas regiões de maior altitude, no Sul do Brasil, destacam-se: alongamento do ciclo vegetativo, excessivo crescimento em estatura, alongamento dos entrenós, abortamento de flores e vagens e acamamento de planta. Isso tem dificultado a elevação dos níveis de produtividade de soja nestas regiões.

Entretanto, a área cultivada com soja, na região com elevada altitude no Sul do Brasil, é crescente nos últimos anos e já ultrapassa dois milhões de hectares. Isso tem estimulado diversas empresas de melhoramento genético de soja a investirem em programas de seleção em regiões altas e frias do Sul do Brasil e, como resultado, já estão surgindo cultivares com elevado potencial produtivo nesse ambiente.

Além disso, verifica-se que linhagens selecionadas em regiões altas e com temperatura amena, além de apresentarem melhor comportamento nesse ambiente, também tem apresentado maior probabilidade de adaptação ampla, incluindo regiões de menor altitude, quando comparadas a linhagens selecionadas em regiões quentes.

Entretanto, poucos trabalhos de pesquisa foram desenvolvidos para identificar características diferenciais que confirmam boa adaptação às cultivares de soja nas condições de cultivo das regiões com elevada altitude, do Sul do Brasil.

Assim, os objetivos deste estudo foram: identificar características morfofisiológicas correlacionados com o rendimento de grãos de soja e determinar a distância genética entre cultivares adaptadas e produtivas em ambiente de elevada altitude, na Região Sul do Brasil.

2 ARTIGO

ARQUITETURA DE PLANTAS DE SOJA EM FUNÇÃO DA CULTIVAR E DA DENSIDADE DE SEMEADURA, EM CONDIÇÃO DE ELEVADA ALTITUDE

RESUMO

A arquitetura de planta é dependente das características genéticas dos genótipos de soja e pode ser influenciada pelo manejo e pelo ambiente no local de cultivo. O presente trabalho teve como objetivos: avaliar a arquitetura de plantas, de diferentes cultivares de soja, variando a densidade de plantas e elencar características que contribuem para maximizar o potencial produtivo das cultivares, em um ambiente de 1.100 metros de altitude, no sul do Brasil. Dois experimentos foram conduzidos na Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária - FAPA, localizada na latitude 25° 33' S, longitude 51° 29' W e com 1.100 metros de altitude, em Guarapuava, PR, Brasil, nas safras de 2011/2012 e 2012/2013. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições e com os tratamentos em esquema fatorial 12 x 4, com 12 cultivares e 4 densidades de plantas (200, 350, 500 e 650 mil plantas.ha⁻¹). O tamanho da parcela foi de 3,2 m x 6,0 m, contendo 08 fileiras espaçadas em 0,4 m. Para comparar os dois anos, realizou-se análise estatística conjunta entre os anos. As variáveis foram: estatura de planta, altura de inserção da primeira vagem, acamamento de planta, ciclo e distribuição dos vagens no dossel da planta. Os resultados indicaram que: estatura elevada e folhas grandes na parte superior do dossel favoreceram o acamamento, aumentaram o auto sombreamento e o estiolamento e diminuíram a formação de vagens no estrato inferior das plantas. O aumento da densidade de plantas diminuiu a formação de ramos e aumentou a altura de inserção da primeira vagem em todas as cultivares. Plantas com hastes e folhas eretas, entrenós curtos, estatura reduzida, tolerância ao acamamento e com folhas pequenas na parte superior do dossel, mostraram-se melhor adaptadas na região de alta altitude do sul do Brasil.

Palavras-chave: *Glycine max.* (L.) Merrill, morfologia, genótipo, ambiente.

ARCHITECTURE OF SOYBEAN PLANTS UNDER DIFFERENT PLANTING DENSITY IN HIGH-ALTITUDE CONDITION

ABSTRACT

The plant architecture is dependent on the genetic characteristics and genotypes can be influenced by management and environment conditions. This study aimed to evaluate the architecture of plants of different soybean cultivars varying plant densities, identifying the plant characteristics which maximize the potential yield of cultivars in a region of 1,100 meters at Southern Brazil. Two experiments were carried out at the Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária - FAPA, located at latitude 25 ° 33 'S, longitude 51 ° 29' W and 1,100 meters of altitude, Guarapuava, PR, Brazil, during the years 2011/2012 and 2012/2013. The experimental design was a randomized block and the treatments arranged in a factorial 4 x 12 with 12 cultivars and 4 plant densities (200, 350, 500 and 650 000 plants.ha⁻¹), with four replications. The plot size was 3.2 m x 6.0 m, containing eight rows spaced at 0.4 m. To compare the two years , a joint statistical analysis over the years was used. The variables were: plant height, height of first pod, bedding plant, cycle and distribution of pods in the plant canopy. The results indicated that high plant height and large leaves in the upper canopy contribute to lodging, increased shading and decreased the pod formation in the lower regions of plants. The increase plant density decreased the formation of branches and increased the height of the first pod in all cultivars. Plant with erect leaves and stems, short internodes, reduced height showed greater tolerance to lodging and with small in the upper canopy showed to be better adapted to high altitude regions of Southern Brazil.

Keywords: *Glycine max.* (L.) Merrill, morphology, genotype, environment.

2.1 INTRODUÇÃO

A soja destaca-se como uma das principais culturas agrícolas tanto a nível regional quanto nacional e, atualmente é cultivada em praticamente todas as regiões brasileiras, o que tem colocado o Brasil como segundo maior produtor mundial de soja, nos últimos anos. Contudo, algumas regiões do país apresentam limitações, principalmente climáticas, para o desenvolvimento da soja, dificultando a obtenção de altos tetos produtivos pela cultura da soja.

A região sul do Brasil, particularmente nas microrregiões com altitude elevada, é caracterizada por apresentar temperatura amena, durante a primavera e verão, sendo comum ocorrerem temperaturas abaixo de 20°C, principalmente durante a noite (INMET, 2009), no período de cultivo da soja. Essa temperatura está abaixo da considerada como ótima para o desenvolvimento da soja, a qual fica em torno de 30°C (EMBRAPA, 2011), dificultando a obtenção de altos tetos produtivos para a maioria das cultivares. Entretanto, a precipitação pluviométrica tem sido maior e melhor distribuída, na maior parte dessa região, se comparada às demais regiões produtoras de soja do Sul do Brasil, fator este, considerado um dos mais importantes para a maximização do potencial de rendimento da soja (COSTA, 1996).

De acordo com Mundstock & Thomas (2005) e Souza et al. (2013), a maioria das cultivares de soja, quando semeadas nas regiões mais altas e frias do sul do Brasil podem modificar sua arquitetura de planta, apresentando crescimento excessivo em estatura, alongamento dos entrenós, acamamento, abortamento de flores e vagens e alongamento do ciclo vegetativo. Isso pode ser agravado por algumas práticas culturais aplicadas e pelo ambiente de cultivo.

Cultivares que apresentam elevada estatura de planta, normalmente são sensíveis ao acamamento (COSTA, 1996; LINZMEYER JUNIOR et al., 2008; SOUZA et al., 2013), principalmente quando o cultivo é realizado em condições de alta fertilidade do solo e/ou com altas densidades de plantas (GAUDÊNCIO et al., 1990) e isso pode limitar a expressão de altos rendimentos de grãos de soja (BRAGA & COSTA, 1983), nas regiões de temperaturas amenas, mesmo com precipitação pluviométrica abundante, no sul do Brasil.

Ajustes no manejo, como a variação da densidade de plantas, pode aumentar ou diminuir a produção de biomassa de uma comunidade de plantas (GOLDBERG, 1987; HIROSE, 1995). Para isso ocorrer, no caso da soja, a densidade e o arranjo de plantas,

precisam ser adequados para que a lavoura intercepte o máximo da radiação solar fotossinteticamente ativa, incidente sobre a área, e que as plantas maximizem o acúmulo de massa seca total, durante o período de crescimento vegetativo e o início do período reprodutivo (WELLS, 1993).

A variação na densidade de plantas pode alterar a morfologia da planta, interferindo diretamente na sua arquitetura, nos componentes do rendimento e, conseqüentemente, afetando ou não o rendimento de grãos (GAUDÊNCIO et al., 1990; THOMAS & COSTA, 2010). O aumento da densidade de plantas normalmente diminui a emissão de ramos laterais, aumenta a estatura de planta, diminui o número de vagens por planta e pode favorecer o acamamento em muitas cultivares (MUNDSTOCK & THOMAS, 2005; THOMAS & COSTA, 2010). Contudo, algumas cultivares modernas possuem características que as distinguem significativamente das cultivares mais antigas, como folhas pequenas e menos inclinadas, estatura reduzida e tolerância ao acamamento, dentre outras. Tais características podem conferir tolerância ao aumento da densidade de plantas, porém, pouco se conhece até o momento com relação ao comportamento da arquitetura de planta dessas cultivares nessas condições.

O presente trabalho teve como objetivos: avaliar a arquitetura de plantas, de diferentes cultivares de soja, variando a densidade de plantas e elencar características que possam contribuir para maximizar o potencial produtivo da cultura na região de elevada altitude no sul do Brasil.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos, um em cada ano agrícola (2011/2012 e 2012/2013), na Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária – FAPA, localizada no município de Guarapuava, estado do Paraná, no sul do Brasil, a 25° 33'S e 51° 29'W e com 1100 metros de altitude. O solo do local é classificado como Latossolo Bruno Alumínico, textura argilosa, fase campo subtropical (EMBRAPA, 1999). O clima, segundo Köppen, é classificado como temperado do tipo Cfb.

O delineamento experimental foi blocos ao acaso, com arranjo fatorial 12 x 4 sendo: 12 cultivares de soja (BMX Energia RR, BMX Apolo RR, BMX Ativa RR, V_Top RR, TMG 7262 RR, BMX Potência RR, BMX Turbo RR, BRS 243 RR, BRS 133, BRS 232, BRS 284 e

CD 202) e 4 densidades (200, 350, 500 e 650 mil plantas ha⁻¹), com quatro repetições, totalizando 48 tratamentos e 192 parcelas, em cada ano.

As cultivares foram agrupadas de acordo com a adaptação por altitude, definida por meio de informações obtidas junto aos respectivos obtentores: no primeiro grupo, três cultivares registradas recentemente, que estão sendo cultivadas em larga escala na região alta do sul do Brasil (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR); no segundo, três cultivares com ampla indicação, tanto para a região alta quanto na de menor altitude no centro-sul do Brasil (BMX Turbo RR, V_Top RR e TMG 7262 RR); no terceiro, duas cultivares que ocupam área significativa na região de menor altitude, desde o sul até o centro do País (BMX Potência RR e BRS 284) e no quarto grupo, quatro cultivares que foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente, porém atualmente ocupam uma área pouco expressiva (CD 202, BRS 232, BRS 243 RR e BRS 133). Como não houve diferença entre os anos, a análise foi feita considerando a média dos dois anos. Para as variáveis que não apresentaram diferença entre as cultivares, dentro de cada grupo de adaptação, a análise considerou a média dos grupos.

A semeadura foi realizada com máquina semeadora de parcelas, no sistema de semeadura direta na palha. O tamanho total da parcela foi de 1,6 m x 6,0 m, contendo quatro fileiras espaçadas em 0,4 m cada e para a parcela útil consideraram-se as duas fileiras centrais, descontando-se meio metro linear de cada extremidade, resultando numa área de 4,0 m². O ajuste da densidade foi realizado durante a emissão da primeira folha trifoliolada, contando-se todas as plantas da parcela e arrancando-se as plantas em excesso.

O manejo de plantas daninhas foi realizado com aplicação dos herbicidas metolachlor e sulfentrazone, em pré emergência, nas doses de 1440 e 500 g i. a. ha⁻¹, respectivamente. As plantas daninhas que emergiram durante o período de desenvolvimento da soja foram eliminadas manualmente, mantendo o experimento livre de interferência durante todo o ciclo da cultura. Durante os estádios V6 e R2 foram realizadas aplicações de inseticida diflubenzurom na dose de 30 g i.a. ha⁻¹ em cada aplicação, para o controle de pragas e, durante os estádios R1, R4 e R5.5, foram feitas aplicações de fungicidas azoxistrobina + ciproconazol (60 + 24 g i. a. ha⁻¹ em cada aplicação), para o controle de doenças.

A partir do início do florescimento da primeira cultivar, foram realizadas avaliações semanais até o final do florescimento de todas as cultivares, para determinar a duração do

ciclo vegetativo (da emergência ao florescimento). O início do florescimento foi definido pelo estágio R1, seguindo a escala proposta por FEHR & CAVINESS (1977). Para a determinação da maturação fisiológica, considerou-se o estágio R7, seguindo a mesma escala.

Após a maturação fisiológica, determinaram-se a estatura média de planta, medindo 10 plantas por parcela, aleatoriamente, da base do solo até o ápice da planta, e a altura média de inserção do primeiro vagem, a partir da base do solo, utilizando uma régua de madeira com dois metros de comprimento, graduada em centímetros.

Na pré-colheita, avaliou-se o acamamento de plantas, seguindo uma escala de 1 a 5, onde, 1 significa 0% e 5 significa 100% das plantas acamadas, dentro de cada parcela. Também foram coletadas aleatoriamente 10 plantas por parcela, cortando-as no nível do solo, para determinação do número de ramos por planta, do número de vagens por planta e a distribuição dos vagens no dossel da planta. A distribuição dos vagens foi realizada pela estratificação da planta em seções de mesma altura. Para isso, as plantas foram cortadas (haste principal + ramificações) em três alturas iguais de 1/3 cada.

Durante o período de cultivo da soja, determinou-se o balanço hídrico, utilizando variáveis coletadas na estação meteorológica da FAPA, que fica próximo ao local do experimento. As variáveis utilizadas foram: temperatura máxima e mínima do ar, precipitação pluviométrica, radiação solar e coeficiente da cultura (K_c), para os diferentes estádios fenológicos. A evapotranspiração real (ETR) foi calculada utilizando a evapotranspiração potencial (ETP) corrigida para a cultura da soja e o K_c nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.

Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de comparação de médias de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Para as variáveis que não apresentaram diferença significativa entre as cultivares dentro de cada grupo, as médias dos grupos foram submetidas à análise de regressão para comparar o comportamento de cada grupo de cultivares, de acordo com a densidade de plantas.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As condições climáticas durante o período de condução do trabalho, em ambos os anos, foram próximas ao normal, considerando as médias históricas registradas para a região

(SIMEPAR, 2013). O balanço hídrico do local, durante o período de condução dos experimentos indicou que a umidade disponível foi suficiente para o desenvolvimento normal da cultura, em todos os estádios de desenvolvimento (Figura 2.1). Entretanto, no ano agrícola 2011/12, a temperatura média variou entre 0,8 °C e 1,2 °C abaixo da média histórica durante os meses de novembro, dezembro e janeiro, período coincidente com o desenvolvimento vegetativo e início do período reprodutivo, enquanto que, na safra seguinte, a temperatura foi de acordo com a média histórica para a região, durante o mesmo período. O equilíbrio do crescimento da planta de soja e a duração do seu ciclo são importantes para se obter elevados rendimentos de grãos e podem ser influenciados pela temperatura, pela época de semeadura, pela densidade de plantas, pelo fotoperíodo e pelas características de cada cultivar (MUNDSTOCK & THOMAS, 2005).

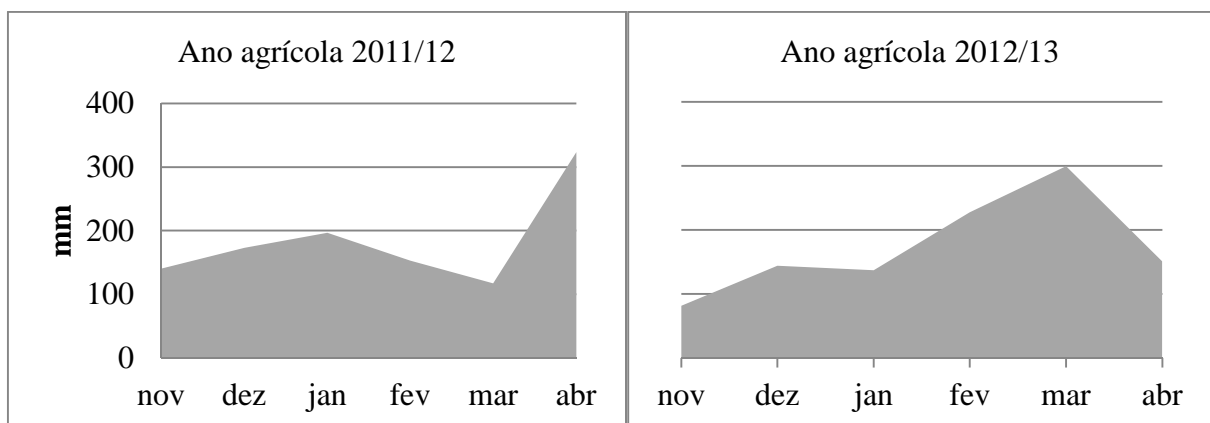


Figura 2.1. Balanço hídrico mensal, durante o período de desenvolvimento da soja, nos anos agrícolas de 2011/12 e 2012/13, no local de condução dos experimentos.

A variação na densidade de plantas não interferiu significativamente no ciclo das cultivares de soja avaliadas. As doze cultivares estão classificadas quanto aos grupos de maturidade, entre 5.3 e 7.3 (ALLIPRANDINI et al., 2009) e variaram o ciclo de 51 a 64 e de 118 a 152 dias, da emergência ao florescimento e da emergência à maturação fisiológica, respectivamente (Tabela 2.1). A duração do ciclo pode influenciar no desenvolvimento da planta, na sua arquitetura, na quantidade de massa seca produzida e, conseqüentemente na produtividade da cultura da soja (COSTA, 1996; MUNDSTOCK & THOMAS, 2005; THOMAS & COSTA, 2010). Cultivares que possuem o ciclo precoce normalmente tem crescimento reduzido e são menos produtivas do que cultivares de ciclo médio ou longo (OLIVEIRA, 2010), pois tem um período de tempo menor para realizar fotossíntese e

acumular massa seca. Contudo, cultivares cuja arquitetura de planta propicie maior interceptação e captação da radiação fotossinteticamente ativa podem se sobressair no acúmulo de massa seca, quando comparadas com cultivares do mesmo ciclo (CASAROLI et al., 2007) ou mesmo com ciclo mais curto.

A estatura de planta não variou significativamente entre as cultivares, dentro de cada grupo de adaptação por altitude e, portanto, foi analisada considerando as médias de cada grupo. Os grupos I e II não diferiram entre si, independente da densidade, apresentando menor estatura de planta, comparados aos grupos III e IV (Figura 2.2).

As informações da Tabela 2.1, mostram que as cultivares dos grupos I e II apresentam plantas mais compactas e com entrenós curtos, o que resulta em estatura menor, comparadas aos grupos III e IV. Essas características são muito importantes, principalmente quando o cultivo é realizado em regiões com temperatura amena e precipitação pluviométrica abundante, onde é comum se observar crescimento excessivo e estiolamento de planta, na maioria das cultivares de soja.

Vale destacar que, não se observou relação entre esse comportamento e o tipo de crescimento, pois no grupo I existem cultivares tanto do tipo determinado quanto do tipo indeterminado (Tabela 2.1), porém, o comportamento de ambas foi semelhante.

O aumento da densidade normalmente provoca maior competição entre as plantas pelos recursos do ambiente como água, nutrientes, luz, entre outros e aumenta o auto sombreamento, induzindo as plantas ao estiolamento (OLIVEIRA, 2010). Os resultados obtidos nesse estudo indicam que as cultivares de soja respondem de forma diferente ao aumento da densidade de plantas. Enquanto que nas cultivares dos grupos III e IV, o aumento da densidade provocou um crescimento em estatura excessivo, nas cultivares do grupo II isso aconteceu de forma menos expressiva e nas do grupo I foi nulo (Figura 2.2). A velocidade de cobertura da área e o acúmulo de massa seca durante o período vegetativo, são dependentes principalmente, da cultivar, do arranjo de plantas, das condições ambientais e da época de semeadura e podem influenciar diretamente na produtividade da cultura da soja (TAYLOR et al., 1982; BOARD et al., 1992; BULLOCK et al., 1998).

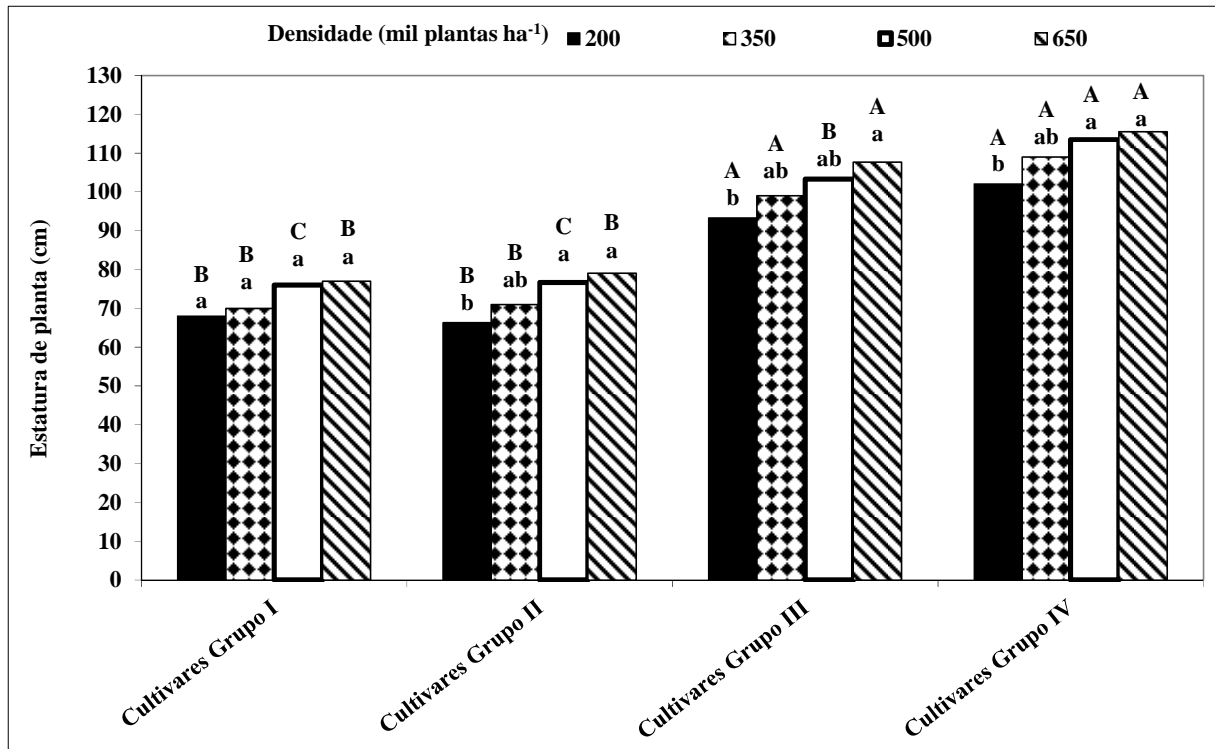
Caraterísticas como: estatura reduzida, hastes eretas, folhas pequenas e tolerância ao acamamento, verificadas nas cultivares dos grupos I e II permitem aumentar a densidade de plantas, o que pode ser uma estratégia para aumentar a velocidade de cobertura da área e a interceptação da radiação no início do ciclo da cultura, sem provocar auto sombreamento excessivo nos períodos de florescimento e enchimento de grãos, o que poderá se traduzir em ganhos de produtividade.

Tabela 2.1. Ciclo médio (dias) da emergência ao florescimento (E-F) e da emergência à maturação (E-M), maturidade relativa e tipo de crescimento, de doze cultivares de soja, divididas em quatro grupos de adaptação por altitude, na média de quatro densidades (200, 350, 500 e 650 mil plantas ha⁻¹) e dois anos (2011/12 e 2012/13), semeadas na Região Sul do Brasil.

Cultivares	Grupos*	Tipo de crescimento	Maturidade relativa	Ciclo médio (dias)	
				E-F	E-M
BMX Energia RR	I	Indeterminado	5.3	51	118
BMX Apolo RR	I	Indeterminado	5.5	54	126
BMX Ativa RR	I	Determinado	5.6	55	129
BMX Turbo RR	II	Indeterminado	5.8	56	131
V_Top RR	II	Indeterminado	5.9	57	132
TMG 7262 RR	II	Semi-determinado	6.2	59	133
BMX Potência RR	III	Indeterminado	6.7	61	137
BRS 284	III	Indeterminado	6.3	59	133
CD 202	IV	Determinado	6.4	61	140
BRS 232	IV	Determinado	6.9	63	145
BRS 243 RR	IV	Determinado	7.2	64	149
BRS 133	IV	Determinado	7.3	64	152

*Cultivares agrupadas de acordo com a adaptação por altitude, definida por meio de informações obtidas junto aos respectivos obtentores: Grupo I: em cultivo na região alta do sul do Brasil; Grupo II: em cultivo nas regiões de alta e de baixa altitude no sul do Brasil; Grupo III: em cultivo em baixa altitude desde o sul até o centro do Brasil e Grupo IV: foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente.

Enquanto que o crescimento reduzido em estatura pode comprometer a estrutura da planta e, conseqüentemente o seu potencial produtivo, o crescimento excessivo também pode provocar uma série de problemas como acamamento de plantas, abortamento de vagens, maior incidência de doenças, entre outros, reduzindo a produtividade da cultura da soja. Nas regiões de elevada altitude, onde normalmente predominam temperaturas mais amenas, o crescimento em estatura das plantas de soja naturalmente é maior, comparado às regiões mais quentes (MUNDSTOCK & THOMAS, 2005; THOMAS & COSTA, 2010). Assim, a seleção de cultivares precisa considerar, entre outras características, o equilíbrio do crescimento em estatura e a arquitetura da planta, para maximizar o seu potencial produtivo.



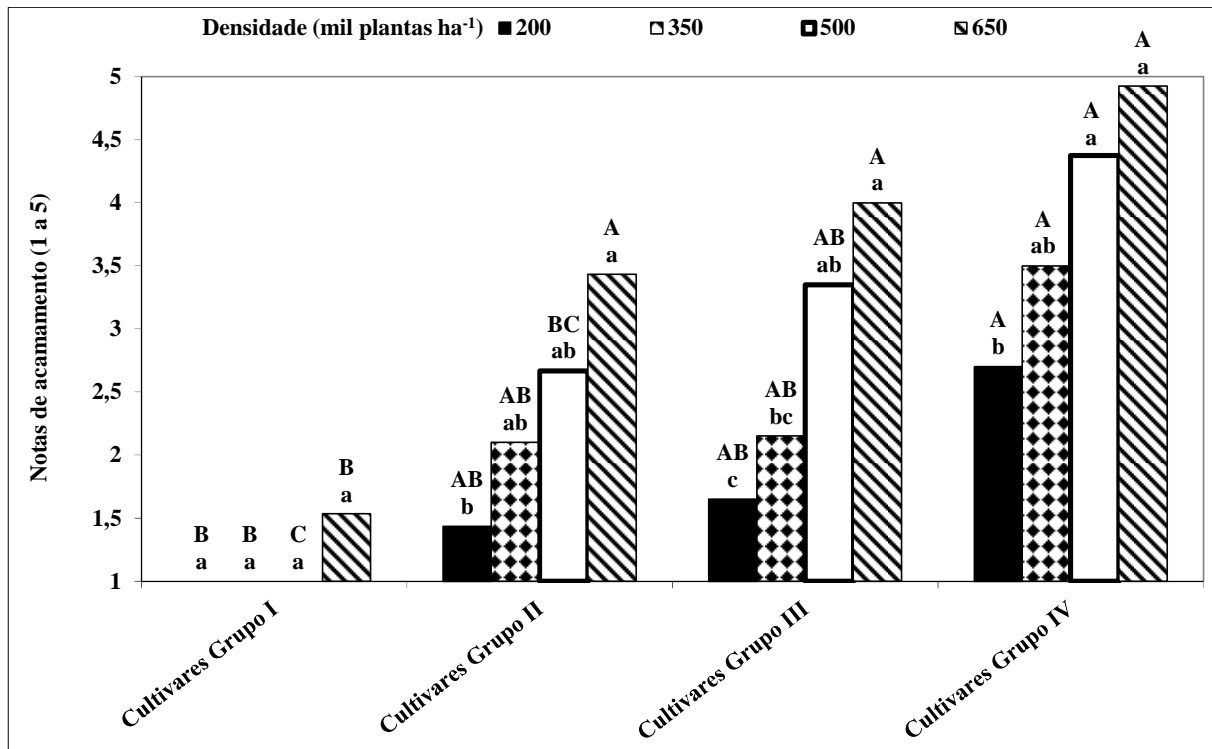
Médias seguidas pela mesma letra, minúscula dentro de cada grupo e maiúscula dentro de cada densidade, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 2.2. Estatura de planta (cm), de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas (200, 350, 500 e 650 mil plantas ha⁻¹), na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.

*Grupo I: em cultivo na região alta do sul do Brasil (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR); Grupo II: em cultivo nas regiões de alta e de baixa altitude no sul do Brasil (BMX Turbo RR, V_Top RR e TMG 7262 RR); Grupo III: em cultivo em baixa altitude desde o sul até o centro do Brasil (BMX Potência RR e BRS 284) e Grupo IV: foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente (CD 202, BRS 232, BRS 133 e BRS 243 RR).

De modo geral, os grupos de cultivares que apresentaram as menores estaturas de planta (Figuras 2.2) foram os mais tolerantes ao acamamento (Figura 2.3). As cultivares do grupo I (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR) não acamaram, independente da densidade de plantas, enquanto que, nas do grupo II (TMG 7262 RR, V_Top RR e BMX Turbo RR) isso foi observado apenas na menor densidade (Figura 2.3).

A variação da densidade de plantas é uma estratégia que pode influenciar significativamente na interceptação da radiação fotossinteticamente ativa, principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas, influenciando no crescimento da cultura (BALL et al., 2000a) e no acúmulo de massa seca, o que pode ser importante para o aumento do rendimento da cultura (EGLI et al., 1987).



Médias seguidas pela mesma letra, minúscula dentro de cada grupo e maiúscula dentro de cada densidade, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 2.3. Acamamento de planta (notas de 1 a 5), de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas (200, 350, 500 e 650 mil plantas ha⁻¹), na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.

*Grupo I: em cultivo na região alta do sul do Brasil (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR); Grupo II: em cultivo nas regiões de alta e de baixa altitude no sul do Brasil (BMX Turbo RR, V_Top RR e TMG 7262 RR); Grupo III: em cultivo em baixa altitude desde o sul até o centro do Brasil (BMX Potência RR e BRS 284) e Grupo IV: foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente (CD 202, BRS 232, BRS 133 e BRS 243 RR).

Nos grupos de cultivares III e IV, as maiores densidades aumentaram significativamente o acamamento das plantas, chegando próximo à nota máxima (nota 5: 100% das plantas acamadas), principalmente nas cultivares do grupo IV (Figura 2.3), indicando que, para essas cultivares, a estatura influenciou diretamente no acamamento de planta e que, isso foi intensificado com o aumento na densidade de plantas.

O acamamento excessivo pode reduzir significativamente a produtividade da soja, principalmente quando ocorre antes do período de maturação, pois provoca abortamento de flores e vagens, além de comprometer o manejo de doenças e pragas, pela dificuldade de penetração de produtos fitossanitários no interior do dossel das plantas. O aumento da

densidade modificou a morfologia das plantas, porém com intensidades e formas diferentes, nos quatro grupos de cultivares (Anexo I). Enquanto o número de nós da haste principal não foi afetado (Tabela 2.2), a quantidade de ramos por planta diminuiu (Figura 2.4) e a altura de inserção do primeiro vagem aumentou (Tabela 2.3), em todos os grupos de cultivares.

Os grupos II e III não diferiram do grupo I e apresentaram maior número de nós na haste principal do que o grupo IV, na média das densidades avaliadas. Entretanto, a variação na densidade de plantas não afetou o número de nós da haste principal, na média dos diferentes grupos de cultivares avaliadas (Tabela 2.2).

Tabela 2.2. Número médio de nós na haste principal, por planta, de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas (200, 350, 500 e 650 mil plantas ha⁻¹), na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.

Grupos*	Número médio de nós da haste principal, por planta				Médias
	Densidades (mil plantas ha ⁻¹)				
	200	350	500	650	
Cultivares Grupo I	15,3	15,8	15,5	15,7	15,6 ab
Cultivares Grupo II	15,6	16,6	16,4	16,8	16,4 a
Cultivares Grupo III	16,9	16,7	16,3	16,5	16,6 a
Cultivares Grupo IV	15,5	14,9	15,2	15,7	15,3 b
Médias	15,8 A	16,0 A	15,9 A	16,2 A	

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

* Cultivares agrupadas de acordo com a adaptação por altitude, definida por meio de informações obtidas junto aos respectivos obtentores: Grupo I: em cultivo na região alta do sul do Brasil (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR); Grupo II: em cultivo nas regiões de alta e de baixa altitude no sul do Brasil (BMX Turbo RR, V_Top RR e TMG 7262 RR); Grupo III: em cultivo em baixa altitude desde o sul até o centro do Brasil (BMX Potência RR e BRS 284) e Grupo IV: foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente (CD 202, BRS 232, BRS 133 e BRS 243 RR).

Comparando a estatura de planta com o número de nós da haste principal dos diferentes grupos de cultivares, verifica-se que, embora o grupo IV tenha apresentado menor número de nós, apresentou maior estatura de planta, indicando que o comprimento dos entrenós foi maior, o que comprova a ocorrência de estiolamento das plantas. O número de nós na haste principal está diretamente relacionado ao número de gemas axilares que poderão originar flores ou ramos, os quais, também formarão nós, definindo os pontos potenciais de formação de flores e vagens na planta como um todo (MUNDSTOCK & THOMAS, 2005; THOMAS & COSTA, 2010).

Nas cultivares do grupo I ocorreu uma redução linear do número de ramos por planta com o aumento da densidade de plantas, enquanto que, nos demais grupos essa resposta ajustou uma equação quadrática (Figura 2.4). Isso indica que o aumento da densidade interferiu de forma mais intensiva na redução da ramificação, nas cultivares dos grupos II, III e IV do que nas cultivares do grupo I. Além disso, no grupo I verificou-se maior número de ramos formados por planta do que nos demais grupos, em todas as densidades de planta (Figuras 2.4).

Essa resposta, da mesma forma que aquelas observadas para a estatura de planta (Figura 2.2), para o acamamento (Figura 2.3) e para o número de nós na haste principal (Tabela 2.2), indicam que as cultivares do grupo I toleram maior aumento da densidade de plantas comparadas às cultivares dos demais grupos. Isso pode estar relacionado ao menor tamanho e à menor inclinação das folhas dessas cultivares, comparadas às demais, o que, certamente reduz o auto sombreamento e melhora o aproveitamento da radiação fotossinteticamente ativa, em todos os estratos da planta. Sedyama et al (1982) verificaram que plantas com ramos e folhas mais eretas, de fato facilitam a penetração de luz no dossel, tolerando maiores populações, porém não determinaram se a atividade fotossintética aumentou nas folhas localizadas nas partes intermediária e inferior das plantas. Outros resultados indicam que características como arquitetura de planta, com ramos e folhas mais eretos e que permitem maior penetração de luz, podem resultar em maior atividade fotossintética nas folhas localizadas abaixo do topo da planta (CASAROLI et al., 2007), contribuindo para melhorar a distribuição dos vagens na planta (OLIVEIRA, 2010) e aumentar o potencial produtivo da cultura da soja (THOMAS & COSTA, 2010).

O auto sombreamento excessivo inibe a formação de gemas laterais do caule, diminuindo a emissão de ramos nas plantas (CASAROLI et al., 2007; OLIVEIRA, 2010), o que se confirmou com as plantas de soja avaliadas, onde o número de ramos por planta diminuiu com o aumento da densidade de plantas, principalmente nas cultivares que apresentaram maior estatura de planta e folhas maiores (Figura 2.4).

A altura de inserção do primeiro vagem é outra variável importante a ser considerada na indicação de cultivares de soja à nível de campo, pois pode interferir diretamente na colheita mecanizada. Quando a inserção do primeiro vagem é excessivamente baixa, dificulta a operação de colheita e aumenta as perdas no campo, por ocasião do corte das plantas, que pode ocorrer acima dos primeiros vagens. Essa situação pode ser agravada quando o relevo da área é irregular.

Tabela 2.3. Altura de inserção do primeiro vagem (cm), de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas (200, 350, 500 e 650 mil plantas ha⁻¹), na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.

Adaptação por altitude*	Altura de inserção do primeiro vagem (cm)				Médias
	Densidades (mil plantas ha ⁻¹)				
	200	350	500	650	
Cultivares Grupo I	07	09	13	13	11 c
Cultivares Grupo II	10	13	18	18	15 bc
Cultivares Grupo III	12	15	18	19	16 b
Cultivares Grupo IV	15	20	23	23	21 a
Médias	11 B	14 AB	18 A	19 A	

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

* Cultivares agrupadas de acordo com a adaptação por altitude, definida por meio de informações obtidas junto aos respectivos obtentores: Grupo I: em cultivo na região alta do sul do Brasil (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR); Grupo II: em cultivo nas regiões de alta e de baixa altitude no sul do Brasil (BMX Turbo RR, V_Top RR e TMG 7262 RR); Grupo III: em cultivo em baixa altitude desde o sul até o centro do Brasil (BMX Potência RR e BRS 284) e Grupo IV: foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente (CD 202, BRS 232, BRS 133 e BRS 243 RR).

A altura de inserção do primeiro vagem variou de acordo com a densidade de plantas em todos os grupos de cultivares e também entre os grupos, sendo menor nos grupos I, II e III comparados ao IV. Dentro de cada grupo, a altura de inserção do primeiro vagem aumentou com o incremento na densidade de plantas (Tabela 2.3). Esses resultados podem ser utilizados como uma estratégia para resolver problemas de inserção muito baixa, como é o caso das cultivares do grupo I (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR) quando semeadas com densidade reduzida de plantas. Neste caso, o aumento da densidade favoreceu a elevação da inserção dos vagens o que poderá reduzir as perdas por ocasião da colheita.

De acordo com Duncan (1986), a menor competição entre plantas durante os estádios vegetativos da soja, melhora a arquitetura da planta, resultando em maior acúmulo de massa seca e maior número de vagens, durante os estádios reprodutivos, contribuindo para melhorar o aproveitamento dos fotoassimilados, durante o enchimento de grãos. Verificou-se que aumento na densidade de plantas alterou a distribuição dos vagens no dossel da planta, em todos os grupos de cultivares, porém de formas diferentes entre os mesmos (Figura 2.5).

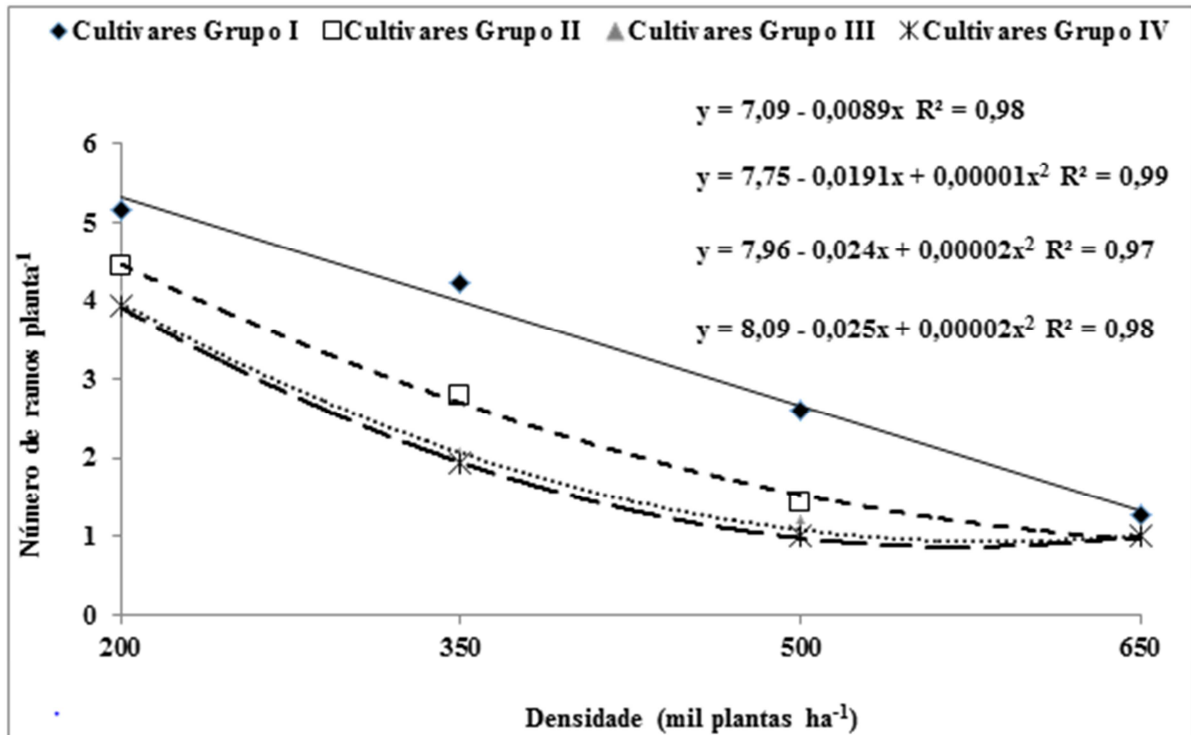


Figura 2.4. Número de ramos por planta, de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas (200, 350, 500 e 650 mil plantas ha⁻¹), na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.

*Grupo I: em cultivo na região alta do sul do Brasil (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR); Grupo II: em cultivo nas regiões de alta e de baixa altitude no sul do Brasil (BMX Turbo RR, V_Top RR e TMG 7262 RR); Grupo III: em cultivo em baixa altitude desde o sul até o centro do Brasil (BMX Potência RR e BRS 284) e Grupo IV: foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente (CD 202, BRS 232, BRS 133 e BRS 243 RR).

Os grupos I e II apresentaram comportamentos semelhantes, com os vagens distribuídos de forma equilibrada nos três estratos da planta. Na densidade de 200 mil plantas ha⁻¹, cerca de 40% dos vagens se localizaram no terço inferior, 38% no terço médio e 22% no terço superior da planta, mantendo a mesma tendência até a densidade de 500 mil plantas ha⁻¹. Na densidade de 650 mil plantas ha⁻¹, a distribuição ficou ao redor de 55% no terço médio e o restante divididos praticamente em partes iguais entre os terços inferior e superior da planta (Figura 2.5). Assim, verifica-se que, para esses grupos de cultivares, da mesma forma que o grupo III, a distribuição de vagens no terço superior da planta praticamente não sofreu alterações com o aumento da densidade de plantas.

No grupo III, na menor densidade, a distribuição das vagens também foi semelhante aos grupos I e II, porém, o aumento da densidade diminuiu o percentual de vagens no terço inferior e aumentou no terço médio do dossel (Figura 2.5). Isso pode ser resultado do maior

crescimento em estatura e altura de inserção das vagens, além do maior acamamento de plantas, verificados nos grupos III e IV, com o aumento da densidade, o que provavelmente, aumentou o auto sombreamento e diminuiu a penetração de radiação solar para o interior do dossel, favorecendo o estiolamento e o abortamento de flores e vagens, principalmente no estrato inferior das plantas.

As cultivares do grupo IV apresentaram uma distribuição das vagens mais concentrada no estrato médio, em todas as densidades de plantas e, com o aumento da densidade, aumentou o percentual de vagens no terço superior e reduziu no terço inferior, comparadas às cultivares dos demais grupos (Figura 2.5). Essas cultivares apresentaram folhas maiores do que a maioria das cultivares dos demais grupos, característica que pode ser atribuída ao tipo de crescimento determinado, apresentado por todas as cultivares desse grupo. Cultivares com tipo de crescimento determinado tendem a formar folhas grandes em toda a planta, enquanto que nas cultivares de tipo indeterminado as folhas são menores na parte superior e maiores nas partes mediana e inferior da planta (PERINI JUNIOR et al., 2012). O auto sombreamento excessivo provoca senescência precoce das folhas inferiores da planta de soja, aumentando o abortamento de vagens e diminuindo a produtividade da cultura (PURCELL et al., 2002).

A presença de folhas grandes, aliada ao maior crescimento em estatura e acamamento, provavelmente favoreceram o auto sombreamento, o estiolamento das plantas e o abortamento de vagens, principalmente no estrato inferior das plantas o que se agravou com o aumento da densidade. No grupo IV, independente da densidade, também se observou que a senescência foliar foi mais precoce, principalmente nos estratos inferior e médio do dossel, o que também ocorreu no grupo III, quando se aumentou a densidade a partir de 350 mil plantas ha^{-1} .

De acordo com Perini Junior et al. (2012) a distribuição dos vagens no dossel, não está associada com a produtividade da cultura da soja. Contudo, essa característica pode ser importante para o manejo de pragas e doenças, onde a proteção das folhas e vagens está associada à sua localização em relação à deposição dos produtos aplicados via pulverização. A maior concentração de vagens nas partes inferior e mediana da planta exige maior penetração dos produtos aplicados no dossel, a fim de proteger essas estruturas e as folhas localizadas nessa região (HANNA et al., 2008). A duração da área foliar sadia está diretamente relacionada com a produtividade de grãos da soja (FLOSS, 2004).

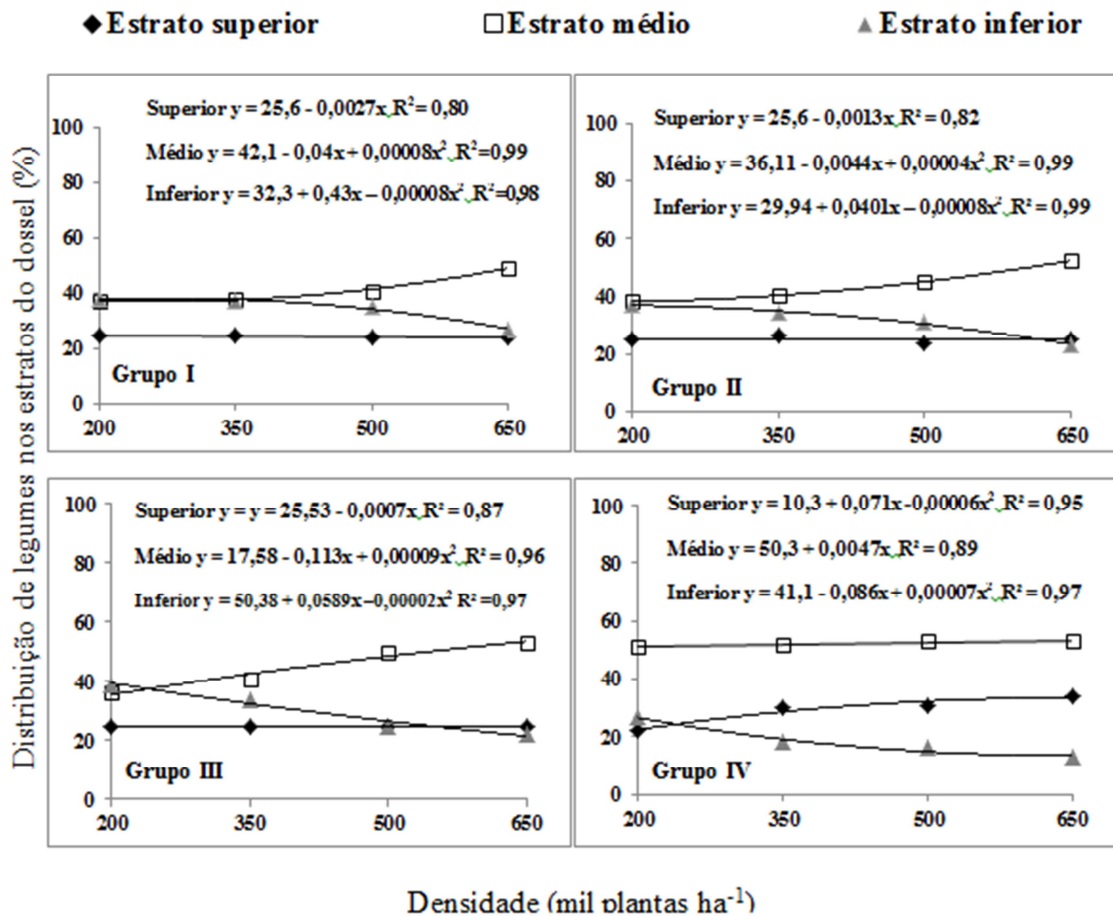


Figura 2.5. Distribuição de vagens (%) nos estratos superior, médio e inferior do dossel da planta, de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas (200, 350, 500 e 650 mil plantas ha⁻¹), na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.

*Grupo I: em cultivo na região alta do sul do Brasil (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR); Grupo II: em cultivo nas regiões de alta e de baixa altitude no sul do Brasil (BMX Turbo RR, V_Top RR e TMG 7262 RR); Grupo III: em cultivo em baixa altitude desde o sul até o centro do Brasil (BMX Potência RR e BRS 284) e Grupo IV: foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente (CD 202, BRS 232, BRS 133 e BRS 243 RR).

A arquitetura do dossel é influenciada pelo ambiente, pelo manejo aplicado e pelo melhoramento genético com alteração das características morfológicas das plantas (WELLS, 1993) o que é fundamental para a interceptação da radiação solar, refletindo na capacidade fotossintética e no potencial produtivo da soja (WELLS 1991). Plantas com crescimento excessivo, folhas grandes e decumbentes e suscetíveis ao acamamento diminuem a difusão da radiação, a fotossíntese e a produção de fotoassimilados, no interior do dossel, além de

dificultar a penetração dos produtos fitossanitários e, conseqüentemente, o manejo adequado de pragas e doenças.

Por outro lado, plantas mais compactas, com estatura reduzida, entrenós curtos, hastes e folhas eretas, tolerância ao acamamento e folhas pequenas, principalmente na parte superior do dossel, permitem maior penetração da radiação e dos produtos fitossanitários no interior do dossel, mantendo as folhas viáveis por mais tempo, contribuindo para a atividade fotossintética e a formação de vagens e grãos, em todas as partes da planta. Esse modelo de planta, verificado nas cultivares do grupo I, tem se mostrado melhor adaptado e com maior potencial produtivo, nas condições de ambiente das regiões com elevada altitude e temperatura amena no sul do Brasil. Já, as cultivares do grupo II, embora apresentem características semelhantes às do grupo I, exigem mais atenção, principalmente no que diz respeito à densidade de plantas, que deve ser menor. Por outro lado, as cultivares dos grupos III e IV, apresentaram arquitetura de planta que indica pouca adaptação ao ambiente do estudo, com destaque para crescimento e acamamento excessivos, características limitantes à obtenção de altas produtividades.

2.4 CONCLUSÕES

Cultivares com elevada estatura e com folhas grandes na parte superior do dossel são mais suscetíveis ao acamamento, aumentam o auto sombreamento e o estiolamento, diminuem a formação de vagens no estrato inferior das plantas e respondem negativamente ao aumento da densidade de plantas;

O aumento da densidade de plantas de soja diminui a formação de ramos por planta e não interfere no número de nós formados na haste principal;

A arquitetura de planta com hastes e folhas eretas, entrenós curtos, estatura reduzida, tolerância ao acamamento e folhas pequenas na parte superior do dossel, favorece a adaptação na região com elevada altitude e temperatura amena do sul do Brasil.

2.5 REFERÊNCIAS

ALLIPRANDINI, L. F.; ABATTI, C.; BERTAGNOLLI, P. F.; CAVASSIM, J. E.; GABE, H. L. Understanding Soybean Maturity Groups in Brazil: Environment, Cultivar Classification, and Stability. **Crop Science**, Madison, v. 49, p. 801-808, 2009.

BALL., R.A.; PURCELL, L.C.; VORIES, E.D. Optimizing soybean plant population for a short-season production system in the Shouthern USA. **Crop Science**, Madison, v.40, n. 3, p.757-764, 2000a.

BOARD, J.E.; KAMAL, M.; HARVILLE, B.G. Temporal Importance of Greater Light Interception to Increased Yield in Narrow-Row Soybean. **Agronomy Journal**, v.84, n.4, p. 575-579, 1992.

BOARD, J. Light interception efficiency and light quality affect yield compensation of soybean at low plant population. **Crop Science**. Madison. v.40, n.5, p.1285-1294. 2000.

BOOTE, K.J.; TOLLENAAR, M. Modeling genetic yield potential. In: BOOTE, K.J. (Ed.) **Physiology and determination of crop yield**. Madison: American Society of Agronomy, Crop Society of America, Soil Society of America, 1994. p.533-545.

BRAGA, N.R.; COSTA, J.A. Avaliação de dez cultivares de soja pelo índice de colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.18, n.3, p. 253-260, mar. 1983.

BULLOCK, D.; KHAN, S.; RAYBURN, A. Soybean yield response to narrow rows is largely due to enhanced early growth. **Crop Science**, Madison, v.38, p.1011-1016, 1998.

CASAROLI, D.; FERGAN, E. B.; SIMON, J.; MEDEIROS, S. P.; MANFRON, P. A.; DOURADO NETO, D.; LIER, Q. J. V.; MULLER, L.; MARTIN, T. N. Radiação solar e aspectos fisiológicos na cultura de soja - uma revisão. **Revista da FZVA**, Uruguaiiana, v. 14, n. 2, p. 102-120, 2007.

COSTA, J. A. **Cultura da Soja**. Porto Alegre: I. Manica, 1996. 233p.

CRUZ, T. V.; PEIXOTO, C. P.; MARINS, M. C.; BRUGNERA, P. V. L. L. Índices fisiológicos de cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura no oeste da Bahia. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 663-679, 2010.

DUNCAN, W.G. Planting patterns and soybean yield. **Crop Science**, Madison, v.26. n.3, p.584-588, 1986.

EGLI, D.B.; GUFFY, R.B.; H EITHOLD, J.J. Factors associated with reduced yields of delayed planting of soybeans. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Madison, v.159, p.176-185, 1987.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999. 412p.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja**: região central do Brasil 2012 e 2013. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 264p. (Sistemas de Produção, 15).

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p. (Special Report, 80).

FLOSS, E. L. **Fisiologia das Plantas Cultivadas**: o estudo que está por trás do que se vê. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2004.

GAUDÊNCIO, C. A. A.; GAZZIERO, D.L.P.; JASTER, F.; GARCIA, A.; WOBETO, C. **População de plantas de soja no sistema de semeadura direta para o Centro-Sul do Estado do Paraná**. Londrina: Embrapa, 1990. p. 1-4. (Circular Técnica, n. 47).

GOLDBERG, D. E. Neighborhood competition an old-field plant community. **Ecology**, v. 68, n. 5, p. 1211-1223, 1987.

HANNA, S.; CONLEY, S.P.; SHANER, G.E.; SANTINI, J.B. Fungicide application timing and row spacing effect on soybean canopy penetration and grain yield. **Agronomy Journal**, Madison, v.100, n.5, p.1488-1492, 2008.

HIROSE, T. Canopy structure and photon flux partitioning among species in a herbaceous plant community. **Ecology**, v. 76, n. 2, p. 466-474, 1995.

INMET. **Climatologia de meses e trimestres de maiores e menores temperaturas e pluviosidades médias no período de 1961-2009**. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/mestempo>. Acesso em: 14 mar. 2010.

LINZMEYER JUNIOR, R.; GUIMARÃES, V. F.; SANTOS, D. D.; BENCKE, M. H. Influência de retardante vegetal e densidades de plantas sobre o crescimento, acamamento e produtividade da soja. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá - PR, v.30, n.3, p.373-379, 2008.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Ed. Evangraf, 2005. Porto Alegre, RS. 31p.

OLIVEIRA, A. B. **Fenologia, desenvolvimento e produtividade de cultivares de soja em função de épocas de semeadura e densidades de plantas**. 2010. 78f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2010

PERINI JUNIOR, L.; FONSECA JUNIOR, N. S.; DESTRO, D.; PRETE, C. E. C. Componentes da produção em cultivares de soja com crescimento determinado e indeterminado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 2531-2544, 2012.

PURCELL, L.C.; BALL, R.A.; REAPER, J.D.; VORIES, E.D. Radiation use efficiency and biomass production in soybean at different plant population densities. **Crop Science**, v.42, p.172-177, 2002.

SEDIYAMA, T.; ALMEIDA, L.D.A de; MIYASAKA, S.; KIIHL, R.A. S. Genética e melhoramento. In: FUNDAÇÃO CARGILL, Campinas. **A soja no Brasil Central**. 2.ed. rev. ampl. Campinas, 1982. p.23-74.

SIMEPAR, **Boletins de estação meteorológica, série histórica 2001 - 2013**, 2013. Disponível em: <http://www.simepar.br/fapa/bd/sumario/diario/meteorologica.jsp>

SOUZA, C. A.; FIGUEIREDO, B. P.; COELHO, C. M. M.; CASA, R. T.; SANGOI, L. Arquitetura de plantas e produtividade da soja decorrente do uso de redutores de crescimento. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 3, p. 634-643, 2013.

TAYLOR, H.M.; MASON, W.K.; BENNIE, A.T.P.; ROWSE, H.R. Responses of soybeans to row spacings and two soil water levels. I. An analysis of biomass accumulation, canopy development, solar radiation interception and components of seed yield. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.5, n.1, p.1-14, 1982.

THOMAS, L. A.; COSTA, J. A. **Estabelecimento da lavoura de soja**. In: _____. (Org.). Soja: manejo para alta produtividade de grãos. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p. 127-140.

WELLS, R. Soybean growth response to plant density: relationships among canopy photosynthesis, leaf area, and light interception. **Crop Science**, Madison, v.31, n.3, p.755-761, 1991.

WELLS, R. Dynamics of soybean growth in variable planting patterns. **Agronomy Journal**. Madison, v. 85, n. 1, p. 44-48, 1993.

3 ARTIGO

COMPONENTES DO RENDIMENTO, ÍNDICE DE COLHEITA E RENDIMENTO DE GRÃOS DE CULTIVARES DE SOJA EM DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTAS EM CONDIÇÃO DE ELEVADA ALTITUDE

RESUMO

A densidade de plantas pode interferir no desenvolvimento das plantas de soja afetando os componentes do rendimento, o índice de colheita e a produtividade da cultura. O presente trabalho teve como objetivos: avaliar o comportamento dos componentes do rendimento e do índice de colheita de diferentes cultivares de soja, variando a densidade de plantas, em um ambiente de 1.100 metros de altitude, no sul do Brasil. Dois experimentos foram conduzidos na Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária - FAPA, localizada na latitude 25° 33' S, longitude 51° 29' W e com 1.100 metros de altitude, em Guarapuava, PR, Brasil, nas safras de 2011/2012 e 2012/2013. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições e com os tratamentos arranjados num esquema fatorial 12 x 4, com 12 cultivares e 4 densidades de plantas (200, 350, 500 e 650 mil plantas.ha⁻¹). O tamanho total da parcela foi de 1,6 m x 6,0 m, contendo quatro fileiras espaçadas em 0,4 m cada e para a parcela útil consideraram-se as duas fileiras centrais, descontando-se meio metro linear de cada extremidade, resultando numa área de 4,0 m². As variáveis avaliadas foram: ciclo, número de vagens por planta e por metro quadrado, número de grãos por vagem, peso de mil grãos, índice de colheita aparente e rendimento de grãos. Os resultados indicaram que: a densidade de plantas não interferiu no ciclo, tanto vegetativo quanto reprodutivo, das cultivares de soja avaliadas. O aumento na densidade de plantas diminuiu o número de vagens por planta, porém, com intensidades diferentes entre as cultivares. Para algumas cultivares o número de vagens por metro quadrado aumentou até a densidade ótima, diminuindo em seguida. Para outras a redução foi linear, a partir da menor densidade. O peso de mil grãos não foi afetado pela densidade de plantas. O número de grãos por vagem, o índice de colheita aparente e o rendimento de grãos de soja, variaram entre as cultivares e com a densidade de plantas.

Palavras-chave: *Glycine max.* (L.) Merrill, crescimento, produtividade.

**YIELD COMPONENTS OF CONTENTS HARVEST AND SOYBEAN CULTIVARS
GRAIN YIELD IN DIFFERENT DENSITY PLANTS IN CONDITION HIGH
ALTITUDE**

ABSTRACT

The plant density can affect the development of soybean plants affecting yield components, harvest index and crop yield. This study aimed to: assess the behavior of yield components and harvest index of different soybean cultivars, varying plant densities at the region of 1,100 meters, in Southern Brazil. Two experiments were conducted at the Fundação Agraria de Pesquisa Agropecuaria - FAPA - FAPA, located at latitude 25 ° 33 'S, longitude 51 ° 29' W and 1,100 meters of altitude, in Guarapuava, PR, Brazil, in 2011/2012 and 2012/2013 years. The experimental design was a completely randomized blocks in a 4 x 12 factorial comparing 12 cultivars and 4 plant densities (200, 350, 500 and 650 000 plants.ha⁻¹) with four replications. The total plot size was 1.6 m x 6.0 m, containing four rows with 0.4 m each. The evaluated variables were cycle, number of pods per plant and square meter, number of grains per pod, thousand grain weight, apparent harvest index and grain yield. The results indicated that planting density did not affected the cycle, both as vegetative and reproductive stages of the soybean cultivars. The increase in plant density decreased the number of pods per plant, but with different intensities among cultivars. For some of the cultivars the number of pods per square meter increased to the optimal density, and then decrease. For other, this reduction was linear from the lower density. The thousand grain weight was not affected by plant density. The number of grains per pod, the apparent harvest index and grain yield of soybeans varied according to the cultivars and plant densities.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merrill, growth, productivity

3.1 INTRODUÇÃO

O comportamento da soja varia de acordo com as características genéticas, intrínsecas em cada cultivar, com o manejo adotado na lavoura e com as condições do ambiente no local de cultivo. O conhecimento das características das diferentes cultivares é fundamental para posicioná-las corretamente, de acordo com o ambiente e com o manejo adequado para maximizarem o seu potencial produtivo.

A disponibilidade hídrica é considerada como um dos fatores mais importantes para a maximização do potencial de rendimento da soja (COSTA, 1996). Além da água, a temperatura e o fotoperíodo também interferem diretamente sobre o desenvolvimento das plantas, na definição dos componentes do rendimento e na produtividade da cultura (SEDIYAMA et al., 1982; COSTA, 1996; MUNDSTOCK & THOMAS, 2005; FARIAS et al., 2007). A região com altitude elevada, particularmente no sul do Brasil, é caracterizada por apresentar temperatura amena, durante a primavera e verão, sendo comum ocorrerem temperaturas abaixo de 20°C, principalmente durante a noite (INMET, 2009), no período de cultivo da soja. Essa temperatura está abaixo da considerada como ótima para o desenvolvimento da soja, a qual fica em torno de 30°C (EMBRAPA, 2013), o que tem dificultado a obtenção de altas produtividades para a maioria das cultivares, embora a precipitação pluviométrica tenha sido maior e melhor distribuída na maior parte dessa região, se comparada às demais regiões produtoras de soja do Sul do Brasil.

Dentre as limitações observadas para a maioria das cultivares de soja quando semeadas nas regiões mais altas e frias do sul do Brasil, destacam-se: alongamento do ciclo vegetativo, excessivo crescimento das plantas, alongamento dos entrenós, acamamento de plantas e abortamento de flores e vagens (MUNDSTOCK & THOMAS, 2005). A seleção de cultivares de soja melhor adaptadas e mais produtivas nessas condições de ambiente, e o estudo do manejo adequado, de acordo com as características de cada cultivar, podem contribuir significativamente para a elevação da produtividade da cultura nessa região. Características como ciclo, componentes do rendimento (número de vagens por planta, número de grãos por vagem e peso de grãos), índice de colheita e rendimento de grãos, são fundamentais na seleção de cultivares nos diferentes ambientes, porém, são bastante influenciadas pelo manejo.

Ajustes no manejo, como a variação da densidade de plantas, época de semeadura, fertilidade do solo, dentre outros, podem aumentar ou diminuir a produção de biomassa de uma comunidade de plantas (GOLDBERG, 1987; HIROSE, 1995). O aumento na produção

de biomassa, mantendo inalterado o índice de colheita, é um modo de aumentar a produtividade das culturas agrícolas (RAMBO et al., 2002).

A variação na densidade de plantas pode alterar a morfologia da planta, interferindo diretamente na sua arquitetura, na produção de biomassa, nos componentes do rendimento e, conseqüentemente, no rendimento de grãos de soja (GAUDÊNCIO et al., 1990; MUNDSTOCK & THOMAS, 2005; THOMAS & COSTA, 2010). Entretanto, esse efeito pode variar com as características da cultivar e com as condições do ambiente de cultivo (PEIXOTO et al., 2000; PIRES et al., 2000; RAMBO et al., 2002; MAUAD et al., 2010). Algumas cultivares modernas apresentam uma arquitetura de planta que pode propiciar maior tolerância ao aumento da densidade, e isso pode resultar num efeito positivo nos componentes do rendimento e na produtividade de grãos de soja.

O presente trabalho teve como objetivos: avaliar o comportamento dos componentes do rendimento e do índice de colheita de diferentes cultivares de soja, variando a densidades de plantas, num ambiente de 1.100 metros de altitude, no sul do Brasil.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos, um em cada ano agrícola (2011/2012 e 2012/2013), na Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária – FAPA, localizada no município de Guarapuava, estado do Paraná, no sul do Brasil, a 25° 33’S e 51° 29’W e com 1.100 metros de altitude. O solo do local é classificado como Latossolo Bruno Alumínico, textura argilosa, fase campo subtropical (EMBRAPA, 1999). O clima, segundo Köppen, é classificado como temperado do tipo Cfb.

O delineamento experimental foi blocos ao acaso, com arranjo fatorial 12 x 4 sendo: 12 cultivares de soja (BMX Energia RR, BMX Apolo RR, BMX Ativa RR, V_Top RR, TMG 7262 RR, BMX Potência RR, BMX Turbo RR, BRS 243 RR, BRS 133, BRS 232, BRS 284 e CD 202) e 4 densidades (200, 350, 500 e 650 mil plantas ha⁻¹), com quatro repetições, totalizando 48 tratamentos e 192 parcelas, em cada ano.

As cultivares foram agrupadas de acordo com a adaptação por altitude, definida por meio de informações obtidas junto aos respectivos obtentores: no primeiro grupo três cultivares registradas recentemente e cultivadas em larga escala na região alta do sul do Brasil (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR); no segundo, três cultivares com ampla indicação, tanto para a região de alta altitude quanto na de menor altitude no centro-sul

do Brasil (BMX Turbo RR, V_Top RR e TMG 7262 RR); no terceiro, duas cultivares que ocupam área significativa na região de menor altitude, desde o sul até o centro do País (BMX Potência RR e BRS 284) e no quarto grupo, quatro cultivares que foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente, porém atualmente ocupam uma área pouco expressiva (CD 202, BRS 232, BRS 243 RR e BRS 133). Como não houve diferença entre os anos, a análise foi feita considerando a média dos dois anos. Para as variáveis que não apresentaram diferença entre as cultivares, dentro de cada grupo de adaptação, a análise considerou a média dos grupos.

A semeadura foi realizada com máquina semeadora de parcelas, no sistema de semeadura direta na palha. O tamanho total da parcela foi de 1,6 m x 6,0 m, contendo quatro fileiras espaçadas em 0,4 m cada e para a parcela útil consideraram-se as duas fileiras centrais, descontando-se meio metro linear de cada extremidade, resultando numa área de 4,0 m². O ajuste das densidades foi realizado durante a emissão da primeira folha trifoliolada, contando-se todas as plantas da parcela e arrancando-se as plantas em excesso.

O manejo de plantas daninhas foi realizado com aplicação dos herbicidas metolachlor e sulfentrazone, em pré emergência, nas doses de 1.440 e 500 g i. a. ha⁻¹, respectivamente. As plantas daninhas que emergiram durante o período de desenvolvimento da soja foram eliminadas manualmente, mantendo o experimento livre de interferência durante todo o ciclo da cultura. Durante os estádios V6 e R2 foram realizadas aplicações de inseticida diflubenzurom na dose de 30 g i.a. ha⁻¹ em cada aplicação, para o controle de pragas e, durante os estádios R1, R4 e R5.5, foram feitas aplicações de fungicidas azoxistrobina + ciproconazol (60 + 24 g i. a. ha⁻¹ em cada aplicação), para o controle de doenças.

A partir do início do florescimento da primeira cultivar a florescer, foram realizadas avaliações semanais até o final do florescimento de todas as cultivares, para determinar a duração do ciclo vegetativo (da emergência ao florescimento). O início do florescimento foi o estágio R1, seguindo a escala proposta por FEHR & CAVINESS (1977). Para a determinação da maturação fisiológica, considerou-se o estágio R7, seguindo a mesma escala.

Na pré-colheita, avaliou-se o acamamento de plantas, seguindo uma escala de 1 a 5, onde, 1 significa 0% e 5 significa 100% das plantas acamadas, dentro de cada parcela. Também foram coletadas aleatoriamente 10 plantas por parcela, para determinação dos componentes do rendimento (número de vagens por planta, número de vagens por metro quadrado, número de grãos por vagem, peso de mil grãos) e o índice de colheita aparente, o

qual foi determinado pela relação entre massa seca da planta (desconsiderando as raízes e as folhas) e peso de grãos.

Para as variáveis que não apresentaram diferença significativa entre as cultivares dentro de cada grupo, as análises foram realizadas considerando as médias dos grupos. Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de comparação de médias de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade e à análise de regressão.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo geral, as condições climáticas durante o período de condução do trabalho, em ambos os anos, foram próximas ao normal, considerando as médias históricas registradas na estação meteorológica localizada próxima ao local do estudo (SIMEPAR, 2013).

Entretanto, no ano agrícola 2011/12, a temperatura média variou entre 0,8 °C e 1,2 °C abaixo da média histórica durante os meses de novembro, dezembro e janeiro, período coincidente com o desenvolvimento vegetativo e início do período reprodutivo, enquanto que, na safra seguinte, a temperatura foi de acordo com a média histórica para a região, durante o mesmo período. O equilíbrio do crescimento da planta de soja e a duração do seu ciclo são importantes para se obter elevados rendimentos de grãos e podem ser influenciados pela temperatura, pela época de semeadura, pela densidade de plantas, pelo fotoperíodo e pelas características de cada cultivar (MUNDSTOCK & THOMAS, 2005).

A análise dos dados mostrou que todas as variáveis apresentaram comportamento semelhante nos dois anos de estudo (2011/12 e 2012/13). Não houve interação entre anos, nem para cultivares, nem para densidades. Assim, cada variável foi avaliada considerando a média dos dois anos. Para as variáveis que não apresentaram diferenças significativas entre as cultivares, dentro de cada grupo, as análises foram feitas comparando a média de cada grupo.

A variação na densidade de plantas não interferiu significativamente no ciclo, tanto vegetativo quanto reprodutivo, das cultivares de soja avaliadas. As doze cultivares estão classificadas quanto ao grupo de maturidade, entre 5.3 e 7.3 (ALLIPRANDINI et al., 2009) e variaram o ciclo de 51 a 64 e de 118 a 152 dias, da emergência ao florescimento e da emergência à maturação, respectivamente (Tabela 3.1) e, dentro de cada grupo de adaptação, não diferiram entre si, para o ciclo.

Tabela 3.1. Ciclo médio (dias) da emergência ao florescimento (E-F) e da emergência à maturação (E-M), maturidade relativa e tipo de crescimento, de doze cultivares de soja, divididas em quatro grupos de adaptação por altitude, na média de quatro densidades (200, 350, 500 e 650 mil plantas ha⁻¹) e dois anos (2011/12 e 2012/13), semeadas na Região Sul do Brasil.

Cultivares	Grupos*	Tipo de crescimento	Maturidade relativa	Ciclo médio (dias)	
				E-F	E-M
BMX Energia RR	I	Indeterminado	5.3	51	118
BMX Apolo RR	I	Indeterminado	5.5	54	126
BMX Ativa RR	I	Determinado	5.6	55	129
BMX Turbo RR	II	Indeterminado	5.8	56	131
V_Top RR	II	Indeterminado	5.9	57	132
TMG 7262 RR	II	Semi-determinado	6.2	59	133
BMX Potência RR	III	Indeterminado	6.7	61	137
BRS 284	III	Indeterminado	6.3	59	133
CD 202	IV	Determinado	6.4	61	140
BRS 232	IV	Determinado	6.9	63	145
BRS 243 RR	IV	Determinado	7.2	64	149
BRS 133	IV	Determinado	7.3	64	152

* Cultivares agrupadas de acordo com a adaptação por altitude, definida por meio de informações obtidas junto aos respectivos obtentores: Grupo I: em cultivo na região alta do sul do Brasil; Grupo II: em cultivo nas regiões de alta e de baixa altitude no sul do Brasil; Grupo III: em cultivo em baixa altitude desde o sul até o centro do Brasil e Grupo IV: foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente.

O aumento na densidade de plantas diminuiu o número de vagens por planta, em todos os grupos de cultivares. Contudo, a análise de regressão ajustou uma equação linear para o grupo I e quadrática para os demais grupos de cultivares (Figura 3.1), mostrando que a redução do número de vagens por planta em função do aumento da densidade, não seguiu a mesma tendência entre os grupos de cultivares. A redução foi menos intensa no grupo I do que nos demais, indicando que as cultivares desse grupo podem tolerar densidades maiores do que as dos demais grupos, mantendo maior número de vagens por planta.

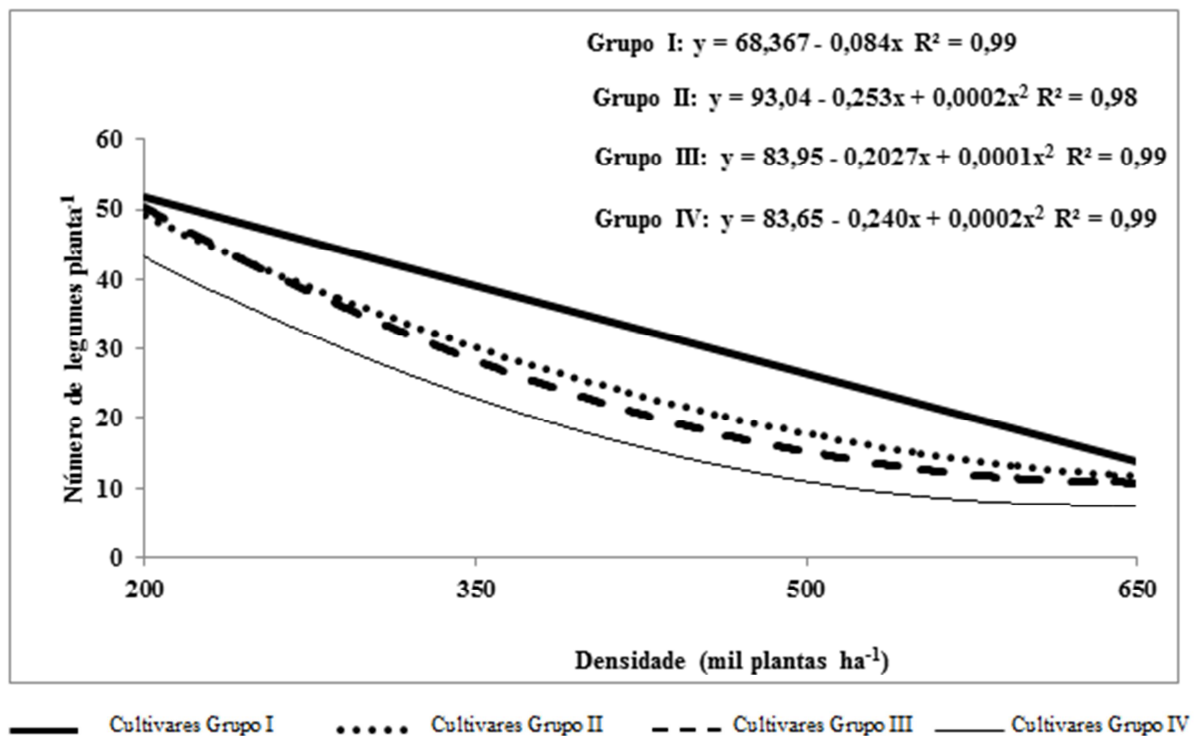


Figura 3.1. Número de vagens por planta, de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.

*Grupo I: em cultivo na região alta do sul do Brasil (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR); Grupo II: em cultivo nas regiões de alta e de baixa altitude no sul do Brasil (BMX Turbo RR, V_Top RR e TMG 7262 RR); Grupo III: em cultivo em baixa altitude desde o sul até o centro do Brasil (BMX Potência RR e BRS 284) e Grupo IV: foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente (CD 202, BRS 232, BRS 133 e BRS 243 RR).

Verificou-se que as cultivares do grupo I apresentaram folhas pequenas e posicionadas mais verticalmente, menor estatura de planta, alta tolerância ao acamamento e maior emissão de ramos laterais, em todas as densidades, comparadas principalmente com as cultivares dos grupos III e IV. Essas características, certamente proporcionaram às cultivares do grupo I, um menor auto sombreamento e, conseqüentemente, uma menor competição entre plantas, pela radiação incidente sobre a área, principalmente nas maiores densidades. Isso pode ter propiciado uma melhor atividade fotossintética no dossel das plantas, contribuindo para uma maior fixação de flores e formação de vagens.

De acordo com DUNCAN (1986), a menor competição entre plantas, durante os estádios vegetativos da soja, resulta em maior acúmulo de massa seca e maior número de vagens, durante os estádios reprodutivos, contribuindo para melhorar o aproveitamento dos

fotoassimilados, durante o enchimento de grãos. Contudo, esse comportamento pode variar de acordo com a cultivar (PEIXOTO et al., 2000), sendo que, cultivares que apresentam crescimento excessivo das plantas, normalmente são mais sensíveis à competição entre plantas e o aumento da densidade reduz do número de ramificações e de vagens por planta (MAUAD et al., 2010).

O número de vagens por planta é importante, porém, tão importante quanto, é o comportamento de cada indivíduo na comunidade de plantas, refletindo em maior ou menor número de vagens por metro quadrado (PIRES et al., 2000). Analisando o número de vagens por metro quadrado nesse estudo, verificou-se que as cultivares do grupo I e, em menor intensidade, também as do grupo II, ajustaram equações quadráticas, respondendo positivamente ao aumento da densidade até as densidades ótimas, obtidas pela derivação das equações de regressão, que foram de 406 e 278 mil plantas ha⁻¹, respectivamente (Figura 3.2).

Para os grupos III e IV, cujas plantas apresentaram maior estatura e acamamento, além de menor ramificação, com o aumento da densidade de plantas, a resposta foi linear e decrescente, indicando que, para as cultivares desses grupos, o aumento da densidade de plantas reduziu o número de vagens por metro quadrado, já a partir da menor densidade (Figura 3.2). Esses resultados tornam evidente a diferença na arquitetura de planta, das cultivares de soja, podendo interferir diretamente na resposta das mesmas à variação da densidade e na formação de vagens, o que favorece ou prejudica a produtividade dependendo do manejo adotado.

Os resultados obtidos nesse estudo estão de acordo com a maioria dos trabalhos disponíveis na literatura, se consideradas somente as cultivares do grupo IV, mais antigas. Cultivares com características semelhantes às do grupo IV, normalmente apresentam crescimento excessivo das plantas e altos índices de acamamento, características que normalmente são agravadas com o aumento da densidade. Assim, principalmente nos trabalhos mais antigos, é comum a indicação de densidades baixas, argumentando que a soja compensa os espaços maiores entre as plantas, aumentando os componentes do rendimento (BERGAMASCHI & BERNI, 1978; CARPENTER & BOARD, 1997; PIRES, 1998). Porém, considerando principalmente as cultivares dos grupos I e II, os resultados obtidos contradizem a maior parte dos trabalhos publicados, mostrando que as densidades ótimas, para maximizar os componentes do rendimento para essas cultivares, estão acima daquelas verificadas para as cultivares com características semelhantes às do grupo IV.

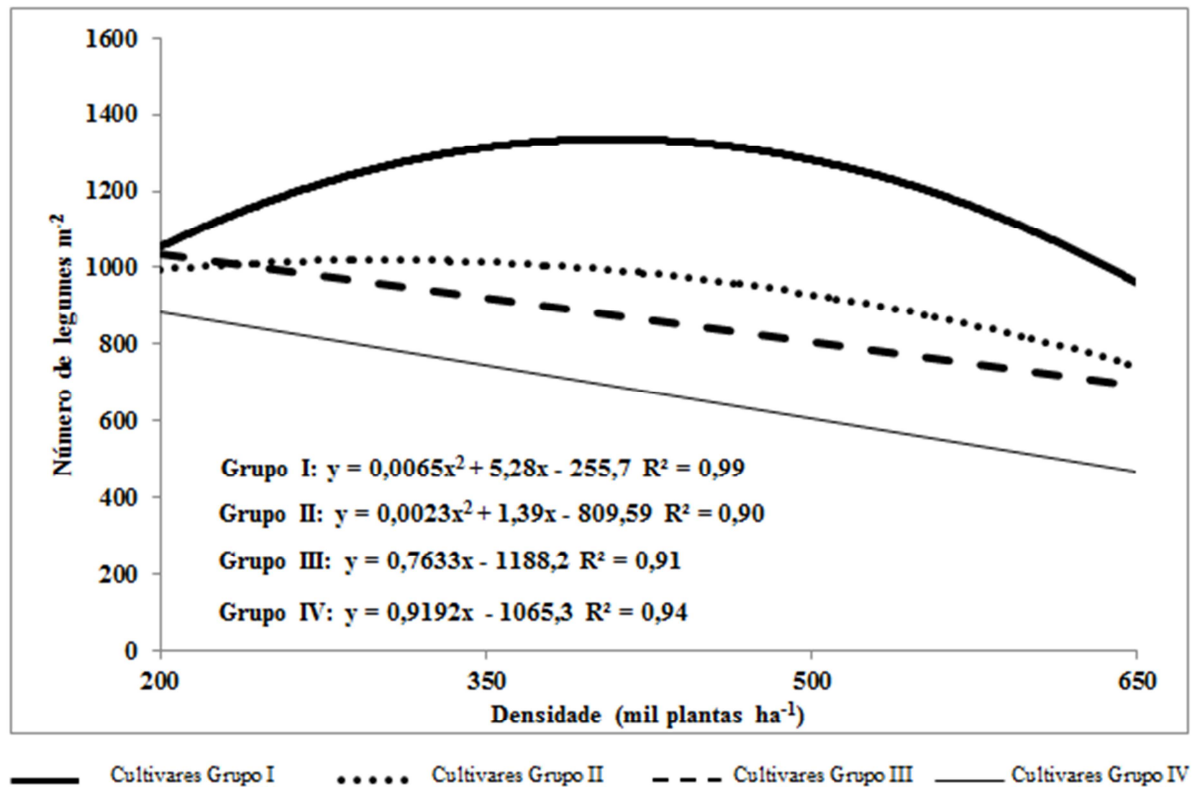


Figura 3.2. Número de vagens por metro quadrado, de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.

*Grupo I: em cultivo na região alta do sul do Brasil (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR); Grupo II: em cultivo nas regiões de alta e de baixa altitude no sul do Brasil (BMX Turbo RR, V_Top RR e TMG 7262 RR); Grupo III: em cultivo em baixa altitude desde o sul até o centro do Brasil (BMX Potência RR e BRS 284) e Grupo IV: foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente (CD 202, BRS 232, BRS 133 e BRS 243 RR).

O número de vagens por metro quadrado, é um componente extremamente importante para o rendimento de grãos de uma lavoura de soja e dever ser considerado no ajuste fitotécnico das cultivares a serem indicadas, a nível de campo, pois além de considerar a produção individual de vagens, também considera o comportamento de cada planta na comunidade de plantas, de acordo com o manejo adotado. O número de vagens por área representa a maior contribuição, dentre os componentes do rendimento, para a produtividade de grãos da cultura da soja (COSTA, 1996; PIRES et al., 2000; PIEROZAN, Jr., 2012). Porém, esse componente pode ser afetado pelas características de cada cultivar (NAVARRO JÚNIOR & COSTA, 2002), de modo que, a indicação a nível de campo deve considerar o

comportamento das cultivares, de acordo com o manejo e com o ambiente em questão, para se buscar a maximização do potencial produtivo da soja.

Para o número de grãos por vagem, a análise de variância não apresentou diferença significativa entre as cultivares, dentro de cada grupo de adaptação. Assim, no teste de comparação de médias, considerou-se a média das cultivares para cada grupo. Não houve interação entre densidades e grupos de cultivares, para essa variável e, na média das quatro densidades avaliadas, o grupo I produziu maior número de grãos por vagem do que o grupo IV, porém não diferiu dos grupos II e III (Tabela 3.2). Isso pode ser explicado pelo fato de as cultivares dos grupos I, II e III apresentarem maior quantidade de vagens com dois, três e quatro grãos, enquanto que nas cultivares do grupo IV predominam os vagens com um e dois grãos, além de apresentar maior número de vagens estéreis. O número de grãos por vagem possui limites máximos determinados geneticamente (FARIAS et al., 2007) e, portanto, variam entre cultivares. Assim, o manejo exerce menor efeito sobre essa variável.

Tabela 3.2. Número de grãos por vagem de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.

Grupos*	Densidades (mil plantas ha ⁻¹)				Médias
	200	350	500	650	
	Número de grãos por vagem de soja				
Cultivares Grupo I	2,57	2,42	2,28	1,86	2,28 a
Cultivares Grupo II	2,48	2,35	2,14	1,61	2,15 ab
Cultivares Grupo III	2,37	2,40	1,94	1,32	2,01 ab
Cultivares Grupo IV	2,18	2,07	1,26	1,06	1,64 b
Médias	2,40 A	2,31 A	1,91 AB	1,46 B	

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

* Cultivares agrupadas de acordo com a adaptação por altitude, definida por meio de informações obtidas junto aos respectivos obtentores: Grupo I: em cultivo na região alta do sul do Brasil (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR); Grupo II: em cultivo nas regiões de alta e de baixa altitude no sul do Brasil (BMX Turbo RR, V_Top RR e TMG 7262 RR); Grupo III: em cultivo em baixa altitude desde o sul até o centro do Brasil (BMX Potência RR e BRS 284) e Grupo IV: foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente (CD 202, BRS 232, BRS 133 e BRS 243 RR).

A densidade de 650 mil plantas ha⁻¹ reduziu o número de grãos por vagem, comparada às densidades de 200 e 350 mil plantas ha⁻¹, na média dos quatro grupos de adaptação (Tabela 3.2). Na maior densidade predominaram os vagens com dois, um ou nenhum grão em relação

aos vagens com três ou quatro grãos, comparada às densidades menores. Isso, certamente contribuiu para o resultado obtido.

A única variável que apresentou diferença no comportamento das cultivares, dentro de alguns grupos, foi o peso de mil grãos, a qual, da mesma forma que o número de grãos por vagem, é determinada geneticamente em cultivar (COSTA, 1996; SEDIYAMA et al., 1982; FARIAS et al., 2007). As cultivares dos grupos I e III não diferiram entre si, dentro de cada grupo, respectivamente. Já, no grupo II o maior peso de mil grãos foi observado na cultivar TMG 7262 RR, seguido pela BMX Turbo RR e pela V_Top RR, enquanto que no grupo IV a cultivar BRS 232 superou as demais, para o peso de mil grãos. Não se observaram diferenças entre as densidades de plantas, na média das cultivares, para essa variável (Tabela 3.3), concordando com os resultados obtidos por MAUAD et al. (2010).

Tabela 3.3. Peso de mil grãos (g) de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.

Cultivares	Grupos*	Densidades (mil plantas ha ⁻¹)				Médias
		200	350	500	650	
Peso de mil grãos de soja (g)						
BMX Energia RR	I	175	175	174	175	175 ab
BMX Apolo RR	I	179	180	176	176	178 ab
BMX Ativa RR	I	193	198	190	187	192 a
BMX Turbo RR	II	185	187	187	186	186 ab
V_Top RR	II	161	160	162	160	161 bcd
TMG 7262 RR	II	187	193	188	187	189 a
BMX Potência RR	III	168	167	170	164	167 abcd
BRS 284	III	168	171	169	167	169 abc
CD 202	IV	148	149	147	147	148 cd
BRS 232	IV	186	186	182	184	185 ab
BRS 243 RR	IV	140	139	142	142	141 d
BRS 133	IV	141	139	139	140	140 d
Média		169 A	170 A	169 A	168 A	
CV (%)		9,21				

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

* Cultivares agrupadas de acordo com a adaptação por altitude, definida por meio de informações obtidas junto aos respectivos obtentores: Grupo I: em cultivo na região alta do sul do Brasil; Grupo II: em cultivo nas regiões de alta e de baixa altitude no sul do Brasil; Grupo III: em cultivo em baixa altitude desde o sul até o centro do Brasil e Grupo IV: foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente.

Conforme observado na Figura 3.1, o maior e o menor número de vagens por planta foram obtidos na menor e na maior densidade, respectivamente, em todos os grupos de cultivares. O mesmo comportamento foi observado para o número de grãos por vagem (Tabela 3.2). A falta de resposta para o peso de mil grãos, entre as diferentes densidades de

plantas, sugere que, na menor densidade onde a produção de fotoassimilados por planta, provavelmente tenha sido maior, resultado da menor competição entre as plantas pela radiação fotossinteticamente ativa, esses produtos foram divididos entre um número maior de vagens e de grãos por vagem. Já na maior densidade, a competição entre plantas foi maior, o que deve ter reduzido a produção de fotoassimilados por indivíduo, porém, esses produtos foram distribuídos para um número menor de vagens e de grãos por vagem, verificados nessa densidade. Esses resultados estão de acordo com os encontrados por alguns autores (VAL et al., 1971; PIRES et al., 2000; HEIFFIG et al., 2006; MAUAD et al., 2010), porém discordam de outros (PEIXOTO et al., 2000; TOURINO et al., 2002) e isso, provavelmente se deve às diferentes condições ambientais (PANDEY & TORRIE, 1973) onde cada estudo foi conduzido e às características das cultivares avaliadas.

De modo geral, verificou-se que as cultivares que entraram no mercado mais recentemente apresentam grãos maiores e mais pesados do que as cultivares mais antigas, como as do grupo IV, com exceção da BRS 232 (Tabela 3.3). O peso de mil grãos e o número de grãos por vagem, são componentes importantes na composição do rendimento de grãos da soja e foram menos afetados, pela densidade de plantas, do que o número de vagens por planta. Esses resultados estão de acordo com resultados obtidos por outros autores, que avaliaram o comportamento dos componentes do rendimento de soja, sob diferentes condições de manejo como, variação na densidade, época de semeadura, arranjo de plantas, entre outros (VAL et al., 1971; PIRES et al., 2000; HEIFFIG et al., 2006; MAUAD et al., 2010).

Assim, tanto o peso de grãos quanto o número de grãos por vagem, são características que precisam ser consideradas nos programas de melhoramento genético, para elevar o potencial de produtividade das cultivares de soja, pois esses componentes são mais difíceis de serem alterados pelo manejo aplicado na lavoura. Portanto, cultivares que apresentam vagens com maior número de grãos por vagem e maior peso de grãos, quando submetidas à manejos que favoreçam o aumento na produção de vagens, de modo geral, tem maiores probabilidades de apresentar produtividades elevadas.

O índice de colheita e o acúmulo de massa seca durante o estágio vegetativo e início do reprodutivo influenciam diretamente no rendimento de grãos da soja (BALL et al., 2000a). Para determinação do índice de colheita, não foram consideradas as raízes e as folhas das plantas, pela dificuldade em se realizar a coleta das mesmas, considerando o grande número de unidades amostrais avaliadas nesse estudo. Assim, essa variável foi denominada de índice

de colheita aparente, de acordo com a metodologia já estabelecida por outros autores (PIRES et al., 2000; CRUZ et al., 2010).

Não houve interação entre as densidades de plantas e os grupos de cultivares para o índice de colheita aparente. Na média, observaram-se diferenças significativas entre os grupos de cultivares e também entre as densidades de plantas (Tabela 3.4). O grupo I não diferiu do grupo II, porém foi superior aos demais grupos, na média das densidades avaliadas. Os valores observados para esta variável, principalmente nos grupos I e II, foram superiores aos relatados na literatura (BALL et al., 2000a, PIREs et al., 2000; RAMBO et al., 2002; CRUZ et al., 2011).

Tabela 3.4. Índice de colheita aparente (%), de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.

Grupos *	Densidades (mil plantas ha ⁻¹)				Médias
	200	350	500	650	
	Índice de colheita aparente				
Cultivares Grupo I	53	51	51	47	51 a
Cultivares Grupo II	48	45	41	39	43 ab
Cultivares Grupo III	40	39	35	31	36 b
Cultivares Grupo IV	33	29	25	24	28 c
Médias	44 A	41 AB	38 AB	35 B	
CV (%)	10,08				

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

* Cultivares agrupadas de acordo com a adaptação por altitude, definida por meio de informações obtidas junto aos respectivos obtentores: Grupo I: em cultivo na região alta do sul do Brasil (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR); Grupo II: em cultivo nas regiões de alta e de baixa altitude no sul do Brasil (BMX Turbo RR, V_Top RR e TMG 7262 RR); Grupo III: em cultivo em baixa altitude desde o sul até o centro do Brasil (BMX Potência RR e BRS 284) e Grupo IV: foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente (CD 202, BRS 232, BRS 133 e BRS 243 RR).

Vale destacar que as cultivares desses grupos apresentam arquitetura de planta mais favorável à melhor penetração da radiação solar no dossel, como menor estatura de planta, maior tolerância ao acamamento e folhas menores e mais eretas, comparadas às cultivares mais antigas, como é o caso das cultivares do grupo IV. Isso, provavelmente, tenha contribuído para melhorar eficiência fotossintética durante todo o ciclo da cultura, favorecendo o desenvolvimento vegetativo, a maior formação e melhor distribuição de flores e vagens no perfil das plantas e, conseqüentemente, aumentando o índice de colheita aparente,

nas cultivares dos grupos I e II. Além disso, provavelmente essas características estejam contribuindo para a melhor adaptação dessas cultivares no ambiente alvo do estudo, tornando-as mais eficientes na alocação dos produtos da fotossíntese nos componentes do rendimento e, conseqüentemente, aumentando o índice de colheita aparente.

O grupo IV apresentou o menor índice de colheita aparente, dentre todos os grupos de cultivares avaliados nesse estudo (Tabela 3.4). As cultivares desse grupo tem tipo de crescimento determinado, apresentaram elevado crescimento em estatura, folhas grandes, altos índices de acamamento de planta e ciclo mais longo, comparadas às cultivares dos demais grupos. Conforme verificado, isso aumentou o auto sombreamento e dificultou a penetração da radiação solar para os estratos médio e inferior do dossel das plantas, contribuindo para um maior abortamento de flores e de vagens, o que poderia explicar o menor índice de colheita aparente, observado nesse grupo de cultivares.

A taxa fotossintética líquida distribuída no dossel e o transporte de fotoassimilados, dos locais de síntese para os locais de demanda, afetam o acúmulo de massa seca e a partição de carbono para as diferentes partes da planta, interferindo na produtividade da soja (SEDIYAMA et al., 1982; SEDIYAMA, 2009). Embora, o maior comprimento do ciclo pode ser visto como uma característica favorável para o maior acúmulo de massa seca, podendo refletir positivamente nos componentes do rendimento e na produtividade da soja (MUNDSTOCK & THOMAS, 2005), isso não foi observado nesse estudo, sugerindo que outras características foram mais importantes do que o ciclo.

Para o rendimento de grãos verificou-se interação entre os grupos de cultivares e as densidades de plantas, na média dos dois anos avaliados. Na menor densidade (200 mil plantas ha⁻¹) as cultivares dos grupos I, II e III não diferiram entre si e foram superiores às cultivares do grupo IV. Nas demais densidades, o grupo I foi superior aos demais para o rendimento de grãos (Tabela 3.5).

No grupo I, os melhores rendimentos de grãos foram obtidos com as densidades de 350 e 500 mil plantas ha⁻¹, enquanto que na menor e na maior densidade os rendimentos diminuíram. Já nos grupos II e III, os melhores rendimentos foram obtidos nas densidades de 200 e 350 mil plantas ha⁻¹, enquanto que no grupo IV, o maior rendimento foi obtido com a menor densidade de plantas (Tabela 3.5). Esse comportamento foi semelhante ao observado para o número de vagens m⁻² (Figura 3.2). Além disso, o comportamento verificado para os demais componentes do rendimento (Tabelas 3.2 e 3.3) e para o índice de colheita aparente (Tabela 3.4), contribuem para explicar os rendimentos de grãos obtidos nos diferentes grupos de cultivares e densidades de plantas.

Tabela 3.5. Rendimento de grãos (kg ha^{-1}), de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.

Grupos *	Densidades ($\text{mil plantas ha}^{-1}$)			
	200	350	500	650
	Rendimento de grãos			
Cultivares Grupo I	4331 Ba	5190 Aa	5235 Aa	3829 Ca
Cultivares Grupo II	4323 Aa	4560 Ab	3548 Bb	2989 Cb
Cultivares Grupo III	4075 Aa	3691 Ac	2842 Bc	2313 Cc
Cultivares Grupo IV	3288 Ab	2706 Bd	1976 Cd	1856 Cc
CV (%)	9,76			

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

* Cultivares agrupadas de acordo com a adaptação por altitude, definida por meio de informações obtidas junto aos respectivos obtentores: Grupo I: em cultivo na região alta do sul do Brasil (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR); Grupo II: em cultivo nas regiões de alta e de baixa altitude no sul do Brasil (BMX Turbo RR, V_Top RR e TMG 7262 RR); Grupo III: em cultivo em baixa altitude desde o sul até o centro do Brasil (BMX Potência RR e BRS 284) e Grupo IV: foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente (CD 202, BRS 232, BRS 133 e BRS 243 RR).

Os resultados obtidos nesse estudo comprovaram que é possível atingir valores elevados para os componentes do rendimento, para o índice de colheita e para o rendimento de grãos de soja, na região alta e fria do sul do Brasil, por meio da indicação de cultivares e do manejo adotado. O comportamento dos componentes dessas variáveis oscilou de acordo com os diferentes grupos de cultivares e com a densidade de plantas. Cultivares que toleraram o aumento da densidade de plantas, produziram maior número de vagens por área comparado às demais, sugerindo que, o aumento na densidade pode ser uma estratégia para elevar a produtividade de soja, dependendo das características de cada cultivar.

O índice de colheita variou significativamente entre os diferentes grupos de cultivares e também de acordo com a densidade de plantas, indicando que essa característica pode ser melhorada pela seleção das cultivares e com o manejo aplicado para as mesmas, refletindo positivamente na produtividade da cultura da soja.

3.4 CONCLUSÕES

A densidade de plantas não interfere no ciclo, tanto vegetativo quanto reprodutivo, das cultivares de soja;

O aumento na densidade de plantas diminui o número de vagens por planta, com intensidades diferentes entre as cultivares;

O índice de colheita aparente varia entre as cultivares de soja e entre as densidades de plantas;

O aumento na densidade de plantas aumenta o número de vagens por área e o rendimento de grãos de soja nas cultivares adaptadas e reduz, nas cultivares pouco adaptadas no ambiente de elevada altitude do Sul do Brasil;

É possível se obter elevados rendimentos de grãos de soja, na região alta e fria do sul do Brasil, por meio da seleção de cultivares e do manejo adotado.

3.5 REFERÊNCIAS

ALLIPRANDINI, L. F.; ABATTI, C.; BERTAGNOLLI, P. F.; CAVASSIM, J. E.; GABE, H. L. Understanding Soybean Maturity Groups in Brazil: Environment, Cultivar Classification, and Stability. **Crop Science**, Madison, v. 49, p. 801-808, 2009.

BALL., R.A.; PURCELL, L.C.; VORIES, E.D. Optimizing soybean plant population for a short-season production system in the Shouthern USA. **Crop Science**, Madison, v.40, n. 3, p.757-764, 2000a.

BERGAMASCHI, H.; BERNI, N. A. Densidade de plantas e espaçamento entrelinhas de soja; recomendações para o Rio Grande do Sul. **IPAGRO Informa**, Porto Alegre, n. 21, p. 57-62, 1978.

CARPENTER, A. C.; BOARD, J. E. Branch yield components controlling soybean yield stability across plant population. **Crop Science**, Madison, v. 37, n. 3, p. 885-891, 1997.

COSTA, J. A. **Cultura da Soja**. Porto Alegre: I. Manica, 1996. 233p.

CRUZ, T. V.; PEIXOTO, C. P.; MARINS, M. C.; BRUGNERA, P. V. L. L. Índices fisiológicos de cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura no oeste da Bahia. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 663-679, 2010.

DUNCAN, W.G. Planting patterns and soybean yield. **Crop Science**, Madison, v.26. n.3, p.584-588, 1986.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999. 412p.

EMBRAPA. Tecnologias de Produção de Soja, Região Central do Brasil 2013. Londrina PR. Embrapa Soja, 2013.

FARIAS, J.R.B.; NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 9p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 48).

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p. (Special Report, 80).

GAUDÊNCIO, C. A. A.; et al. **População de plantas de soja no sistema de semeadura direta para o Centro-Sul do Estado do Paraná**. Londrina: Embrapa, 1990. p. 1-4. (Circular Técnica, n. 47).

GOLDBERG, D. E. Neighborhood competition an old-field plant community. **Ecology**, v. 68, n. 5, p. 1211-1223, 1987.

HEIFFIG, S.L.; CÂMARA, S.M.G.; MARQUES, A.L.; PEDROSO, B.D.; STÉFANO PIEDADE, M.S. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, Campinas v.65, n.2, p.285-295, 2006.

HIROSE, T. Canopy structure and photon flux partitioning among species in a herbaceous plant community. **Ecology**, v. 76, n. 2, p. 466-474, 1995.

INMET. Climatologia de meses e trimestres de maiores e menores temperaturas e pluviosidades médias no período de 1961-2009. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/mestempo>. Acesso em: 14 mar. 2010.

MAUAD, M.; SILVA, T. L. B.; ALMEIDA NETO, A. I.; ABREU, V. G. et al. Influência da densidade de semeadura sobre características agrônômicas na cultura da soja. **Revista Agrarian**, v. 3, n. 9, p. 175-181, 2010.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Ed. Evangraf, 2005. Porto Alegre, RS. 31p.

NAVARRO JÚNIOR, H. M.; COSTA, J. A. Contribuição relativa dos componentes do rendimento para produção de grãos em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 269-274, 2002.

PEIXOTO, C. P.; CÂMARA, G. M. S.; MARTINS, M. C.; MARCHIORI, L. F. S.; GUERZONI, R. A.; MATTIAZZI, P. Épocas de semeadura e densidade de plantas de soja: I. Componente da produção e rendimento de grãos. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 89-96, 2000.

PANDEY, J. P.; TORRIE, J. H. Path coefficient analysis of seed yield components in soybean (*Glycine max*). **Crop Science**, Madison, v. 13, n. 5, p. 505-507, sept./oct. 1973.

PIEROZAN Jr. C. **Crescimento e desempenho produtivo de cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura no centro-sul do estado do Paraná**. Guarapuava, 2012. **89 f.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, 2012.

PIRES, J. L. COSTA, J. A.; THOMAS, A. L.; MAEHLER, A. R. Efeito de populações e espaçamentos sobre o potencial de rendimento da soja durante a ontogenia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 8, p. 1541-1547, 2000.

PIRES, J. L. **Efeito da redução do espaçamento entre linhas da soja sobre o rendimento de grãos e seus componentes, em semeadura direta**. 1998. 94f. Dissertação (Mestrado – Plantas de Lavoura) – Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

RAMBO, L.; COSTA, J. A.; PIRES, J. L. F.; PARCINELLO, G.; FERREIRA, F. G. Rendimento de grãos de soja e seus componentes por estrato do dossel em função do arranjo de plantas e regime hídrico. **Scientia Agrária**. Curitiba, v. 3, n. 1-2, p. 79-85, 2002.

SEDIYAMA, T.; ALMEIDA, L.D.A de; MIYASAKA, S.; KIIHL, R.A. S. Genética e melhoramento. In: FUNDAÇÃO CARGILL, Campinas. **A soja no Brasil Central**. 2.ed. rev. ampl. Campinas, 1982. p.23-74.

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Macenas, 2009. 314p.

SIMEPAR, **Boletins de estação meteorológica, série histórica 2001 - 2013**, 2013. Disponível em: <http://www.simepar.br/fapa/bd/sumario/diario/meteorologica.jsp>

THOMAS, L. A.; COSTA, J. A. Estabelecimento da lavoura de soja. In: _____. (Org.). Soja: manejo para alta produtividade de grãos. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p. 127-140.

TOURINO, M. C. C.; REZENDE, P. M.; SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agrônômicas da soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1071-1077, 2002.

VAL, W.M.C.; BRANDÃO, S.S.; GALVÃO, J.D.; GOMES, F.R. Efeito do espaçamento entre fileiras e da densidade na fileira sobre a produção de grãos e outras características agrônômicas da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Experimentiae**, Viçosa, v.12, n.12, p.431-475, 1971.

4 ARTIGO

ANÁLISE DE CRESCIMENTO E RENDIMENTO DE GRÃOS DE CULTIVARES DE SOJA COM DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTAS EM CONDIÇÃO DE ELEVADA ALTITUDE

RESUMO

A seleção e o manejo de cultivares de soja mais adaptadas às condições de ambiente da região de elevada altitude do Sul do Brasil podem contribuir para o aumento da produtividade da cultura na região. Os objetivos desse estudo foram: avaliar índices de crescimento de plantas de soja de diferentes cultivares, semeadas com diferentes densidades de plantas e rendimento de grãos, em condição de elevada altitude no Sul do Brasil. Dois experimentos foram conduzidos na FAPA, localizada em Guarapuava, PR, Brasil, nas safras de 2011/2012 e 2012/2013. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições e com os tratamentos arranjados num esquema fatorial 12 x 4, com 12 cultivares e 4 densidades de plantas (200, 350, 500 e 650 mil plantas.ha⁻¹). O tamanho da parcela foi de 3,2 m x 6,0 m, contendo 08 fileiras espaçadas em 0,4 m e, após a emergência, ajustou-se a densidade manualmente. As variáveis foram: análise de crescimento, aos 21, 28, 35, 42, 49 e aos 70 dias após a emergência e rendimento de grãos. Os resultados indicam que: as características de crescimento das plantas variaram entre as cultivares e as densidades. Cultivares com arquitetura de planta ereta, menor estatura, tolerância ao acamamento e com IAF máximo entre 4,5 e 6,7 apresentaram maior fotossíntese líquida, melhor resposta ao aumento da densidade de plantas e maior rendimento de grãos. Cultivares com arquitetura ereta e folhas pequenas, na parte superior do dossel, apresentaram maior tempo de sobrevivência das folhas, maior taxa de fotossíntese líquida e alto rendimento de grãos.

Palavras-chave: *Glycine max.* (L.) Merrill, fisiologia, manejo, produtividade

**GROWTH ANALYSIS AND GRAIN YIELD OF SOYBEAN CULTIVARS WITH
DIFFERENT PLANT DENSITY IN ENVIRONMENTAL CONDITIONS OF HIGH
ALTITUDE**

ABSTRACT

The selection and management of soybean cultivars, in environmental conditions of high altitude in South Brazil may contribute to increase crop productivity. The objectives of this work were to analyze the growth and grain yield of soybean cultivars, with different plant densities in a high altitude environment in Southern Brazil. Two experiments were carried at the “Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária FAPA”, located in Guarapuava, PR, Brazil, at years 2011/2012 and 2012/2013. The experimental design was completely randomized blocks in a 4 x 12 factorial with 12 cultivars and four plant densities (200, 350, 500 and 650.000 plants ha⁻¹), with four replications. The plot size was 3.2 m x 6.0 m with eight rows spaced at 0.4 m and after the emergence the density was manually adjusted. The growth analysis was performed after collecting plants at 21, 28, 35, 42, 49 and 70 days after emergence and the grain yield was determined at the last plant harvest. The results indicate that: the plant growth characteristics varied between cultivars and densities. Cultivars with upright plant architecture, shorter height, tolerance to lodging and maximum LAI between 4.5 and 6.7 showed higher net photosynthesis, better response to increased plant density and higher grain yield. Cultivars with erect and small leaves at the top of the canopy had longer survival of leaves, higher net photosynthesis rate and high grain yield.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merrill, physiology, management, yield

4.1 INTRODUÇÃO

As regiões com altitude elevada (acima de 700 m) no sul do Brasil apresentam temperatura amena durante a primavera e verão, tipicamente inferior a 20°C, principalmente a noite, durante o período de cultivo da soja. Contudo, a disponibilidade hídrica, tem ocorrido em volume suficiente e com boa distribuição, para atender a necessidade da cultura da soja nessa região, fator esse, considerado como um dos mais importantes para a maximização do potencial de rendimento da soja (COSTA, 1996).

A soja é uma espécie com metabolismo C3 de fixação de carbono e seu desenvolvimento é favorecido com temperaturas entre 20-30°C (HOFSTRA, 1972; HESKETH et al., 1973), sendo que, abaixo de 10°C seu crescimento é praticamente paralisado (GARNER & ALLARD, 1930) e acima de 40°C ocorre abortamento de flores e vagens (EMBRAPA, 2008). A temperatura interfere em todas as fases de desenvolvimento da soja, inclusive na indução floral, interferindo dessa maneira, no ciclo e na morfologia das plantas.

De modo geral, ocorre uma relação inversa entre a temperatura média e o ciclo vegetativo, ou seja, temperaturas mais baixas alongam esse período enquanto que temperaturas mais elevadas aceleram o florescimento e, conseqüentemente, encurtam o período vegetativo (PASCALE, 1969; FARIAS et al., 2007; EMBRAPA, 2013). Temperaturas médias do ar noturnas ao redor de 24°C, com fotoperíodo indutivo, induzem o florescimento, enquanto que, para cada 0,5°C, abaixo desse valor, ocorre um alongamento do período vegetativo, entre 2 a 3 dias (WHIGHAM & MINOR, 1978). Assim, considerando as mesmas cultivares, normalmente ocorre um alongamento do ciclo das plantas nas regiões de maior altitude do sul do Brasil, comparado com regiões mais baixas e quentes. Isso pode levar a alterações na morfologia de planta, apresentando crescimento excessivo em estatura, alongamento dos entrenós, acamamento e abortamento de flores e vagens, quando semeadas nas regiões mais altas e frias do sul do Brasil (MUNDSTOCK & THOMAS, 2005; SOUZA et al., 2013).

A interceptação de radiação solar está diretamente relacionada com o índice de área foliar (IAF) e com o coeficiente de extinção luminosa, os quais podem variar com as características morfológicas de cada cultivar. No início do ciclo da soja, de modo geral, o IAF é baixo, aumentando à medida que a cultura se desenvolve. Assim, a interceptação luminosa aumenta até um ponto máximo, a partir do qual ocorre estabilização, devido ao auto sombreamento (PENGELLY et al., 1999), que normalmente ocorre no final do período vegetativo e início do reprodutivo (CASAROLI et al., 2007). A partir desse ponto, o aumento do IAF não eleva a

interceptação luminosa e pode ser prejudicial ao desenvolvimento da cultura (PEREIRA, 2002), provocando maior estiolamento e acamamento de planta, o que leva ao abortamento de flores e de vagens.

O arranjo e a densidade de plantas podem aumentar ou diminuir a interceptação da radiação solar, principalmente no início do ciclo da soja (WELLS, 1993). Além disso, a arquitetura de planta que favoreça maior penetração da radiação no dossel, também é um fator determinante na interceptação e no aproveitamento da radiação (MUNDSTOCK & THOMAS, 2005; CASAROLI et al., 2007; THOMAS & COSTA, 2010), e varia de acordo com a cultivar e com o clima da região de cultivo.

A análise de crescimento permite identificar diferenças no crescimento, tanto de origem genética ou resultantes do manejo adotado, e está fundamentada no fato de que aproximadamente 90% da massa seca acumulada pelas plantas, durante o seu ciclo de vida, é resultado da atividade fotossintética (BENINCASA, 2003). O estudo de índices biométricos relacionados ao crescimento da soja facilita o entendimento do comportamento das cultivares, possibilitando ajustes no manejo e auxiliando na seleção daquelas melhor adaptadas ao ambiente de cultivo e mais produtivas (CRUZ et al.; 2010).

O rendimento das culturas agrícolas está diretamente relacionado com o acúmulo de massa seca resultante da atividade fotossintética (BENINCASA, 2003) e da alocação dos fotoassimilados nas partes da planta de interesse econômico, ou seja, nas estruturas que são colhidas (índice de colheita). Ajustes no manejo, como a variação da densidade de plantas, dentre outros, podem aumentar ou diminuir a produção de biomassa de uma comunidade de plantas (GOLDBERG, 1987; HIROSE, 1995). O aumento na produção de biomassa, mantendo inalterado o índice de colheita, é um modo de aumentar a produtividade das culturas agrícolas (RAMBO et al., 2002). Contudo, a seleção de cultivares com maior índice de colheita, aliado à elevada produção de biomassa, possibilita alcançar níveis mais elevados de produtividade (BRAGA & COSTA, 1983). A maximização do rendimento de grãos da soja depende, dentre outros fatores, da população, do arranjo e da arquitetura de plantas, capazes de interceptar o máximo de radiação solar fotossinteticamente ativa e acumular um nível máximo de massa seca total, durante o período de crescimento vegetativo e o início do período reprodutivo (WELLS, 1993).

O presente trabalho teve como objetivos: avaliar índices de crescimento de plantas de soja de diferentes cultivares e densidades além de identificar características fisiológicas que confirmam adaptação e maximizem o rendimento de grãos em ambiente de elevada altitude no sul do Brasil.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante dois anos agrícolas (2011/2012 e 2012/2013), na Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária – FAPA, localizada no município de Guarapuava, a 25° 33’S e 51° 29’W e com 1100 metros de altitude. O solo do local é classificado como Latossolo Bruno Alumínico, textura argilosa, fase campo subtropical (EMBRAPA, 1999). O clima, segundo Köppen, é classificado como temperado do tipo Cfb.

O delineamento experimental foi blocos ao acaso, com arranjo fatorial 12 x 4 sendo: 12 cultivares de soja (BMX Apolo RR, BMX Energia RR, BMX Ativa RR, V_Top RR, TMG 7262 RR, BMX Potência RR, BMX Turbo RR, BRS 243 RR, BRS 133, BRS 232, BRS 284 e CD 202) e 4 densidades (200, 350, 500 e 650 mil plantas ha⁻¹), com quatro repetições, totalizando 48 tratamentos e 192 parcelas, em cada ano.

As cultivares foram agrupadas de acordo com a adaptação por altitude, definida por meio de informações obtidas junto aos respectivos obtentores: no primeiro grupo, três cultivares registradas recentemente e, atualmente cultivadas em larga escala na região alta do sul do Brasil (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR); no segundo, três cultivares com ampla indicação, tanto para a região alta quanto na de menor altitude no centro-sul do Brasil (BMX Turbo RR, V_Top RR e TMG 7262 RR); no terceiro, duas cultivares que ocupam área significativa na região de menor altitude, desde o sul até o centro do País (BMX Potência RR e BRS 284) e no quarto grupo, quatro cultivares que foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente, porém atualmente ocupam uma área pouco expressiva (CD 202, BRS 232, BRS 243 RR e BRS 133). Como não houve diferença entre os anos, a análise foi feita considerando a média dos dois anos. Para as variáveis que não apresentaram diferença entre as cultivares, dentro de cada grupo de adaptação, a análise considerou a média dos grupos.

A semeadura foi realizada com máquina semeadora de parcelas, no sistema de semeadura direta na palha. O tamanho da parcela foi de 3,2 m x 5 m, contendo oito fileiras espaçadas em 0,4 m cada. Quatro fileiras foram utilizadas para retirar as amostras destrutivas de plantas, para a análise de crescimento e as outras quatro para colheita e determinação do rendimento de grãos. O ajuste da densidade foi realizado durante a emissão da primeira folha trifoliolada, contando-se todas as plantas da parcela e arrancando-se as plantas em excesso.

Para determinar a análise de crescimento das plantas, realizaram-se seis coletas aos 21, 28, 35, 42, 49 e aos 70 dias após a emergência (DAE), retirando-se todas as plantas em 0,5

metro linear de uma fileira, por parcela. As plantas foram coletadas nas duas fileiras centrais das parcelas definidas para coleta de plantas, descontando-se 0,5 m de cada extremidade como bordadura e 0,5m de intervalo entre cada amostra coletada. Em seguida, as plantas foram levadas ao laboratório para determinação da área foliar (AF) (cm^2 e $\text{m}^2 \text{ planta}^{-1}$) e da massa seca (g planta^{-1}). As folhas de cada amostra foram destacadas das plantas e homogeneizadas. Em seguida, foram coletados aleatoriamente 20 folíolos, os quais foram furados com um perfurador de área conhecida ($2,544 \text{ cm}^2$) e, pela relação entre a massa seca do limbo foliar e a massa seca dos 20 discos do limbo foliar, determinou-se a área foliar (PEIXOTO, 1998; BENINCASA, 2003). Para a determinação da massa seca de folhas, hastes, pecíolos, flores, vagens e dos discos foliares, cada parte foi colocada, separadamente, em uma estufa de ventilação forçada a $70 \text{ }^\circ\text{C}$, até massa constante.

Na análise de crescimento, foi avaliada a produção líquida de plantas de soja, derivada do processo fotossintético, resultado do desempenho do sistema assimilatório, durante o período das coletas. Foram determinados: taxa de crescimento da cultura (TCC), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa assimilatória líquida (TAL), razão da área foliar (RAF), área foliar específica (AFE), índice de área foliar (IAF) e produção de massa seca de cada parte da planta e massa seca total, com o auxílio do Programa Computacional *AnaCres* (PORTES & CASTRO, 1991).

A partir do início do florescimento da primeira cultivar, foram realizadas avaliações semanais até o final do florescimento de todas as cultivares, para determinar a duração do ciclo vegetativo (da emergência ao florescimento). O início do florescimento foi o estágio R1, seguindo a escala proposta por FEHR & CAVINESS (1977). Para a determinação da maturação fisiológica, considerou-se o estágio R7, seguindo a mesma escala. Na última coleta de plantas para análise de crescimento (realizada aos 70 DAE), todas as cultivares de soja apresentavam-se na fase reprodutiva, porém em diferentes estádios. De acordo com a escala de FEHR & CAVINESS (1977), a cultivar BMX Energia RR encontrava-se no estágio R3 (início da formação de vagens) e as demais cultivares no estágio R2 (florescimento pleno).

A colheita das parcelas foi realizada com máquina colhedora de parcelas, colhendo-se as duas fileiras centrais de cada parcela e excluindo-se 0,5m de cada extremidade. Após a colheita, determinaram-se o teor de umidade, o peso de grãos da parcela e o rendimento de grãos (kg ha^{-1}), corrigindo-se a umidade para 13%.

Os dados foram submetidos à análise de variância ao nível de significância de 5% de probabilidade e à análise de regressão. Para o rendimento de grãos determinaram-se as

densidades ótimas para se obter o máximo rendimento de grãos, para cada grupo de cultivares, a partir da derivação das equações de regressão obtidas.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo geral, as condições climáticas durante o período de condução do trabalho, em ambos os anos, foram próximas ao normal, considerando as médias históricas registradas para a região (SIMEPAR, 2013). A precipitação pluviométrica e a radiação solar foram de acordo com as médias históricas para o período. Entretanto, no ano agrícola 2011/12, a temperatura média variou entre 0,8 °C e 1,2 °C abaixo da média histórica, durante os meses de novembro, dezembro e janeiro, período coincidente com as avaliações de análise de crescimento, enquanto que, na safra seguinte, a temperatura foi de acordo com a média histórica para a região, durante o mesmo período. O equilíbrio do crescimento da planta de soja e a duração do seu ciclo são importantes para se obter elevados rendimentos de grãos e podem ser influenciados pela temperatura, pela época de semeadura, pelo fotoperíodo e pelas características de cada cultivar (MUNDSTOCK & THOMAS, 2005).

A análise dos dados mostrou que, nenhuma das variáveis avaliadas apresentou diferença significativa entre os dois anos do estudo (2011/12 e 2012/13). Não houve interação entre anos, nem para cultivares, nem para densidade. Assim, cada variável foi avaliada considerando a média dos dois anos. Para as variáveis que não apresentaram diferenças significativas entre as cultivares, dentro de cada grupo, as análises foram feitas comparando a média de cada grupo.

Com relação ao ciclo, à estatura de planta e ao acamamento de plantas, não houve diferenças significativas no comportamento das cultivares, dentro de cada grupo de adaptação, entre os anos de 2011/12 e 2012/13. As doze cultivares avaliadas estão classificadas quanto ao grupo de maturidade, entre 5.3 e 7.3 (ALLIPRANDINI et al., 2009) e variaram o ciclo de 52 a 64 e de 118 a 152 dias, da emergência ao florescimento e da emergência à maturação fisiológica, respectivamente.

A estatura de planta variou entre os grupos e com a densidade de plantas. A menor e a maior estatura foram observadas na menor e na maior densidade, respectivamente, em todos os grupos de cultivares, exceto no grupo I, o qual não foi influenciado pela densidade de plantas. O aumento da densidade normalmente provoca maior competição entre as plantas pelos recursos do ambiente como água, nutrientes, luz, entre outros, e aumenta o auto

sombreamento, decorrente do maior índice de área foliar, induzindo as plantas ao estiolamento (MUNDSTOCK & THOMAS, 2005).

Plantas adaptadas ao sol, quando submetidas ao sombreamento, priorizam a alocação de recursos em direção a um crescimento mais rápido do caule, aumentando suas chances de sobressair acima do dossel e obter maior quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (SINGH et al., 1974). Com isso ocorre uma inibição das gemas laterais do caule, diminuindo a emissão de ramos (BALL et al., 2000a), o que se confirmou com as plantas de soja avaliadas, onde o número de ramos por planta diminuiu com o aumento da densidade de plantas, para todos os grupos de cultivares.

De modo geral as cultivares que apresentaram as menores estaturas (grupo I) foram as mais tolerantes ao acamamento, independente da densidade. Por outro lado, algumas cultivares apresentaram estatura reduzida na menor densidade, porém, aumentaram significativamente a estatura com o aumento da densidade (grupos II e III), enquanto que as cultivares do grupo IV apresentaram as maiores estaturas, em todas as densidades.

A variação da densidade de plantas é uma estratégia que pode influenciar significativamente a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa, principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas, influenciando no crescimento da cultura (BALL et al., 2000a) e no acúmulo de massa seca, o que pode ser importante para o aumento do rendimento da cultura (EGLI et al., 1987). Assim, é importante que se conheça a resposta das diferentes cultivares de soja à variação da densidade de plantas, pois isso permite que se façam ajustes, buscando maximizar o resultado da cultura.

O índice de área foliar (IAF) não variou significativamente entre os dois anos de estudo. Na média dos dois anos, os valores máximos de IAF foram observados aos 70 dias após a emergência (DAE), em todos os grupos de cultivares.

Os grupos I e II apresentaram os menores valores de IAF, variando de 4,5 a 6,7, na menor e na maior densidade, respectivamente. Já, o grupo III apresentou IAF entre 5,5 e 7,4 aumentando a densidade de 200 para 650 mil plantas ha⁻¹, com enquanto que no grupo IV o IAF aumentou de 6,7 para 8,3 e diminuiu para 7,9 variando a densidade de 200 para 500 e 650 mil plantas ha⁻¹, respectivamente (Figura 4.1).

Nos grupos III e IV, verificou-se maior quantidade de folhas em processo de senescência na parte inferior das plantas, comparados aos grupos I e II, no final do período vegetativo e início de reprodutivo, principalmente nas maiores densidades de plantas.

De modo geral, esses valores de IAF estão de acordo com os observados por Cruz et al. (2010), no oeste da Bahia e ligeiramente acima daqueles encontrados por Pierozan Jr. (2012), na região de Guarapuava – PR.

O aumento na densidade de plantas promoveu um aumento do IAF, desde a primeira avaliação, realizada aos 21 DAE até a última, realizada aos 70 DAE, para todos os grupos de cultivares (Figura 4.1). Contudo, o IAF ótimo foi obtido na última avaliação da análise de crescimento, realizada aos 70 dias após a emergência, em todos os grupos de cultivares (Tabela 4.1). No grupo I o IAF ótimo foi 6.1, na densidade de 500 mil plantas ha⁻¹. Nos grupos II, III e IV, os valores de IAF ótimos foram de 5.9, 6.5 e 7.8, respectivamente, ambos obtidos na densidade de 350 mil plantas ha⁻¹ (Tabela 4.1).

Nos grupos I e II, com IAF menores, verificaram-se folíolos pequenos e posicionados mais no sentido vertical ao solo, além de permanecerem verdes por mais tempo, comparados aos grupos III e IV, com maiores valores de IAF. Por outro lado, nos grupos com os maiores valores de IAF e, principalmente, nas maiores densidades de plantas, observaram-se folíolos maiores, mais decumbentes e com uma senescência mais rápida das folhas posicionadas nas partes mediana e inferior do dossel.

O tamanho e a orientação das folhas e dos folíolos podem ser atribuídos a características intrínsecas das cultivares, controladas geneticamente, ou podem ser influenciados pelas condições do ambiente. Porém, o maior tempo de permanência das folhas verdes pode estar relacionado ao fato de que, folíolos menores e mais verticais facilitariam a penetração da radiação incidente sobre as plantas, possibilitando melhor aproveitamento dessa energia para a realização de fotossíntese pelas folhas localizadas nas partes mediana e inferior do dossel e contribuindo no acúmulo de fotoassimilados.

Em geral, nas cultivares com maior estatura de planta verificaram-se os maiores valores de IAF, em todas as densidades estudadas, desde o início e até o final do período de avaliação. Valores de IAF acima daqueles considerados ótimos, elevam o auto sombreamento, priorizando o crescimento vertical (estiolamento) das plantas (PEREIRA, 2002; CASAROLI et al., 2007). Isso pode ter contribuído para o aumento da estatura, resultando em plantas mais sensíveis ao acamamento, principalmente nas cultivares e nas densidades que apresentaram valores de IAF mais elevados.

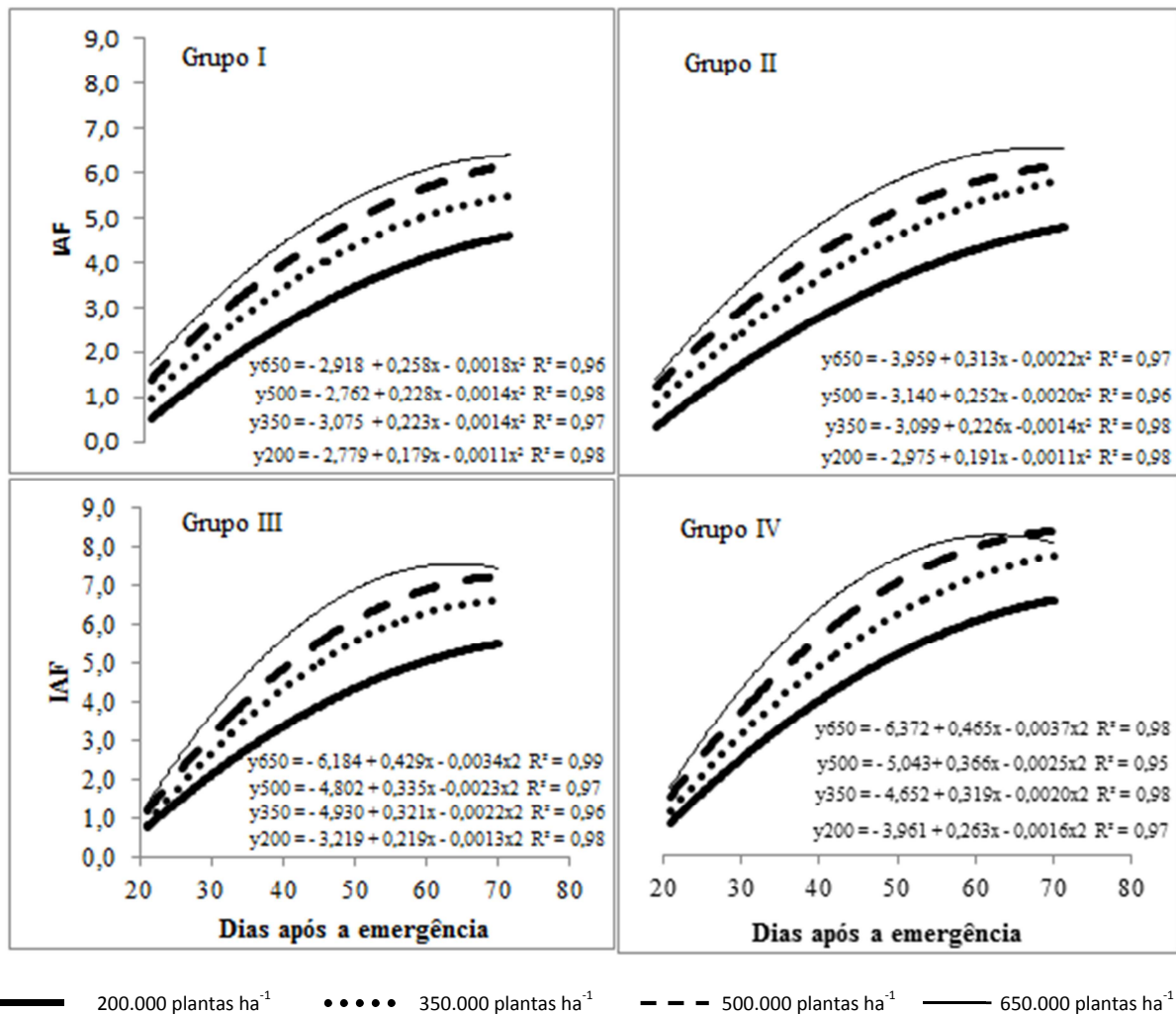


Figura 4.1. Índice de área foliar (IAF) de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.

Grupo I: em cultivo na região alta do sul do Brasil (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR); Grupo II: em cultivo nas regiões de alta e de baixa altitude no sul do Brasil (BMX Turbo RR, V_Top RR e TMG 7262 RR); Grupo III: em cultivo em baixa altitude desde o sul até o centro do Brasil (BMX Potência RR e BRS 284) e Grupo IV: foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente (CD 202, BRS 232, BRS 133 e BRS 243 RR).

Tabela 4.1. Índice de área foliar (IAF) ótimo, massa seca total, densidade de plantas e dias após a emergência de quatro grupos de cultivares de soja, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.

Grupos*	IAF Ótimo	MS Total (g m ⁻²)	Densidade (mil plantas ha ⁻¹)	Dias após a emergência
Cultivares grupo I	6,1	870	500	70
Cultivares grupo II	5,9	683	350	70
Cultivares grupo III	6,5	681	350	70
Cultivares grupo IV	7,8	669	350	70

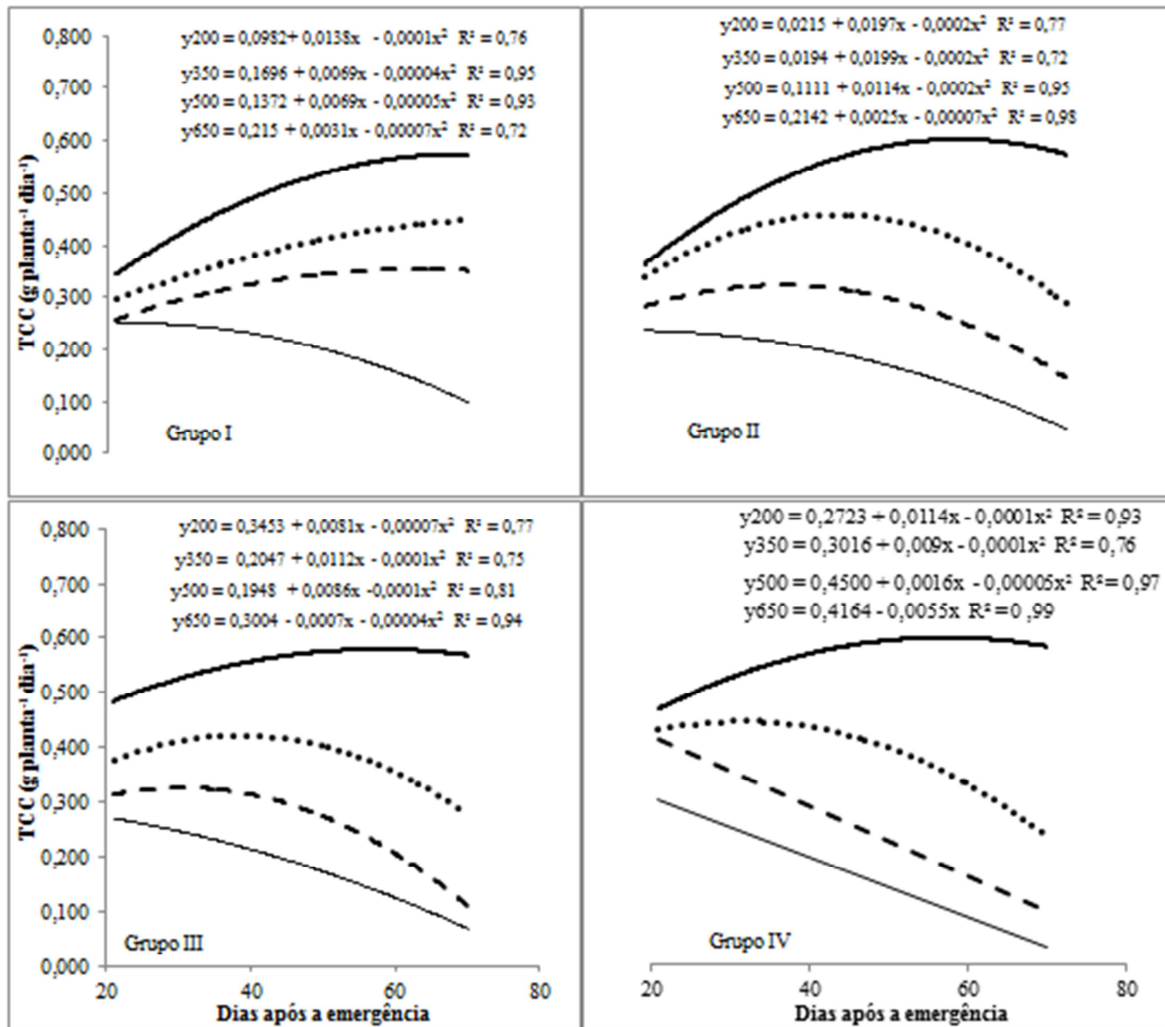
* Cultivares agrupadas de acordo com a adaptação por altitude, definida por meio de informações obtidas junto aos respectivos obtentores: Grupo I: em cultivo na região alta do sul do Brasil (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR); Grupo II: em cultivo nas regiões de alta e de baixa altitude no sul do Brasil (BMX Turbo RR, V_Top RR e TMG 7262 RR); Grupo III: em cultivo em baixa altitude desde o sul até o centro do Brasil (BMX Potência RR e BRS 284) e Grupo IV: foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente (CD 202, BRS 232, BRS 133 e BRS 243 RR).

De acordo com BULLOCK et al. (1998), valores altos de IAF e massa seca, durante os estádios iniciais de desenvolvimento da soja, favorecem maior taxa de crescimento da cultura (TCC), durante os estádios vegetativo e início do reprodutivo. Isso induz maior vigor inicial das plantas, contribuindo para atingirem o IAF crítico (95% de interceptação da radiação incidente) antes do início da formação dos grãos (BOOTE & TOLLENAAR, 1994). Para soja, IAF próximo de 4, antes do início da fase reprodutiva, é considerado suficiente para se obter bom aproveitamento da luz fotossinteticamente ativa, incidente sobre a área (SEDIYAMA et al., 1982). Esse índice de área foliar é facilmente obtido, na maioria das lavouras de soja na Região de altitude do Sul do Brasil, onde as plantas da maioria das cultivares de soja apresentam excessivo crescimento vegetativo (MUNDSTOCK & THOMAS, 2005).

A taxa de crescimento da cultura (TCC) diminuiu com o aumento da densidade de plantas, em todos os grupos de cultivares, na média dos dois anos de estudo. Os grupos I, II e III, ajustaram equações quadráticas em função da época de avaliação, em todas as densidades avaliadas, indicando um aumento da TCC até a cobertura foliar total da área e diminuindo a partir desse momento. Já, no grupo IV isso ocorreu apenas nas duas menores densidades, sendo que a partir de 500 mil plantas ha⁻¹, a resposta foi linear decrescente (Figura 4.2).

Esse comportamento pode ser resultado do aumento excessivo do IAF, à medida que as plantas se desenvolveram, principalmente nas maiores densidades e nos grupos de cultivares com maior área foliar, induzindo maior auto sombreamento e, conseqüentemente, menor aproveitamento da radiação pelas folhas medianas e inferiores do dossel. Segundo

BOARD (2000), a densidade baixa apresentou menor IAF por planta, porém resultou em maior TCC, em consequência da maior interceptação de luz por área foliar, em relação à maior densidade. Além disso, esse autor relata que o auto sombreamento e a competição entre plantas pela luz foram mais intensos na maior densidade, comparada à densidade baixa, durante praticamente todo o período vegetativo.



— 200.000 plantas ha⁻¹ ••••• 350.000 plantas ha⁻¹ - - - 500.000 plantas ha⁻¹ — 650.000 plantas ha⁻¹

Figura 4.2. Taxa de crescimento da cultura – TCC (g planta⁻¹ dia⁻¹) de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.

Grupo I: em cultivo na região alta do sul do Brasil (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR); Grupo II: em cultivo nas regiões de alta e de baixa altitude no sul do Brasil (BMX Turbo RR, V_Top RR e TMG 7262 RR); Grupo III: em cultivo em baixa altitude desde o sul até o centro do Brasil (BMX Potência RR e BRS 284) e Grupo IV: foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente (CD 202, BRS 232, BRS 133 e BRS 243 RR).

Na última avaliação, realizada aos 70 dias após a emergência, os maiores valores de TCC foram observados nas cultivares do grupo I, principalmente nas densidades de 200, 350 e 500 mil plantas ha^{-1} (Figura 4.2), onde os valores máximos de IAF variaram entre 4,5 e 6,3.

A taxa de crescimento relativo (TCR), de modo geral, foi maior no início do período de avaliação, diminuindo gradativamente até o final desse período, para todos os grupos de cultivares avaliadas (Figura 4.3). A oscilação da TCR, ao longo do ciclo das plantas, é normal, pois depende de dois outros índices de crescimento, a área foliar útil para a fotossíntese (RAF) e a taxa de fotossíntese líquida (TAL) que é o resultado de tudo o que a planta acumula na atividade fotossintética, descontado o que ela consome na sua manutenção (BENINCASA, 2003).

Os grupos I e II, apresentaram maior TCR, principalmente no final do período vegetativo e início do reprodutivo, nas três menores densidades, comparadas com a maior densidade (Figura 4.3). Nos grupos III e IV, entretanto, a TCR foi reduzida mais intensamente pelo aumento da densidade, principalmente no final do período de avaliação (Figura 4.3). Na tabela 4.2, observa-se uma correlação negativa e significativa da TCR com a densidade, com o acamamento de plantas, com a razão de área foliar (RAF) e com a estatura de planta, aos 70 dias após a emergência, indicando que todas as características que contribuíram para aumentar o auto sombreamento exerceram efeito negativo sobre a TCR.

Resultados obtidos por LUCCHESI (1985), indicam que o auto sombreamento provocado pelas folhas superiores sobre as demais, à medida que as plantas crescem, diminui a eficiência fotossintética, refletindo negativamente na TCR. Esse comportamento foi verificado no presente trabalho, principalmente com o aumento da densidade de plantas, sendo mais pronunciado nos grupos de cultivares com maior área foliar.

Os maiores valores de TAL foram observados na primeira avaliação, aos 21 DAE, e decresceram nas avaliações seguintes (Figura 4.4), concordando com os resultados obtidos por Brandelero et al. (2002) e Cruz et al. (2010). Na última avaliação, realizada aos 70 DAE, quando as cultivares de soja encontravam-se entre os estádios R2 (florescimento pleno) e R3 (início da formação de vagens) conforme a escala de Fehr & Caviness (1977), a TAL variou entre os grupos de cultivares e também dentro de cada grupo, de acordo com a densidade de plantas. No grupo I, os maiores valores da TAL foram observados nas densidades de 200, 350 e 500 mil plantas ha^{-1} , superando os valores verificados na densidade de 650 mil plantas ha^{-1} , durante todo o período de avaliação. Entretanto, mesmo na maior densidade, esse grupo apresentou valores mais elevados da TAL, comparado aos demais grupos de cultivares (Figura 4.4).

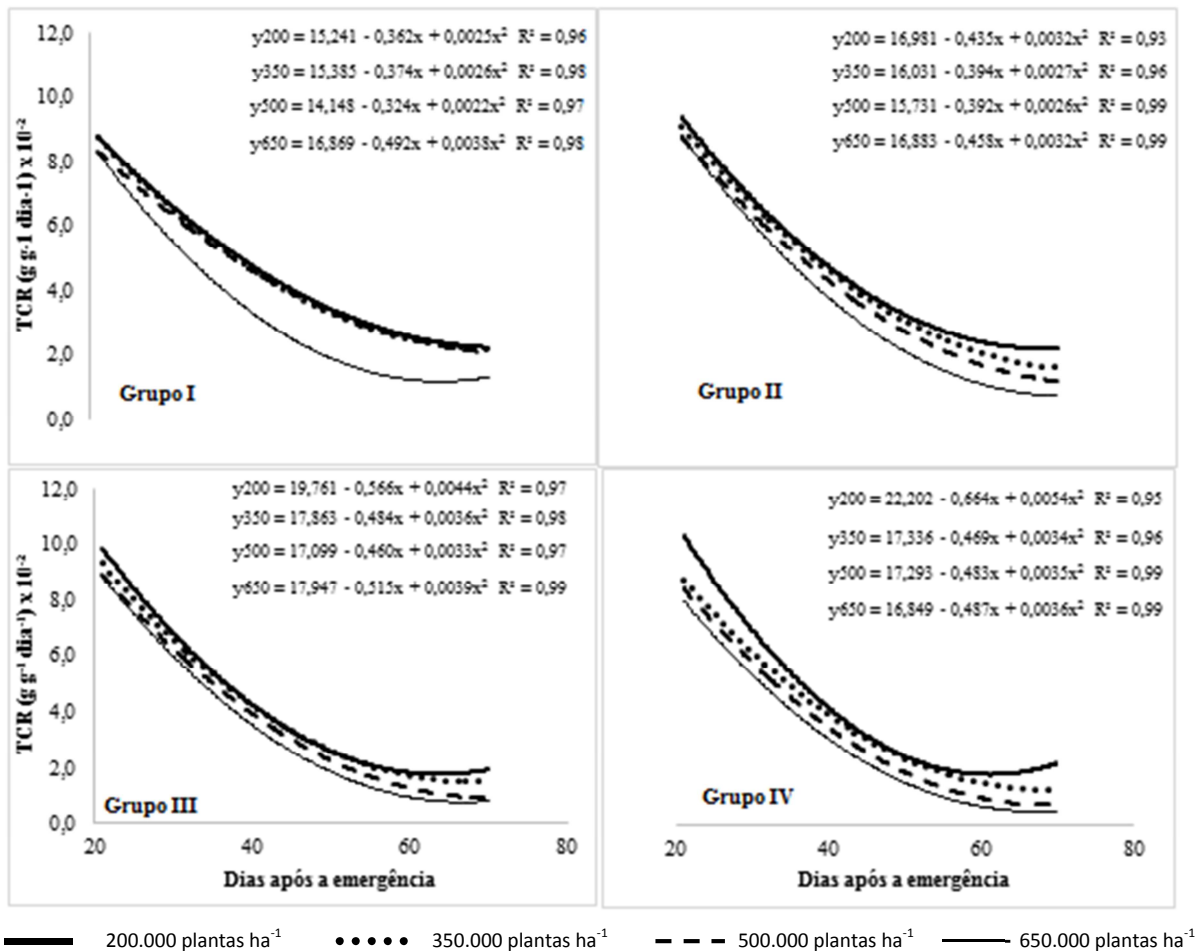


Figura 4.3. Taxa de crescimento relativo – TCR ($\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$) de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.

Grupo I: em cultivo na região alta do sul do Brasil (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR); Grupo II: em cultivo nas regiões de alta e de baixa altitude no sul do Brasil (BMX Turbo RR, V_Top RR e TMG 7262 RR); Grupo III: em cultivo em baixa altitude desde o sul até o centro do Brasil (BMX Potência RR e BRS 284) e Grupo IV: foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente (CD 202, BRS 232, BRS 133 e BRS 243 RR).

Vale ressaltar que para as cultivares do grupo I, os valores máximos de IAF ficaram entre 4,5 e 6,1 (nas três menores densidades) aos 70 DAE (Figura 4.1), a arquitetura de planta mais ereta e folhas menores, favoreceram menor auto sombreamento, consequentemente, melhor aproveitamento da energia solar nas diferentes posições do dossel, refletindo numa maior TAL, mesmo em densidades elevadas. A maior TAL, nesse caso, também pode ser explicada pela menor área foliar específica (AFE) e pela maior razão de peso de folha (RPF),

principalmente nas densidades de 200, 350 e 500 mil plantas ha^{-1}). A AFE é um componente morfológico e anatômico, pois relaciona a superfície com o peso de massa seca da própria folha (BENINCASA, 2003). Assim, folhas com menor AFE serão mais espessas e, nesse caso, possivelmente terão uma estrutura anatômica que permita maior quantidade de cloroplastos e clorofilas e de enzimas responsáveis pela fotossíntese, principalmente a rubisco, aumentando a atividade fotossintética.

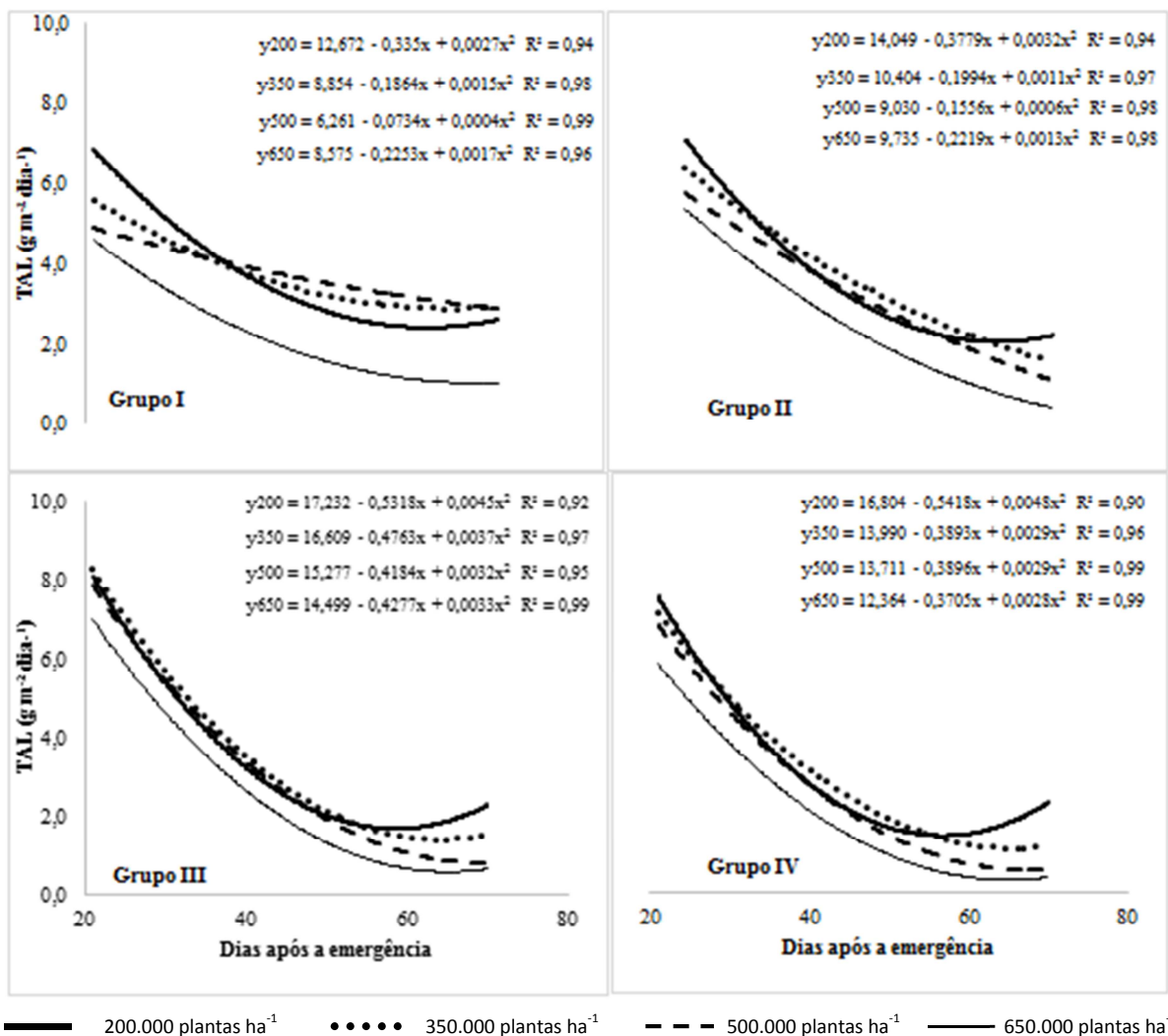


Figura 4.4. Taxa assimilatória líquida – TAL ($\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.

Grupo I: em cultivo na região alta do sul do Brasil (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR); Grupo II: em cultivo nas regiões de alta e de baixa altitude no sul do Brasil (BMX Turbo RR, V_Top RR e TMG 7262 RR); Grupo III: em cultivo em baixa altitude desde o sul até o centro do Brasil (BMX Potência RR e BRS 284) e Grupo IV: foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente (CD 202, BRS 232, BRS 133 e BRS 243 RR).

A RPF representa a relação entre a massa seca de folhas e a massa seca total, de modo que, valores maiores para este parâmetro indicam uma maior proporção de folhas, favorecendo uma maior atividade fotossintética e, conseqüentemente, aumentando a TAL. A atividade fotossintética é influenciada pelo índice de área foliar (IAF), pela quantidade de clorofila presente nas folhas, pela atividade enzimática e por fatores ambientais, entre outros (PEREIRA, 2002; MUNDSTOCK & THOMAS, 2005).

Verificou-se um comportamento semelhante entre os grupos II, III e IV, para a TAL, durante o todo período de avaliação, sendo que, aos 70 dias após a emergência, os maiores valores foram observados nas menores densidades (Figura 4.4). Considerando principalmente os grupos III e IV, cujos valores de IAF foram maiores quando comparados aos demais grupos (Figura 4.1), o efeito do aumento da densidade de plantas foi mais intenso sobre a TAL, reduzindo esta variável (Figura 4.4). Além disso, de modo geral, a AFE também foi superior nas cultivares dos grupos III e IV, comparadas aos demais, o que pode ser explicado pelo fato de que os grupos III e IV apresentaram maior IAF, indicando maior cobertura de folhas, porém com folhas mais finas e leves.

A produção de massa seca total variou entre os grupos de cultivares e entre as densidades de plantas, de modo geral, aumentou a partir da primeira até a última avaliação. Nos grupos I e II, a resposta foi linear e crescente, para todas as densidades, a partir da primeira até a última avaliação, sendo que, as densidades intermediárias foram superiores às demais, a partir de 49 dias após a emergência. Na menor densidade, embora a produção de massa seca por planta tenha sido superior às demais, verificou-se menor acúmulo de massa seca pela comunidade de plantas, principalmente aos 70 dias após a emergência, realizada no início do estágio reprodutivo (Figura 4.5).

Provavelmente, isso tenha sido resultado da menor cobertura da área pelas folhas, durante os estádios iniciais de desenvolvimento das plantas (menor número de plantas por área) e, conseqüentemente, de um menor aproveitamento da radiação solar incidente sobre a área. Por outro lado, na maior densidade é possível que a produção de massa seca tenha sido afetada pela intensa competição entre as plantas e pelo auto sombreamento excessivo, provocado pelo maior IAF, o que teria diminuído o aproveitamento da radiação solar, principalmente pelas folhas localizadas nos extratos, mediano e inferior do dossel, após o fechamento da cultura, resultando em plantas estioladas, menos ramificadas e mais leves.

As cultivares de soja que apresentaram elevada estatura de planta, folhas grandes e IAF excessivo (grupos III e IV), apresentaram valores menores de taxa assimilatória líquida (TAL), principalmente nas maiores densidades de plantas e no final do período vegetativo e

início do período reprodutivo. No grupo IV, com densidades de 500 e 650 mil plantas ha^{-1} e, no grupo III, com densidade de 650 mil plantas ha^{-1} , a análise de regressão ajustou equações quadráticas, indicando que, a partir do momento em que as plantas atingiram um desenvolvimento suficiente para cobrir totalmente a área, a TAL começou a diminuir (Figura 4.4). As cultivares avaliadas nesses dois grupos, quando cultivadas em ambientes de elevada altitude e com temperaturas amenas, normalmente apresentam estiolamento das plantas e maior crescimento em estatura. Aliado a isso, a presença de folhas maiores, principalmente nas cultivares do grupo IV, contribui para aumentar o IAF e o auto sombreamento, dificultando a penetração da radiação solar no interior do dossel, refletindo no aproveitamento da radiação fotossinteticamente ativa e, conseqüentemente, na redução da TAL.

De fato, com valores de IAF maiores do que o ótimo para a cultura, a maior parte da radiação solar é interceptada na parte superior do dossel, e as folhas localizadas nas partes mediana e inferior das plantas recebem pouca luz fotossinteticamente ativa (SHAW & WEBER, 1967). Ao contrário, quando a radiação solar penetra no dossel, as folhas medianas e inferiores realizam fotossíntese e podem contribuir significativamente para o acúmulo de massa seca da comunidade de plantas (JOHNSON et al., 1969).

De acordo com DUNCAN (1986), a menor competição entre plantas durante os estádios vegetativos da soja, resulta em maior acúmulo de massa seca e maior número de vagens, durante os estádios reprodutivos, contribuindo para melhorar o aproveitamento dos fotoassimilados, durante o enchimento de grãos. Outros resultados indicam que características como arquitetura de planta, com ramos e folhas mais eretos e que permitem maior penetração de luz, podem resultar em maior atividade fotossintética nas folhas localizadas abaixo do topo da planta (CASAROLI et al., 2007). SEDIYAMA et al (1982) verificaram que plantas com ramos e folhas mais eretas, de fato, podem aumentar a penetração de luz no dossel, tolerando maiores populações de plantas, porém não determinaram se a atividade fotossintética aumentou nas folhas localizadas nas partes intermediária e inferior das plantas.

No presente trabalho, verificou-se que a resposta da soja ao aumento da densidade de plantas variou entre os grupos de cultivares, para as diferentes variáveis avaliadas. Para as variáveis de crescimento, produção de massa seca e para o rendimento de grãos, as cultivares que apresentaram menor estatura de planta, menor IAF, folhas pequenas e posicionadas verticalmente ao solo, principalmente na parte superior do dossel e tolerância ao acamamento de plantas responderam positivamente ao aumento da densidade, até valores próximos a 500 mil plantas ha^{-1} . Diferentemente, as cultivares com menor tolerância ou suscetíveis ao acamamento de planta, com excessivo IAF e maior estatura, foram afetadas negativamente

pelo aumento da densidade de plantas, para a maioria das variáveis avaliadas, inclusive para o rendimento de grãos (Figura 4.6).

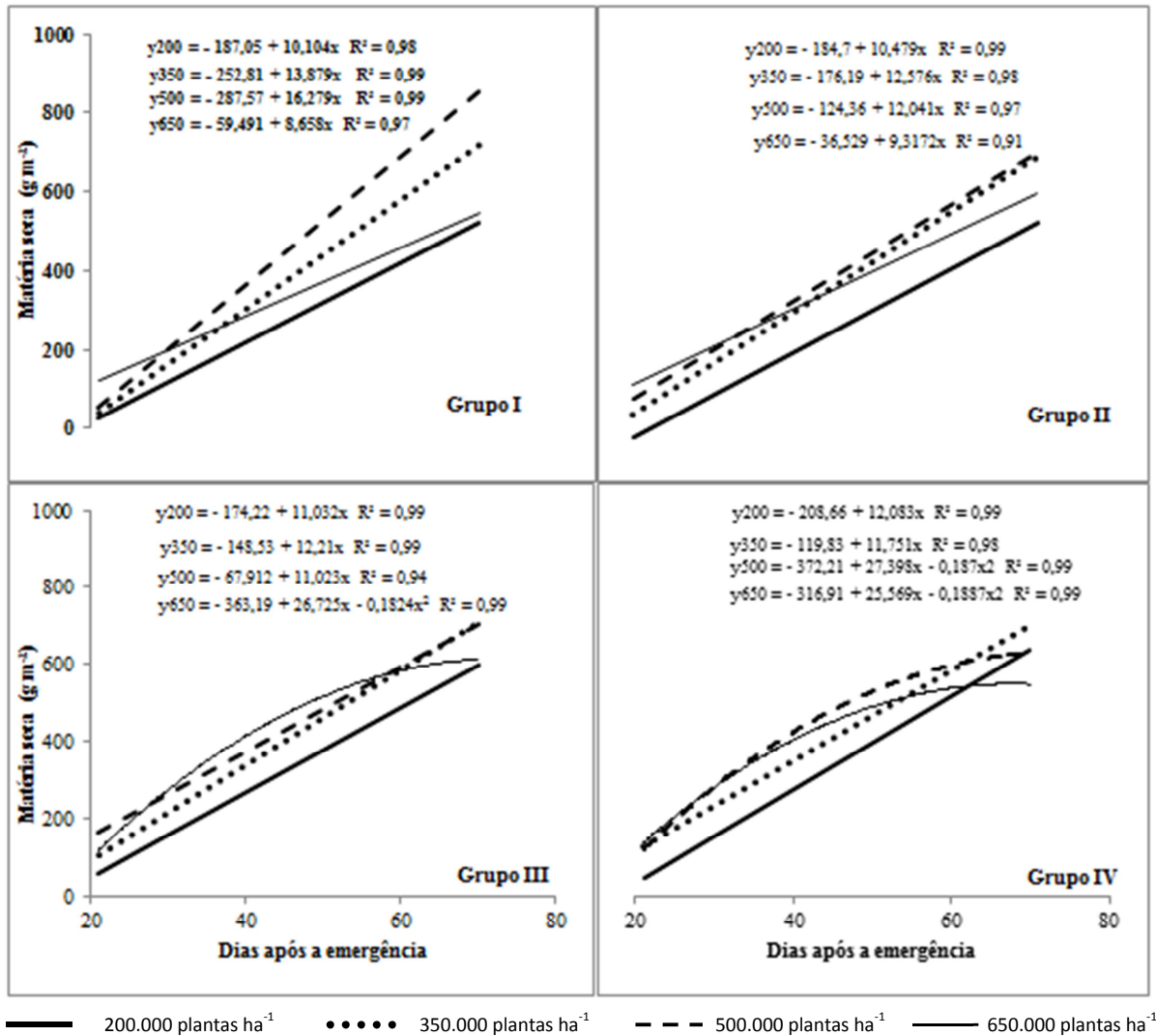


Figura 4.5. Massa seca (g m⁻²) de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil. Grupo I: em cultivo na região alta do sul do Brasil (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR); Grupo II: em cultivo nas regiões de alta e de baixa altitude no sul do Brasil (BMX Turbo RR, V_Top RR e TMG 7262 RR); Grupo III: em cultivo em baixa altitude desde o sul até o centro do Brasil (BMX Potência RR e BRS 284) e Grupo IV: foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente (CD 202, BRS 232, BRS 133 e BRS 243 RR).

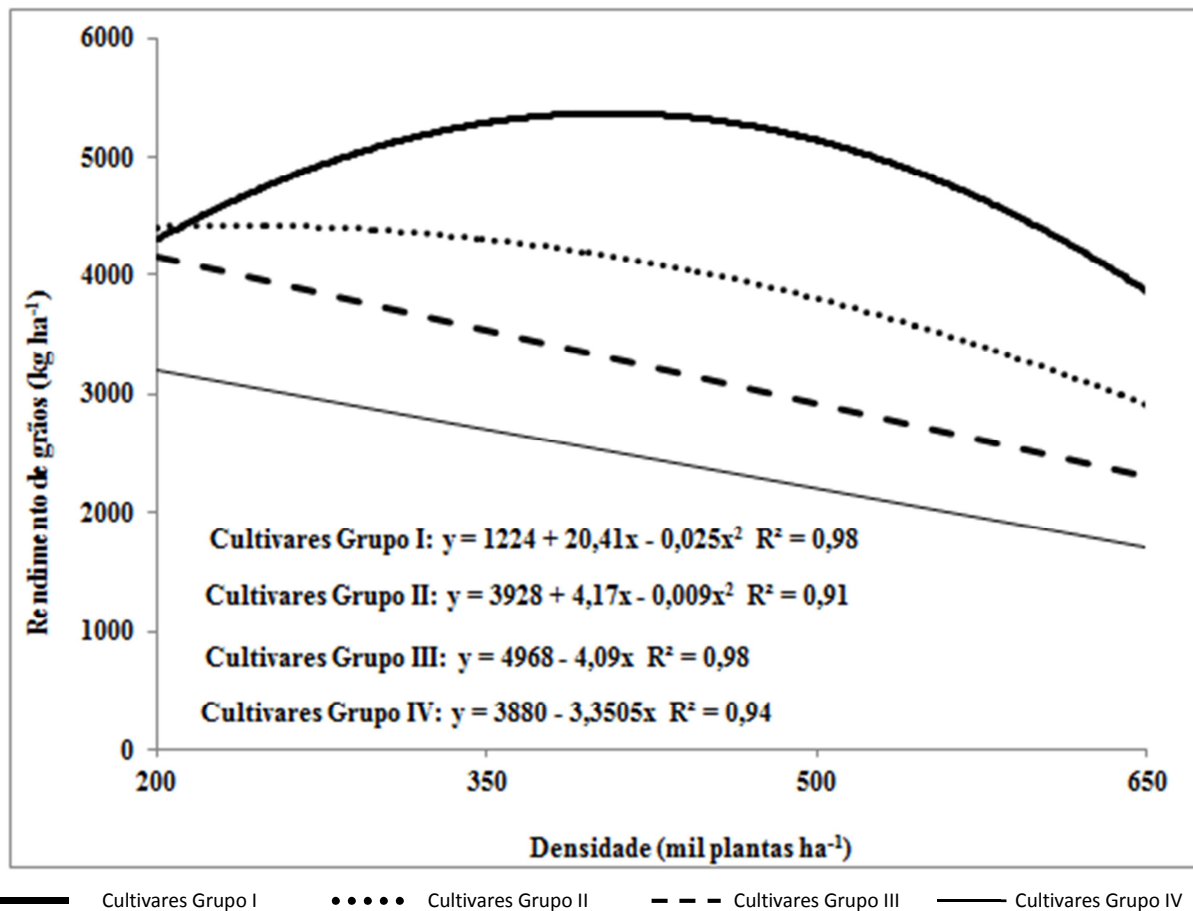


Figura 4.6. Rendimento de grãos (kg ha^{-1}), de quatro grupos de cultivares de soja, semeadas com quatro densidades de plantas, na média de dois anos (2011/12 e 2012/13), na Região Sul do Brasil.

Grupo I: em cultivo na região alta do sul do Brasil (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR); Grupo II: em cultivo nas regiões de alta e de baixa altitude no sul do Brasil (BMX Turbo RR, V_Top RR e TMG 7262 RR); Grupo III: em cultivo em baixa altitude desde o sul até o centro do Brasil (BMX Potência RR e BRS 284) e Grupo IV: foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente (CD 202, BRS 232, BRS 133 e BRS 243 RR).

Para o rendimento de grãos de soja, verificou-se interação entre os grupos de cultivares e as densidades de plantas. Na menor densidade de plantas, os grupos I, II e III, não diferiram entre si e foram superiores ao grupo IV. Contudo, nas demais densidades, verificaram-se diferenças significativas entre os grupos de cultivares para essa variável (Figura 4.6).

O grupo I produziu 5.389 kg ha^{-1} , na densidade ótima que foi de $408 \text{ mil plantas ha}^{-1}$, superando o grupo II onde o rendimento máximo foi de 4.409 kg ha^{-1} com densidade de $232 \text{ mil plantas ha}^{-1}$ e o grupo III, cujo rendimento foi de 4.150 kg ha^{-1} com $200 \text{ mil plantas ha}^{-1}$.

O grupo IV, entretanto, produziu no máximo 3.210 kg ha⁻¹, sendo inferior aos demais no rendimento de grãos, o que comprova que essas cultivares não são adaptadas às condições de ambiente do local do estudo.

Esses resultados evidenciam que as cultivares mais modernas e com arquitetura de planta mais ereta, melhoram o aproveitamento da radiação solar e tem maior eficácia em alocar essa energia nos componentes do rendimento, aumentando o índice de colheita e o rendimento de grãos, o que pode ser evidenciado pelo rendimento alcançado, principalmente nas cultivares do grupo I, o qual supera em muito a produtividade de grãos obtida atualmente, nas lavouras de soja da região de alta altitude (superior a 700 m) do sul do Brasil.

Verificaram-se correlações positivas e significativas entre a estatura e o acamamento de plantas e também entre densidade e acamamento (Tabela 4.2), de modo que, para as cultivares suscetíveis e medianamente tolerantes, o aumento na densidade de plantas resultou em maior estatura e também em maior acamamento de plantas.

Também foram observadas correlações significativas entre as variáveis de crescimento (IAF, TAL, TCR, TCC, MST, RAF e estatura de planta), avaliadas durante o final do desenvolvimento vegetativo e o início do reprodutivo, com o rendimento de grãos (Tabela 4.2), indicando que o estudo de análise de crescimento das plantas, durante este período, fornece informações importantes para subsidiar o manejo da cultura, visando o aumento da produtividade de grãos.

Tabela 4.2. Coeficientes de correlação entre variáveis de crescimento e rendimento de grãos, aos 70 dias após a emergência, na média de doze cultivares de soja, quatro densidades de plantas e dois anos de cultivo (2011/12 e 2012/13), na região Sul do Brasil.

	Rendimento	IAF	TAL	TCR	TCC	MST	Dens	Acam	RAF
IAF	-0,72**								
TAL	0,78**	-0,76**							
TCR	0,74**	-0,72**	0,96**						
TCC	0,55**	-0,63**	0,85**	0,89**					
MST	0,46*	0,06 ^{ns}	0,43**	0,36*	0,26 ^{ns}				
Densidade	-0,43*	0,56**	-0,64**	-0,71**	-0,85**	-0,11 ^{ns}			
Acamamento	-0,90**	0,84**	-0,79**	-0,76**	-0,59**	-0,22 ^{ns}	0,70**		
RAF	-0,82**	-0,81**	-0,87**	-0,81**	-0,70**	0,55**	0,62**	0,79**	
Estatatura	-0,63**	0,58**	0,58**	-0,56**	-0,37*	-0,16 ^{ns}	0,31*	0,71**	-0,56*

**Significativo a 1%, * significativo a 5%, e ^{ns} não significativo de acordo com o teste T.

O maior acúmulo de massa seca até o final do estágio vegetativo e início do reprodutivo e o índice de colheita aparente influenciam diretamente no rendimento de grãos

da soja (BALL et al., 2000a). Entretanto, a maior produção de massa seca resultante da radiação interceptada, durante o período vegetativo e início do período reprodutivo, não necessariamente se traduz em aumento na produtividade de grãos. Além das variáveis do ambiente e do manejo adotado, o potencial genético, intrínseco de cada cultivar, é um dos principais fatores responsáveis pelo rendimento final da cultura da soja (RAMBO et al., 2002; CRUZ, et al., 2011).

No presente trabalho, verificou-se que a produção de massa seca variou entre os grupos de cultivares e também entre as densidades de plantas (Figura 4.5) e refletiu no rendimento de grãos, porém de forma diferente entre os grupos de cultivares (Figura 4.6).

No grupo I verificou-se que os maiores rendimentos de grãos foram obtidos nas densidades que proporcionaram as maiores produções de massa seca no final do período vegetativo e início do reprodutivo. Já, no grupo II, a maior produção de massa seca, no mesmo período, foi obtida com 350 mil plantas ha⁻¹, enquanto que o rendimento de grãos máximo foi obtido com 232 mil plantas ha⁻¹. Nos grupos III e IV, as respostas seguiram a mesma tendência observada no grupo II, ou seja, a produção de massa seca, no final do período vegetativo e início do reprodutivo, não refletiu no rendimento de grãos, embora nesses grupos, os rendimentos máximos alcançados tenham sido inferiores aos verificados nos grupos I e II (Figuras 5.5 e 5.6). Uma explicação para esses resultados seguramente está no índice de colheita, que é menor, principalmente nos grupos III e IV, comparados ao grupo I. Além disso, após a última avaliação para a análise de crescimento e, portanto, durante o período reprodutivo, verificou-se que as cultivares dos grupos III e IV e, em menor escala, também as do grupo II, apresentaram acamamento de plantas, o qual foi intensificado nas maiores densidades. Isso favorece o abortamento de flores e de vagens, dependendo da magnitude e da época em que ocorre, diminuindo o aproveitamento da radiação solar e podendo afetar negativamente o número de vagens férteis no final do ciclo e, conseqüentemente, o rendimento de grãos (SHAW & WEBER, 1967; UDOGUCHI & McCLOUD, 1987; CONFALONE et al., 1997).

Vale lembrar que as cultivares mais modernas (grupos I e II), apresentam arquitetura de planta mais favorável ao melhor aproveitamento da radiação solar, como plantas e folhas mais eretas e menores, comparadas às cultivares mais antigas (grupos III e IV). Isso, provavelmente, tenha contribuído para melhorar eficiência fotossintética durante todo o ciclo da cultura, favorecendo o desenvolvimento vegetativo e a maior formação e melhor distribuição de flores e vagens no perfil das plantas, além da formação dos grãos nos vagens.

Além disso, provavelmente as cultivares modernas (mais adaptadas ao ambiente alvo do estudo), sejam mais eficientes na alocação dos produtos da fotossíntese nos grãos,

umentando o índice de colheita e, conseqüentemente, o rendimento de grãos. A taxa fotossintética líquida e o transporte de fotoassimilados dos locais de síntese para os locais de demanda afetam o acúmulo de massa seca e a partição de carbono para as diferentes partes da planta, interferindo no rendimento de grãos da soja (SEDIYAMA et al., 1982; SEDIYAMA, 2009).

Os resultados obtidos nesse estudo tornam evidente que o rendimento de soja pode ser substancialmente maior do que o obtido atualmente, nas lavouras da região de elevada altitude (acima de 700 m), na região sul do Brasil. Para isso, é preciso selecionar, dentre as cultivares disponíveis, aquelas melhor adaptadas, fazendo os ajustes fitotécnicos necessários, para expressar o seu potencial genético a nível de campo. Além disso, é importante que os programas de melhoramento genético de soja concentrem esforços na geração de novas cultivares com características morfofisiológicas adequadas para a obtenção de altos tetos produtivo nesse ambiente, o qual representa uma parcela importante da área cultivada com soja atualmente no Brasil.

4.4 CONCLUSÕES

As cultivares de soja com IAF ótimo entre 5.9 e 6.1, apresentam maior fotossíntese líquida, melhor resposta ao aumento da densidade de plantas e elevado rendimento de grãos;

A produção de massa seca, durante o estágio vegetativo e o início do reprodutivo, apresenta correlação positiva e significativa com o rendimento de grãos de soja;

4.5 REFERÊNCIAS

ALLIPRANDINI, L. F.; ABATTI, C.; BERTAGNOLLI, P. F.; CAVASSIM, J. E.; GABE, H. L. Understanding Soybean Maturity Groups in Brazil: Environment, Cultivar Classification and Stability. **Crop Science**, Madison, v. 49, p. 801-808, 2009.

BALL, R.A.; PURCELL, L.C.; VORIES, E.D. Optimizing soybean plant population for a short-season production system in the Shouthern USA. **Crop Science**, Madison, v.40, n. 3, p.757-764, 2000a.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas** (noções básicas). 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.

BOARD, J. Light interception efficiency and light quality affect yield compensation of soybean at low plant population. **Crop Science**. Madison. v.40, n.5, p.1285-1294. 2000.

BOOTE, K.J.; TOLLENAAR, M. Modeling genetic yield potential. In: BOOTE, K.J. (Ed.) **Physiology and determination of crop yield**. Madison: American Society of Agronomy, Crop Society of America, Soil Society of America, 1994. p.533-545.

BRANDELERO, E.; PEIXOTO, C. P.; M SANTOS, J. M. B.; MORAES, J.C.C.; PEIXOTO, M. F. S. P.; SILVA V. Índices fisiológicos e rendimento de cultivares de soja no Recôncavo Baiano. **Magistra**. Bahia v.14, p77-8. 2002.

BULLOCK, D.; KHAN, S.; RAYBURN, A. Soybean yield response to narrow rows is largely due to enhanced early growth. **Crop Science**, Madison, v.38, 0.4, p.1011-1016, 1998.

CONAB, SOJA – BRASIL Série **Histórica de Área Plantada, Produção e Produtividade, Safras 1976/77 a 2010/11**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_04_12_11_17_51_sojaseriehist..xls. Acesso em: 26 mai. 2013.

CASAROLI, D.; FERGAN, E. B.; SIMON, J.; MEDEIROS, S. P.; MANFRON, P. A.; DOURADO NETO, D.; LIER, Q. J. V.; MULLER, L.; MARTIN, T. N. Radiação solar e aspectos fisiológicos na cultura de soja - uma revisão. **Revista da FZVA**, Uruguaiiana, v. 14, n. 2, p. 102-120, 2007.

CONFALONE, A.; COSTA, L. C.; PEREIRA, C. R. Eficiencia del uso de la radiación en soja en distintas fases fenológicas bajo estres hídrico. **Revista Facultad de Agronomía**, v.17, n.1, p.63-66, 1997.

COSTA, J. A. **Cultura da Soja**. Porto Alegre: I. Manica, 1996. 233p.

CRUZ, T. V.; PEIXOTO, C. P.; MARINS, M. C.; BRUGNERA, P. V. L. L. Índices fisiológicos de cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura no oeste da Bahia. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 663-679, 2010.

DUNCAN, W.G. Planting patterns and soybean yield. **Crop Science**, Madison, v.26. n.3, p.584-588, 1986.

EGLI, D.B.; GUFFY, R.B.; H EITHOLD, J.J. Factors associated with reduced yields of delayed planting of soybeans. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Madison, v.159, p.176-185, 1987.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999. 412p.

EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de Soja**: Região Central do Brasil, 2009 e 2010. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados : Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 262p. (Sistemas de Produção / Embrapa Soja, n.13).

EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de Soja**, Região Central do Brasil 2013. Londrina PR. Embrapa Soja, 2013.

FARIAS, J.R.B.; NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 9p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 48).

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p. (Special Report, 80).

GARNER, W.W.; ALLARD, H.A. Photoperiodic response of soybeans in relation to temperature and other environmental factors. **Journal of Agricultural Research**, v.41, p.719-735, 1930.

GOLDBERG, D. E. Neighborhood competition an old-field plant community. **Ecology**, v. 68, n. 5, p. 1211-1223, 1987.

HESKETH, J.D.; MYHRE, D.L. WILLEY, C.R. Temperature control of time intervals between vegetative and reproductive events in soybeans. **Crop Science**, v.13, p.250-254, 1973.

HIROSE, T. Canopy structure and photon flux partitioning among species in a herbaceous plant community. **Ecology**, v. 76, n. 2, p. 466-474, 1995.

HOFSTRA G. Response of soybeans to temperature under high light intensities. **Canadian Journal of Plant Science**, v.52, p.535-543, 1972.

JOHNSON, T.J.; PENDLETON, J.W.; PETERS, D.B.; HICKS, D.R. Influence of supplemental light on apparent photosynthesis, yield, and yield components of soybeans (*Glycine max* L.). **Crop Science**, Madison, v.9, n.5, p.577-581, 1969.

LUCCHESI, A. A. **Utilização prática da análise quantitativa do crescimento vegetal**. Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, v.42, p.401-428, 1985.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Ed. Evangraf, 2005. Porto Alegre, RS. 31p.

PASCALE, A. J. Tipos agroclimáticos para el cultivo dela soya em la Argentina. **Revista de La Facultad de Agronomía e Veterinaria**, v.17, p.31-38, 1969.

PEIXOTO, C. P. **Análise de crescimento e rendimento de três cultivares de soja (*Glycine max* (L) Merrill) em três épocas de semeadura e três densidades de plantas**. São Paulo, 1998. 151p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escolar Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba.

PENGELLY, B.C.; BLAMEY, F.P.C.; MUCHOW, R.C. Radiation interception and the accumulation of biomass and nitrogen by soybean and three tropical annual forage vagens. **Field Crops Research**, v.63, p.99-112, 1999.

PEREIRA, C.R. **Análise do crescimento e desenvolvimento da cultura de soja sob diferentes condições ambientais.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, 2002, 282p.

PIEROZAN Jr. C. **Crescimento e desempenho produtivo de cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura no centro-sul do estado do Paraná. Guarapuava, 2012. 89 f.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, 2012.

PORTES, T. A.; CASTRO Jr., L. G. 1991. Análise de crescimento de plantas: um programa computacional auxiliar. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 3 (1): 53-56.

RAMBO, L.; COSTA, J. A.; PIRES, J. L. F.; PARCINELLO, G.; FERREIRA, F. G. Rendimento de grãos de soja e seus componentes por estrato do dossel em função do arranjo de plantas e regime hídrico. **Scientia Agrária**. Curitiba, v. 3, n. 1-2, p. 79-85, 2002.

SCHÖFFEL, E.R.; VOLPE, C.A. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela soja para produção de fitomassa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, n.2, v.9, p.241-249, 2001.

SEDIYAMA, T.; ALMEIDA, L.D.A de; MIYASAKA, S.; KIIHL, R.A. S. Genética e melhoramento. In: FUNDAÇÃO CARGILL, Campinas. **A soja no Brasil Central**. 2.ed. rev. ampl. Campinas, 1982. p.23-74.

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Macenas, 2009. 314p.

SIMEPAR, **Boletins de estação meteorológica, série histórica 2001 - 2013**, 2013. Disponível em: <http://www.simepar.br/fapa/bd/sumario/diario/meteorologica.jsp>. Acesso em 26 jan. 2014.

SHAW, R. H.; WEBER, C. R. Effects of canopy arrangements on light interception and yield of soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v.59, n.2. p.155-159, 1967.

SINGH, M.; OGREN, W.L.; WIDHOLIM, J.M. Photosynthetic characteristics of several C3 and C4 plant species grown under different light intensities. **Crop Science**, v.14, p.563-566, 1974.

SOUZA, C. A.; FIGUEIREDO, B. P.; COELHO, C. M. M.; CASA, R. T.; SANGOI, L. Arquitetura de plantas e produtividade da soja decorrente do uso de redutores de crescimento. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 3, p. 634-643, 2013.

THOMAS, L. A.; COSTA, J. A. **Estabelecimento da lavoura de soja**. In: _____. (Org.). Soja: manejo para alta produtividade de grãos. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p. 127-140.

UDOGUCHI, A.; Mc CLOUD, D. E. Relationship between vegetative dry manei; and yield of three soybean cultivars. **Soil in Crop Science Society of Florida**. Gainesville, v.46, p.75-79, 1987.

WHIGHAM, D.K.; MINOR, H.C. Agronomic characteristics and environmental stress. In: NORMAN, A.G. (Ed.). **Soybean physiology, agronomy, and utilization**. New York: Academic Press, 1978. p.78-116.

WELLS, R. Dynamics of soybean growth in variable planting patterns. **Agronomy Journal**. Madison, v. 85, n. 1, p. 44-48, 1993.

5 ARTIGO

DISTÂNCIA GENÉTICA ENTRE CULTIVARES DE SOJA COM DIFERENTES ADAPTAÇÕES POR ALTITUDE

RESUMO

A seleção e indicação de cultivares para microrregiões climáticas, tem permitido a elevação da produtividade da soja, mesmo em ambientes, consideradas até então, como desfavoráveis para a obtenção de altas produtividades da cultura. Os objetivos deste estudo foram: comparar geneticamente diferentes grupos de cultivares, de acordo com a adaptação ao ambiente de elevada altitude e temperatura amena, da região Sul do Brasil; identificar a distância genética entre cultivares com características agronômicas favoráveis à adaptação e ao elevado potencial produtivo, no ambiente alvo do estudo. Foram avaliadas doze cultivares de soja, divididas em quatro grupos, de acordo com a adaptação por altitude. Foram semeadas 30 sementes de cada cultivar, em vasos, em casa de vegetação da empresa Tropical Melhoramento Genético TMG, em Londrina, PR. Em seguida, foram coletadas pedaços de uma folha, de cada planta, num total de 10 plantas por cultivar, durante o estágio V1, os quais foram congelados em nitrogênio líquido e liofilizados, para posterior extração do DNA genômico e análise com marcadores moleculares microssatélites. A distância genética entre as cultivares melhor adaptadas e mais produtivas ao ambiente de altitude variando de intermediária a elevada, na região centro-sul do Brasil pode ser considerada relativamente ampla. As cultivares com características de planta favoráveis à adaptação, mais restrita ao ambiente de elevada altitude e temperatura amena da região sul do Brasil, apresentaram menor distância genética entre si.

Palavras chave: *Glycine max*, marcadores moleculares, adaptação, ambiente

GENETIC DISTANCE BETWEEN SOYBEAN CULTIVARS WITH DIFFERENT ADAPTATIONS IN ALTITUDE

ABSTRACT

The selection and recommendation of cultivars for micro climate regions has allowed the increase of soybean yield, even in environments previously considered as unfavorable for obtaining high yield to the species. The objectives of this study were to compare genetically different groups of cultivars according to the environment adaptation in high altitude and mild climate at the Southern region of Brazil. Twelve soybean cultivars were separated four groups according to the adjustment to altitude adaptation were evaluated. A total of 30 seeds of each cultivar were sown in pots in grow at greenhouse conditions at Tropical Melhoramento Genético TMG company, in Londrina, PR, during June 2012. Leaves fragments of plants at V1 stage were collected (10 g) and frozen in liquid nitrogen and lyophilized for subsequent extraction of genomic DNA and analysis with microsatellite markers. The genetic distance between cultivars better adapted and more productive environment at altitude ranging from intermediate to high, in the central-Southern Brazil can be relatively wide. Cultivars with more restricted to high altitude and mild climate of Southern Brazil environment showed lower genetic distance among.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merrill, molecular markers, adaptation, environment

5.1 INTRODUÇÃO

A soja *Glycine max* (L.) Merrill tem como centro de origem a Ásia Oriental, entre as latitudes 30° e 45°N (MUDSTOCK & THOMAS, 2005), foi domesticada há quase cinco mil anos e atualmente é cultivada em larga escala em muitos países, sendo uma das principais fontes de proteína vegetal (SEDIYAMA et al., 2009). No Brasil, a soja é cultivada em praticamente todas as regiões, ocupando na safra 2012-2013, uma área equivalente a 27,7 milhões de hectares (CONAB, 2013).

A diversidade climática que predomina nas diferentes regiões onde se cultiva soja no Brasil dificulta o desenvolvimento de cultivares com elevado potencial produtivo e ao mesmo tempo com adaptação ampla nos diversos ambientes. Entretanto, o ajuste dos programas de melhoramento genético para desenvolverem cultivares com características morfofisiológicas distintas, de acordo com as condições edafoclimáticas de cada região, tem sido uma ferramenta importante para aumentar a disponibilidade de cultivares específicas para cada ambiente e aumentar o potencial produtivo da cultura.

O comportamento das cultivares de soja é influenciado por vários fatores, dos quais pode-se destacar: fotoperíodo, temperatura, disponibilidade hídrica, dentre outros, que podem limitar a adaptação e, conseqüentemente, a produtividade da cultura. Assim, o sucesso dos programas de melhoramento, no desenvolvimento de cultivares, melhor adaptadas e mais produtivas, para as diferentes regiões edafoclimáticas, passa pela variabilidade genética existente nos seus bancos de germoplasma e nas combinações de cruzamentos envolvendo cultivares com características superiores e divergentes, o que possibilita a seleção de cultivares com diferentes características (CRUZ, 2007; PELUZIO et al., 2009). Quanto maior a variabilidade genética existente nos programas de melhoramento e entre os diferentes programas disponíveis no mercado, maior a probabilidade de se desenvolverem cultivares adaptadas nos diferentes ambientes. Entretanto, apesar do grande número de cultivares disponíveis atualmente no mercado brasileiro, a variabilidade genética entre as mesmas ainda é relativamente reduzida (MIRANDA et al., 2007).

Nos últimos anos, vários programas de melhoramento deixaram de desenvolver somente cultivares com ampla adaptação para grandes regiões e passaram a selecionar plantas, linhas de progênie e linhagens, nas condições específicas de cada microrregião edafoclimática (RODRIGUES et al., 2013). Isso tem favorecido a elevação da produtividade de soja em microrregiões climáticas, consideradas até então, como desfavoráveis para a obtenção de altos tetos produtivos da cultura.

Contudo, para alcançar êxito na seleção e indicação regionalizada de cultivares de soja, é fundamental se conhecer detalhadamente as características morfofisiológicas que irão conferir adaptação às cultivares de soja, nas condições de clima e de solo da região para a qual serão indicadas.

O uso de análises moleculares tem sido uma ferramenta importante na seleção de plantas com maior diversidade genética, para utilização nos programas de melhoramento, aumentando a probabilidade do desenvolvimento de cultivares com características desejáveis em cada ambiente (PRIOLLI et al., 2002; RODRIGUES et al., 2013). Além disso, essas análises permitem o agrupamento de cultivares, de acordo com suas características genéticas, diminuindo o tempo necessário para a seleção. Isso pode contribuir para agilizar a identificação de cultivares com características comuns entre si e que conferem adaptação num determinado microambiente, aumentando o potencial produtivo da cultura nesse ambiente.

Assim, os objetivos deste estudo foram: comparar geneticamente diferentes grupos de cultivares, de acordo com a adaptação ao ambiente de elevada altitude e temperatura amena, predominantes em boa parte da região Sul do Brasil; identificar a distância genética entre cultivares com características agronômicas favoráveis à adaptação e ao elevado potencial produtivo, no ambiente alvo do estudo.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliadas doze cultivares de soja, de diferentes programas de melhoramento genético. As cultivares foram divididas em quatro grupos de acordo com a adaptação por altitude: no primeiro, foram três cultivares que foram registradas recentemente e, atualmente, estão sendo cultivadas em larga escala na região alta do sul do Brasil (BMX Energia RR, BMX Apolo RR e BMX Ativa RR); no segundo, três cultivares com ampla indicação, tanto para a região alta quanto na de menor altitude no centro-sul do Brasil (BMX Turbo RR, V_Top RR e TMG 7262 RR); no terceiro, duas cultivares que ocupam área significativa na região de menor altitude, desde o sul até o centro do País (BMX Potência RR e BRS 284) e no quarto grupo, quatro cultivares que foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente, porém atualmente ocupam uma área pouco expressiva (CD 202, BRS 232, BRS 243 RR e BRS 133).

Foram semeadas 30 sementes de cada cultivar, em vasos, acondicionados em casa de vegetação da empresa Tropical Melhoramento Genético TMG, em Londrina, PR, durante o mês de junho de 2012. Quando as plantas estavam com as folhas primárias completamente

desenvolvidas, foram coletadas 2 discos (0,5 cm de diâmetro) de uma folha de cada planta, num total de 10 plantas por cultivar. Imediatamente após a coleta, o material vegetal foi colocado em tubos de ensaio (cada cultivar em um tubo) congelado em nitrogênio líquido e liofilizado.

O isolamento do DNA genômico foi feito usando 200 mg de folhas jovens para cada cultivar de soja, seguindo protocolo descrito por Doyle e Doyle (1990), com modificações. As amostras foram maceradas na presença de nitrogênio líquido, sendo então transferidas para tubos contendo 15 ml de CATB 2% (brometo de Cetil-Trimetilamônio; Tris-HCl; EDTA) previamente incubados a 65 °C durante 1h. Durante a incubação os tubos foram agitados suavemente, a cada 10 minutos. Em seguida, foi feita uma lavagem com clorofórmio/álcool isoamílico (1 mL) com proporção de 24:1 e centrifugada a 14.000 rpm por 15 minutos à temperatura ambiente. Recuperada a fase superior de cada tubo, estes foram conduzidos para tubos autoclavados e devidamente identificados, adicionando-se isopropanol gelado, na proporção de 1:1 (isopropanol : sobrenadante). Em seguida os tubos foram invertidos suavemente algumas vezes e incubados a - 20°C, por 3 horas. Na sequência, foram centrifugados a 14.000 rpm por 10 minutos. Posteriormente, retirou-se o sobrenadante e lavou-se o precipitado, formado no fundo do tubo, duas vezes com etanol 70% e uma vez com etanol 95%. Em seguida, o precipitado foi deixado por 15 minutos à temperatura ambiente, para secar, antes de ressuspender o DNA com 300 µl de solução TE (10 mM de Tris-HCl + 1 mM de EDTA, com pH 8,0) e 1 µl de RNAase a 37°C durante uma hora. Finalmente, o DNA foi armazenado em tubos de 1,5 ml e guardado em caixas de isopor, com temperatura de 4°C, preservando o material até a quantificação.

Em seguida, foi preparado o tampão TBE (500 ml de água destilada, 108 g de Tris base, 55 g de ácido bórico, 8,3 g de EDTA). O volume foi completado para 1,0 litro, com água destilada e autoclavado. Posteriormente, foi preparado o gel de agarose a 3% (291 ml de solução TBE + 9 g de agarose), o qual foi aquecido em microondas.

A observação do DNA foi realizada em gel de agarose a 1,5%, utilizando um mix de 5 µl de DNA e 5 µl de corante de corrida (xileno cianol, azul de bromofenol e sacarose), a 80 V/cm durante 1h e analisado em transluminador. O DNA das amostras foi quantificado por espectrofotometria a 260nm.

Foram selecionados 20 pares de primers iniciadores que flanqueiam regiões de microssatélites em soja (CREGAN et al., 1999), escolhidos aleatoriamente, um para em cada grupo de ligação da soja. Os grupos de ligação com seus respectivos iniciadores foram: A1: Satt276 e Satt225, A2: Satt377 e Satt 390, B1: Satt197 e Satt359, B2: Satt126, C1: Satt565 e

Satt524, C2: Satt460 e Satt291, D1A: Satt129 e Satt071, D1B: Satt216 e Satt546, D2: Satt135 e Satt386, E: Satt212 e Satt230, F: Satt146 e Satt188, G: Satt038 e Satt472, H: Satt568 e Satt181, I: Satt162 e Satt440, J: Satt406 e Satt285, K: Satt499 e Satt588, L: Satt229 e Satt495, M: Satt150 e Satt336, N: Satt379 e Satt_033, O: Satt420 e Satt153. As sequências dos primers foram retiradas do site Soybase (<http://www.soybase.org>), pela TMG, sendo que a síntese foi realizada pela empresa Sigma-Aldrich. Esses primers foram fornecidos pela TMG, para a realização do estudo. Os primers que utilizamos foram mapeados e publicados nos trabalhos de Song et al. (2004) e Hyten et al. (2010).

As reações de amplificação foram realizadas com o material genético de cada uma das 12 cultivares avaliadas. O volume total para cada reação foi de 25 μ l, contendo 40 ng de DNA genômico de cada cultivar de soja, 0,2 μ M de cada iniciador 3' e 5', 300 μ M de desoxirribonucleosídeo trifosfato (dNTP), solução tampão de PCR contendo 250 mM de KCL, 15 mM de Tris-HCl, pH 8,9, 2,5 mM de $MgCl_2$ e uma unidade da enzima Taq DNA-polimerase. O ciclo de amplificação foi realizado em um termociclador, iniciando com 3 minutos a 95°C, seguidos por 33 ciclos com 1 minuto de desnaturação a 95°C, 1 minuto de pareamento a 47°C, 1 minuto + 10 minutos de extensão a 72°C. Após a amplificação foi realizada a análise de PCR.

A análise estatística foi realizada com auxílio do programa computacional NTSYS (disponível no site: <http://www.exetersoftware.com/cat/ntsyspc/ntsyspc.html>). As cultivares foram agrupadas, de acordo com a distância genética, pelo método hierárquico UPGMA (unweighted pair-group mean average) utilizando o coeficiente de Ney (1972).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pelos marcadores avaliados separaram as cultivares dos diferentes grupos de adaptação, no ambiente alvo do estudo (Figura 5.1) e as medidas de distância genética apresentaram variação ampla, de 0,36 até 0,95 (Tabela 5.1), comprovando que existe variabilidade genética entre as cultivares de soja avaliadas. Contudo, essa variabilidade foi menor quando comparadas as cultivares entre si, dentro de cada grupo do que entre os grupos de adaptação por altitude.

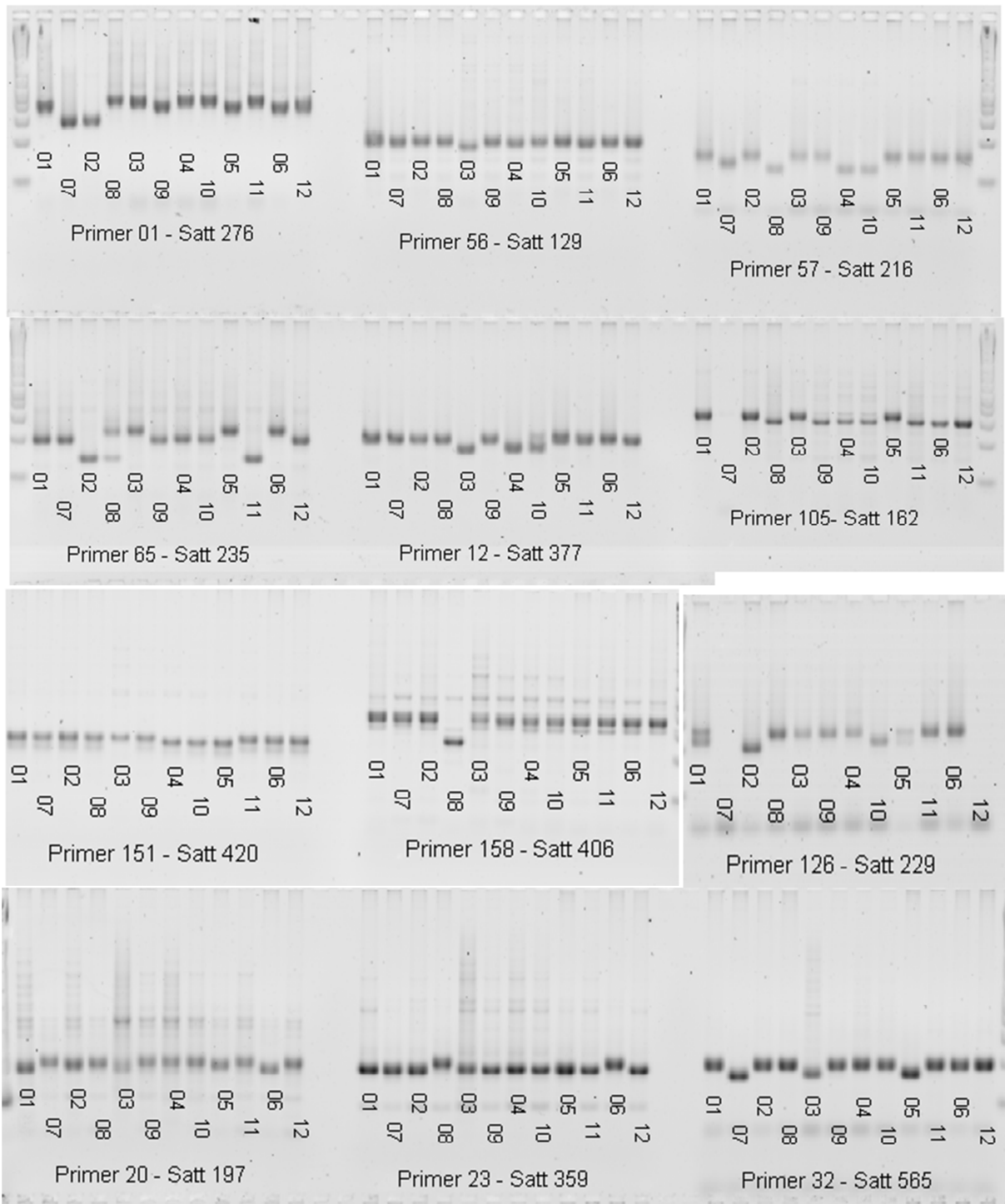


Figura 5.1. Padrões moleculares obtidos com alguns dos primers avaliados, em 12 cultivares de soja.

*Cultivares agrupadas de acordo com a adaptação por altitude, definida por meio de informações obtidas junto aos respectivos obtentores: grupo I (5. BMX Ativa RR; 9. BMX Energia RR e 12. BMX Apolo RR), grupo II (1. BMX Turbo RR; 3. TMG 7262 RR e 6. V_Top RR) grupo III (2. BRS 284 e 7. BMX Potência RR) e grupo IV (4. BRS 133; 8. CD 202; 10. BRS 243 RR e 11. BRS 232).

Tabela 5.1. Distância genética (Nei's original, 1972) entre doze cultivares de soja, divididas em quatro grupos de adaptação por altitude.

Cultivares/ Grupos*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.grupo II	***											
2.grupo III	0,58	***										
3.grupo II	0,62	0,54	***									
4.grupo IV	0,60	0,54	0,63	***								
5.grupo I	0,64	0,62	0,69	0,69	***							
6.grupo II	0,60	0,68	0,63	0,71	0,72	***						
7.grupo III	0,72	0,63	0,55	0,55	0,62	0,55	***					
8.grupo IV	0,50	0,61	0,49	0,73	0,59	0,63	0,55	***				
9.grupo I	0,73	0,63	0,61	0,68	0,77	0,68	0,53	0,66	***			
10.grupoIV	0,58	0,56	0,61	0,95	0,67	0,71	0,58	0,73	0,63	***		
11.grupoIV	0,39	0,63	0,71	0,78	0,74	0,73	0,58	0,71	0,76	0,76	***	
12.grupo I	0,36	0,70	0,65	0,65	0,72	0,75	0,55	0,57	0,93	0,63	0,73	***

* Cultivares agrupadas de acordo com a adaptação por altitude, definida por meio de informações obtidas junto aos respectivos obtentores: Grupo I: em cultivo na região alta do sul do Brasil (5. BMX Ativa RR; 9. BMX Energia RR e 12. BMX Apolo RR); Grupo II: em cultivo nas regiões de alta e de baixa altitude no sul do Brasil (1. BMX Turbo RR; 3. TMG 7262 RR e 6. V_Top RR); Grupo III: em cultivo em baixa altitude desde o sul até o centro do Brasil (2. BRS 284 e 7. BMX Potência RR) e Grupo IV: foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente (4. BRS 133; 8. CD 202; 10. BRS 243 RR e 11. BRS 232).

Isso pode ser explicado pelo fato de que a maioria das cultivares, dentro de cada grupo, foram desenvolvidas por um ou por poucos programas de melhoramento, sendo originadas de poucos bancos de germoplasma, o que pode levar potencialmente a um estreitamento da variabilidade genética. Entretanto, a comparação entre os diferentes grupos de adaptação inclui vários programas de melhoramento e bancos de germoplasma favorecendo uma base mais ampla de variabilidade.

De acordo com Bonato et al. (2006), o nível de variabilidade genética das cultivares de soja tem se mantido constante no decorrer dos anos no Brasil. Além disso, os mesmos autores verificaram que existe heterogeneidade genética entre e dentro dos programas de melhoramento de soja brasileiros, o que contribui para a geração de novas cultivares com características diversas de adaptação para os diferentes ambientes.

O dendrograma representativo da distância genética entre as doze cultivares de soja avaliadas, separou claramente os dois grupos mais distantes em termos de adaptação no

ambiente alvo de estudo, deixando todas as cultivares do grupo IV (cultivares que foram muito plantadas na região, no passado, porém com baixos níveis de produtividade) agrupadas e as cultivares do grupo I (cultivares estão sendo cultivadas atualmente na mesma região, porém com altos tetos produtivos) também agrupadas entre si e com uma cultivar do grupo II, o qual também apresenta boa adaptação nesse ambiente (Figura 5.2).

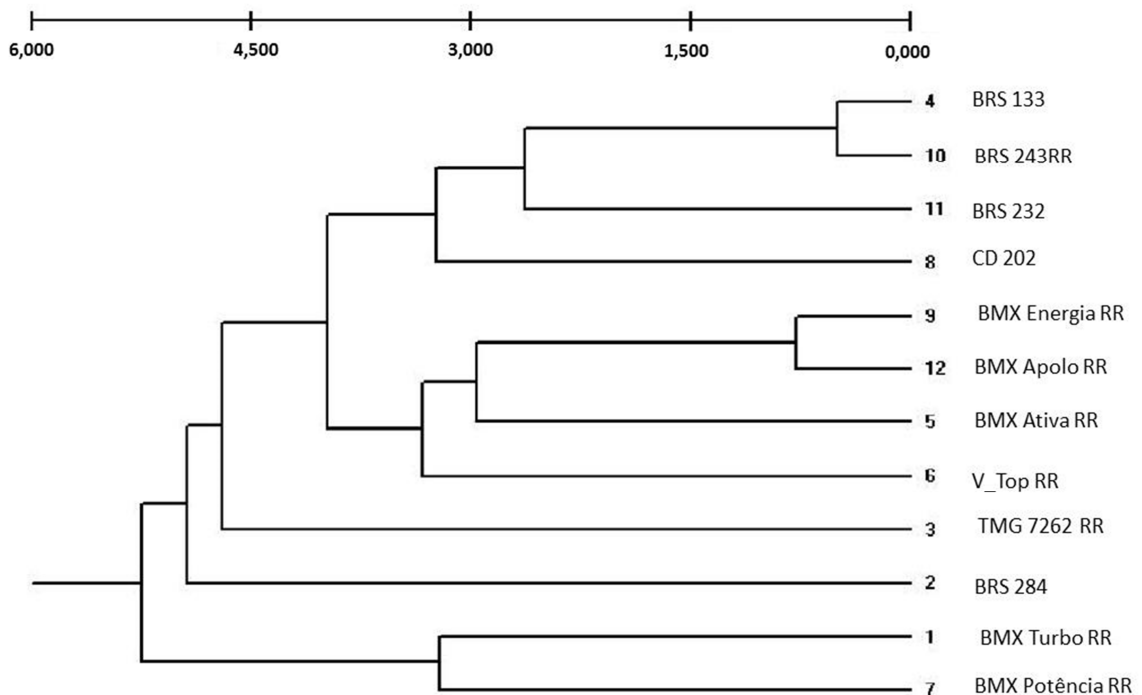


Figura 5.2. Dendrograma representativo da distância genética (Nei's original, 1972) entre as doze cultivares de soja, divididas em quatro grupos de adaptação por altitude, obtidas pelo método UPGMA.

Cultivares agrupadas de acordo com a adaptação por altitude, definida por meio de informações obtidas junto aos respectivos obtentores: Grupo I: em cultivo na região alta do sul do Brasil (5; 9 e 12); Grupo II: em cultivo nas regiões de alta e de baixa altitude no sul do Brasil (1; 3 e 6); Grupo III: em cultivo em baixa altitude desde o sul até o centro do Brasil (2 e 7) e Grupo IV: foram muito cultivadas em ambas as regiões até recentemente (4; 8; 10 e 11).

As demais cultivares apresentaram maior distância genética entre as mesmas, embora algumas delas como a TMG 7262 RR e a V_Top RR, apresentam boa adaptação tanto na região de elevada altitude do Sul do Brasil, quanto na regiões de latitude intermediária do centro-sul do país. Isso pode ser visto como um fato positivo, pois indica que a variabilidade genética ainda é relativamente alta entre cultivares que apresentam características favoráveis à adaptação edafoclimática e elevados potenciais de rendimento na região alvo do estudo, o que

facilita o desenvolvimento de novas cultivares podendo aumentar os níveis de produtividade de soja na região.

5.4 CONCLUSÕES

As cultivares com características de planta favoráveis à adaptação ao ambiente de elevada altitude na região sul do Brasil formam um grupo geneticamente próximo, sugerindo a possibilidade de identificação de marcadores moleculares para essas características.

As cultivares com adaptação mais ampla por altitudes, na região sul do Brasil, apresentam ampla distância genética entre si.

As cultivares mais antigas e com problemas de adaptação ao ambiente de altitude elevada, no sul do Brasil, apresentam distância genética restrita entre si.

Cultivares antigas e com problemas de adaptação na região alta e fria do sul do Brasil formam agrupamentos genéticos distintos das cultivares modernas.

5.5 REFERÊNCIAS

BONATO, A.L.V.; CALVO, E.S.; GERALDI, I.O.; ARIAS, C.A.A. Genetic similarity among soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars released in Brazil using AFLP markers. **Genetics and Molecular Biology**, v.29, p.692-704, 2006.

CONAB, SOJA – BRASIL Série **Histórica de Área Plantada, Produção e Produtividade, Safras 1976/77 a 2010/11**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_04_12_11_17_51_sojaseriehist..xls. Acesso em: 26 mai. 2013.

CRUZ, C. D. **Programa Genes: Aplicativo computacional em genética e estatística**. Versão Windows - 2007, Viçosa, UFV, 2007.

DOYLE, J.J.; DOYLE, J.L. Isolation of plant DNA from fresh tissue. **Focus**, n. 12, p.13-15.

HYTEN, D.L.; CHOI, I.Y.; SONG, Q.-J.; SPECHT, J.E.; CARTER Jr, T.E.; SHOEMAKER, R.C.; HWANG, E.Y.; MATUKUMALLI, L.K.; CREGAN, P.B. A high density integrated genetic linkage map of soybean and the development of a 1,536 Universal Soy Linkage Panel for QTL mapping. **Crop Science**. n. 50, p. 960-968, 2010.

MIRANDA, Z.F.S.; ARIAS, C.A.A.; PRETE, C.E.C.; KIHLE, R.A. de S.; ALMEIDA, L.A. de A.; TOLEDO, J.F.F. de; DESTRO, D. Genetic characterization of ninety elite soybean cultivars using coefficient of parentage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.363-396, 2007.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Ed. Evangraf, 2005. Porto Alegre, RS. 31p.

NEI, M. Genetic distance between populations. **American Naturalist**. Chicago, v. 106, p. 283-292, 1972.

PELUZIO, J.M.; VAZ-DE-MELO, A.; AFFÉRI, F.S.; SILVA, R.R.; BARROS, H.B.; NASCIMENTO, I.R.; FIDELIS, R.R. Variabilidade genética entre cultivares de soja, sob diferentes condições edafoclimáticas. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 2, n. 3, p. 21-29, 2009.

PRIOLLI, R.H.G.; MENDES-JUNIOR, C.T.; ARANTES, C.E.; CONTEL, E.P.B.. Characterization of Brazilian soybean cultivars using microsatellite markers. **Genetics and Molecular Biology**, v.25, p.185-193, 2002.

RODRIGUES, J. I. S.; ARRUDA, K. M. A. A.; CRUZ, C. D.; PIOVESAN, N. D.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Associação de marcadores moleculares microssatélites com teores de óleo e proteína em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 3, 2013.

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Macenas, 2009. 314p.

SONG, Q. J.; MAREK, L. F.; SHOEMAKER, R. C.; LARK, K. G.; CONCIBIDO, V. C.; DELANNAY, X.; CREGAN, P. B. A new integrated genetic linkage map of the soybean. **Theoretical and Applied Genetics**, n. 109, p. 122-128, 2004.

6. CONSIDERAÇÕES GERAIS

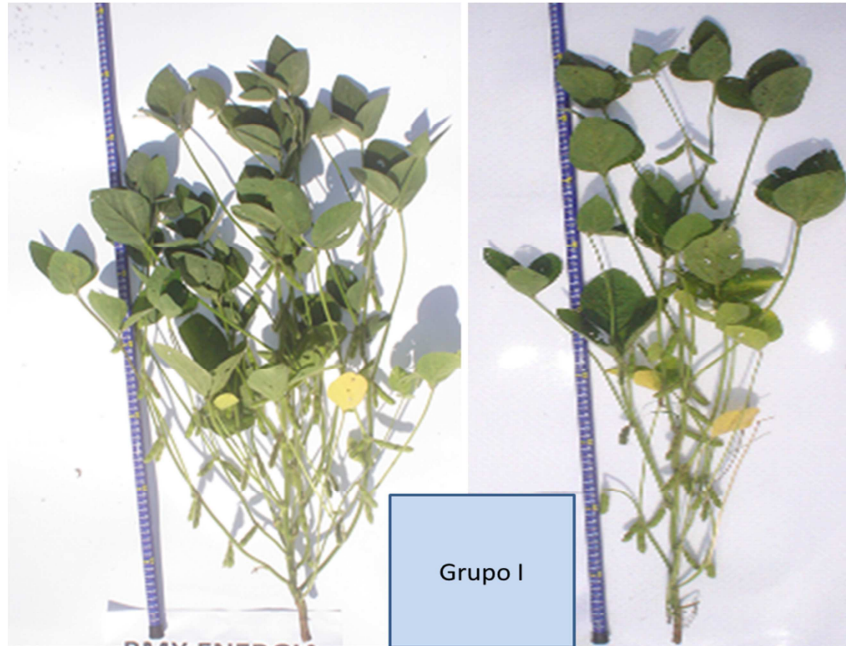
Características de plantas de soja como: grupos de maturidade variando entre 5.3 e 6.2, arquitetura com hastes e folhas eretas, entrenós curtos, estatura reduzida, tolerância ao acamamento e folhas pequenas na parte superior do dossel, contribuem para aumentar o tempo de sobrevivência das folhas no interior do dossel, aumentando a taxa de fotossíntese líquida da planta, o índice de colheita e o potencial de rendimento de grãos, em ambiente com temperatura amena como a que predomina na região alta do sul do Brasil. Plantas com essas características apresentam correlação positiva entre a produção de massa seca, durante o estágio vegetativo e o início do reprodutivo, com o rendimento de grãos.

Plantas de soja com elevada estatura e com folhas grandes na parte superior do dossel, apresentam IAF e auto sombreamento excessivos, estiolamento e acamamento das plantas, senescência precoce das folhas no interior do dossel e menor fotossíntese líquida, quando cultivadas em ambiente de elevada altitude e temperatura amena do sul do Brasil. Essas características dificultam a adaptação das plantas nesse ambiente, favorecem o abortamento de flores e diminuem a formação de vagens, afetando negativamente os componentes do rendimento, o índice de colheita e o potencial de rendimento de grãos.

O aumento da densidade de plantas, neste caso, normalmente aumenta o potencial produtivo, sendo possível alcançar rendimento de grãos superior a 5.000 kg ha⁻¹, com cultivares adaptadas nesse ambiente, já disponíveis no mercado. A distância genética entre cultivares com essas características é relativamente ampla, o que facilita o desenvolvimento de novas cultivares com potencial de rendimento elevado para esse ambiente.

7. ANEXOS

7.1 Anexo I. Plantas de soja, de quatro grupos de cultivares (de acordo com a adaptação por altitude), semeadas com quatro densidades de plantas (200, 350, 500 e 650 mil plantas ha⁻¹), na Região Sul do Brasil.



200 mil plantas ha⁻¹

350 mil plantas ha⁻¹



500 mil plantas ha⁻¹

650 mil plantas ha⁻¹



200 mil plantas ha⁻¹

350 mil plantas ha⁻¹



500 mil plantas ha⁻¹

650 mil plantas ha⁻¹



200 mil plantas ha⁻¹

350 mil plantas ha⁻¹



500 mil plantas ha⁻¹

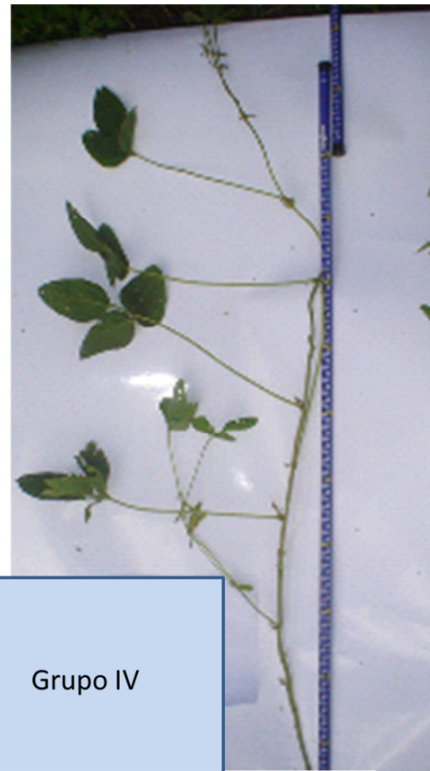
650 mil plantas ha⁻¹



Grupo IV

200 mil plantas ha⁻¹

350 mil plantas ha⁻¹



Grupo IV

500 mil plantas ha⁻¹

650 mil plantas ha⁻¹