

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

**CRESCIMENTO E RENDIMENTO DA SOJA POR ESTRATO DO DOSSEL EM
RESPOSTA À COMPETIÇÃO INTRAESPECÍFICA**

Lisandro Rambo
Engenheiro Agrônomo (UFSM)

Dissertação apresentada como um dos
requisitos à obtenção do Grau de
Mestre em Fitotecnia
Área de Concentração Plantas de Lavoura

Porto Alegre, RS, Brasil
Fevereiro, 2002

LISANDRO RAMBO
Engenheiro Agrônomo – UFSM

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos

para obtenção do Grau de

MESTRE EM FITOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia

Faculdade de Agronomia

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em:
Pela Banca Examinadora

Homologada em:
Por:

JOSÉ ANTONIO COSTA
Orientador-PPG-Fitotecnia

JOSÉ FERNANDES BARBOSA NETO
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia

HOMERO BERGAMASCHI
PPG-Fitotecnia

HUMBERTO BOHNEN
PPG-Solos

CLAUDIO LOVATO
UFSM/RS

GILMAR ARDUINO BETTIO MARODIN
Diretor da Faculdade
de Agronomia

“O trabalho científico é lento na maioria das vezes, monótono e quase sempre sujeito às adversidades. Somente a disposição, a perseverança e o amor ao estudo e à pesquisa científica de interesse podem manter o pesquisador ligado ao seu trabalho. Não se devem esperar compensações financeiras ou gratidões humanas. O trabalho científico honesto é acompanhado sempre pela recompensa espiritual e, eventualmente, por alguma homenagem que florescerá de suas verdades.”

PETROIANUA

DEDICATÓRIA

*“Aos meus pais Irineu e Dianete,
pelo estímulo e compreensão, sem os quais
não teria realizado esta etapa em minha
vida.”*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força, amor e por me acompanhar nesta caminhada.

Ao professor José Antonio Costa, pela orientação, amizade e pelo apoio e incentivo durante esta jornada.

À minha noiva Eliane, pela compreensão, amor e carinho, que me deram força para sempre seguir em frente e nunca desanimar mesmo nas horas mais difíceis.

Ao amigo e colega João Leonardo Fernandes Pires, pela dedicação, companherismo e estímulo durante a realização deste trabalho, e aos amigos e colegas Geovano Parcianello e João Batista Jornada da Jornada, pelo ambiente familiar proporcionado e amizade durante o tempo em que já convivemos.

Aos bolsistas de iniciação científica Felipe Gutheil Ferreira, Kleiton Douglas Saggin e Thais Fernanda Stella de Freitas, pela ajuda na realização das determinações.

Aos professores do Departamento de Plantas de Lavoura, o agradecimento pelos ensinamentos e atenção dispensada.

Aos colegas de pós-graduação pela amizade e colaboração recebidos durante o curso, e aos funcionários do Departamento de Plantas de Lavoura que ajudaram na execução deste trabalho.

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro.

CRESCIMENTO E RENDIMENTO DA SOJA POR ESTRATO DO DOSSEL EM RESPOSTA À COMPETIÇÃO INTRAESPECÍFICA¹

Autor: Lisandro Rambo

Orientador: José Antonio Costa

RESUMO

A modificação do arranjo de plantas altera a competição intraespecífica pelos recursos disponíveis para o crescimento e rendimento de grãos da soja. O experimento foi conduzido na Estação Experimental Agronômica da UFRGS, em Eldorado do Sul, RS, na estação de crescimento 2000/01, objetivando avaliar como o arranjo de plantas modifica a competição intraespecífica e de que forma isto se reflete no crescimento, no potencial de rendimento (PR) e no rendimento de grãos da soja e seus componentes por estrato do dossel. Utilizou-se a cultivar 'BRS 137' (semiprecoce) em semeadura direta. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com parcelas sub-subdivididas e quatro repetições. Os tratamentos constaram de regimes hídricos (irrigado e não irrigado), espaçamentos entre linhas (20 e 40 cm) e populações de plantas (20, 30 e 40 plantas/m²). A irrigação aumentou a taxa de enchimento de grãos e, como consequência, o peso do grão, resultando em maior PR no início do enchimento de grãos (R5) e rendimento de grãos na maturação (R8). O arranjo de plantas com 20 cm, independente da população, apresentou, em média, maior PR em R5 em relação ao arranjo com 40 cm, o que também foi verificado no estrato médio do dossel. Verificou-se também diminuição linear no PR com o aumento da população de plantas, dentro do espaçamento de 20 cm. Na maturação, o arranjo de plantas que proporcionou maior rendimento de grãos foi a associação do espaçamento de 20 cm com a população de 20 plantas/m². Houve decréscimo linear no rendimento de grãos com o aumento da população de plantas no espaçamento reduzido. Respostas similares foram obtidas nos estratos médio e inferior do dossel. Estes resultados são explicados pelo maior crescimento inicial (índice de área foliar, massa seca e taxa de crescimento da cultura) da soja, número de nós férteis e legumes férteis/m², obtidos nesses arranjos, principalmente no estrato médio e inferior do dossel. Arranjos de plantas que possibilitem melhor distribuição das plantas na área amenizam a competição intraespecífica, proporcionando maior crescimento inicial da soja, que resulta em maior rendimento de grãos.

¹ Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (92 p.) Fevereiro, 2002.

GROWTH AND YIELD OF SOYBEAN BY CANOPY STRATUM IN RESPONSE TO INTERPLANT COMPETITION²

Author: Lisandro Rambo
Adviser: José Antonio Costa

ABSTRACT

Plant arrangement modification change the interplant competition by using resources for growth and soybean grain yield. The experiment was performed at the Agronomic Experimental Estation of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul, in Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil, in the 2000/01 growing season. The objectives were to evaluate how soybean plant arrangement change the interplant competition and the effect in the growth, yield potential (YP), grain yield and yield components by canopy stratum. The cultivar tested was 'BRS 137' (early), in no-till planting. The treatments were arranged in a split-splitplot randomized complete-block design, with four replications. Water availability (irrigated and no irrigated), row spacing (20 and 40 cm) and population levels (20, 30 and 40 plants/m²) were tested. Irrigation increased the grain filling rate and seed weight, that resulted in larger YP in the beginning of seed filling (R5) and larger grain yield at the maturation (R8). The plant arrangement of 20 cm of row spacing, independent of population, presented, on the average, larger YP compared to 40 cm row spacing. The same was also noticed at the medium soybean canopy stratum. Was also verified linear decrease in R5 with increase in plant population, with row spacing reduction. At maturity the plant arrangement of 20 cm row spacing and population of 20 plants/m², yielded more than 40 cm. There was linear decrease in grain yield with increase in plant population, with row spacing reduction. The same pattern was noticed at the medium and bottom soybean canopy stratum. This results are explained by higher initial soybean growth (leaf area index, dry matter, and crop growth rate), branch number, fertile nodes and fertile pods/m² obtained in this arrangement, mainly in the medium and bottom canopy stratum. Plant arrangements, that allow better plant distribution in the area, attenuated the interplant competition, enhancing the initial soybean growth, that result in larger grain yield.

² Master of Science dissertation in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (92 p.) February, 2002.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. CAPÍTULO I - Estimativa do potencial de rendimento por estrato do dossel da soja em função do arranjo de plantas.....	5
2.1 – Resumo.....	5
2.2 – Abstract.....	6
2.3 – Introdução.....	7
2.4 – Material e Métodos.....	9
2.5 – Resultados e Discussão.....	14
2.6 – Conclusões.....	35
3. CAPÍTULO II - Rendimento de grãos da soja em função da competição intraespecífica.....	36
3.1 – Resumo.....	36
3.2 – Abstract.....	37
3.3 – Introdução.....	38
3.4 – Material e Métodos.....	40
3.5 – Resultados e Discussão.....	42
3.6 – Conclusões.....	52
4. CAPÍTULO III - Crescimento e rendimento de grãos da soja por estrato do dossel em função do arranjo de plantas.....	53
4.1 – Resumo.....	53
4.2 – Abstract.....	54
4.3 – Introdução.....	55

4.4 – Material e Métodos.....	57
4.5 – Resultados e Discussão.....	60
4.6 – Conclusões.....	77
5. CONCLUSÕES GERAIS.....	78
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
7. APÊNDICES.....	87
8. VITA.....	92

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1.1. Estimativa do potencial de rendimento (kg/ha) em R5 e rendimento de grãos (kg/ha) em R8 por estrato do dossel da cultivar de soja 'BRS 137' em dois regimes hídricos, na média de dois espaçamentos entre linhas e três populações de plantas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.....	19
1.2. Peso de 100 grãos de legumes com um, dois e três grãos por estrato do dossel da soja, em dois regimes hídricos, na média de dois espaçamentos entre linhas e três populações de plantas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.....	19
1.3. Estimativa do potencial de rendimento (kg/ha) em R5* por estrato do dossel da cultivar de soja 'BRS 137' em dois espaçamentos entre linhas e três populações de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.....	21
1.4. Rendimento de grãos (kg/ha) por estrato do dossel da cultivar de soja 'BRS 137' em dois espaçamentos entre linhas e três populações de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.....	22
1.5. Número de legumes por m ² com um, dois, três e sem grãos por estrato do dossel da cultivar de soja 'BRS 137', em dois espaçamentos entre linhas, na população de 20 plantas/m ² , na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.....	27
1.6. Número de estruturas reprodutivas, presentes no estágio R5* por estrato do dossel da cultivar de soja 'BRS 137' em dois espaçamentos entre linhas e três populações de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.....	32
2.1. Rendimento de grãos, componentes do rendimento e taxa de enchimento de grãos (TEG) da cultivar de soja 'BRS 137' em dois regimes hídricos, na média de dois espaçamentos entre linhas e três populações de plantas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.....	43

2.2. Rendimento de grãos e características agronômicas da cultivar de soja ‘BRS 137’ sob diferentes arranjos de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.....	44
3.1. Peso de 100 grãos (g), por estrato do dossel, da cultivar de soja ‘BRS 137’, em dois regimes hídricos, na média de dois espaçamentos entre linhas e três populações de plantas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.....	60
3.2. Componentes do rendimento da cultivar de soja ‘BRS 137’ sob diferentes arranjos de plantas, nos estratos superior (S), médio (M) e inferior (I) do dossel e da planta inteira (T), na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.....	62
3.3. Fechamento do espaço entre linhas da cultivar de soja ‘BRS 137’, em dois espaçamentos e três populações de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.....	65
3.4. Índice de área foliar (IAF) e massa seca da parte aérea (g/m^2), no estágio V6, e taxa de crescimento da cultura (TCC) durante os estádios VE-V6*, da cultivar de soja ‘BRS 137’, em dois espaçamentos entre linhas, na média de dois regimes hídricos e três populações de plantas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.....	66

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1.1. Representação esquemática da metodologia de divisão do dossel da soja em três estratos, por dois planos paralelos, com base na planta de maior estatura.....	12
1.2. Representação esquemática da estimativa do potencial de rendimento pelo método da quantificação das estruturas reprodutivas.....	14
1.3. Estrato do balanço hídrico segundo Thorntwaite & Mather (1955) (Rolim et al., 1998) para capacidade de armazenamento de água no solo de 50 mm. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01. 1 = semeadura; 2 = emergência; 3 = colheita; A = primeira irrigação, cinco dias após a semeadura (única em todo o experimento); B, C e D = segunda, terceira e quarta irrigação, respectivamente, no estádio R6 (máximo volume de grãos).....	16
1.4. Precipitação pluvial e temperaturas médias de 1970 a 1989 (Bergamaschi & Guadagnin, 1990) e da estação de crescimento de 2000/01, durante o período de condução do experimento (Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da UFRGS). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.....	17
1.5. Radiação solar global (cal/m ² /dia) média de 1968 a 1988 (Bergamaschi & Guadagnin, 1990) e da estação de crescimento de 2000/01, durante o período de condução do experimento (Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da UFRGS). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.....	17
1.6. Estimativa do potencial de rendimento (R5) e rendimento de grãos (R8) da soja por estrato do dossel na média de dois regimes hídricos, dois espaçamentos entre linhas e três populações de plantas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01. R5 = início do enchimento de grãos; R8 = maturação.....	18
1.7. Estimativa do potencial de rendimento (PR) no estádio de início do enchimento de grãos da soja, da planta inteira, do estrato médio, e inferior do dossel, no espaçamento de 20 cm entre linhas, em três níveis de população de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.....	23

1.8. Rendimento de grãos da soja da planta inteira, do estrato médio, e inferior do dossel no espaçamento de 20 cm entre linhas, em três níveis de população de plantas, média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.....	25
1.9. Número de legumes com um, dois e três grãos do estrato inferior (a), médio (b) e superior (c) do dossel, e da planta inteira (d), no espaçamento de 20 cm entre linhas, em três níveis de população de plantas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.....	30
1.10. Peso de 100 grãos de legumes com dois grãos do estrato inferior do dossel (a) e da planta inteira (b), no espaçamento de 20 cm entre linhas, em três níveis de população de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.....	31
1.11. Número de estruturas reprodutivas presentes no estágio de início do enchimento de grãos da soja, da planta inteira, e do estrato médio do dossel, no espaçamento de 20 cm entre linhas, em três níveis de população de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.....	32
2.1. Representação esquemática da área disponível para cada planta em vários arranjos de plantas (combinação de diferentes populações de plantas com os espaçamentos de 20 e 40 cm entre linhas).....	45
2.2. Rendimento de grãos (a), número de ramos (b), número de nós férteis (c) e número de legumes férteis (d), no espaçamento de 20 cm entre linhas, em função da população de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.....	48
2.3. Peso de 100 grãos (a) e taxa de enchimento de grãos (TEG) (b), no espaçamento de 20 cm entre linhas, em três níveis de população de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.....	51
3.1. Número de legumes férteis/m ² (a), peso de 100 grãos do estrato inferior (b) e médio (c), e da planta inteira (d), no espaçamento de 20 cm entre linhas, em três níveis de população de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.....	63
3.2. Índice de área foliar da planta inteira (a), do estrato superior (b), médio (c) e inferior (d) do dossel, em dois espaçamentos entre linhas e na população de 20 plantas/m ² , na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01. *Significativo a 5% de probabilidade.....	68
3.3. Índice de área foliar (a) e massa seca da parte aérea (b) no estágio V9 (nono nó com folha desenvolvida), no espaçamento de 20 cm entre linhas, em três níveis de população de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.....	69

3.4. Índice de área foliar da planta inteira - total (a), no estrato médio (a) e inferior (b) do dossel, no estágio V11 (décimo primeiro nó com folha desenvolvida), no espaçamento de 20 cm entre linhas, em três níveis de população de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.....	70
3.5. Massa seca da planta inteira (a), do estrato superior (b), médio (c) e inferior (d) do dossel, em dois espaçamentos entre linhas na população de 20 plantas/m ² , na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01. *Significativo a 5% de probabilidade.	71
3.6. Massa seca da parte aérea por estrato do dossel no estágio V11 (décimo primeiro nó com folha desenvolvida), no espaçamento de 20 cm entre linhas, em três níveis de população de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.....	72
3.7. Taxa de crescimento da cultura (TCC) por estrato do dossel nos estádios V6, V9 e V11 (sexto, nono e décimo primeiro nó com folha desenvolvida, respectivamente), no espaçamento de 20 cm entre linhas, em três níveis de população de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.....	72
3.8. Taxa de crescimento da cultura (TCC) da planta inteira (a), do estrato superior (b), médio (c) e inferior (d) do dossel, em dois espaçamentos entre linhas e na população de 20 plantas/m ² , na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01. *Significativo a 5% de probabilidade.....	73

1. INTRODUÇÃO GERAL

A soja é a cultura que detém a maior área cultivada do Rio Grande do Sul, com cerca de três milhões de hectares. É de grande importância econômica para este estado, participando da economia de pequenos, médios e grandes estabelecimentos rurais, estando presente em 33% deles (Bisotto & Farias, 2001).

A elevação do rendimento de grãos desta cultura tem se constituído num grande desafio para os pesquisadores. Há necessidade de se buscar novas práticas de manejo que maximizem a utilização dos fatores ambientais disponíveis, sem elevação dos custos de produção, tornando os produtores competitivos na economia atual globalizada.

O arranjo de plantas tem sido uma prática muito estudada ao longo dos anos, sendo que em soja há associação entre a evolução do arranjo de plantas e o aumento do rendimento. Nos primeiros trabalhos realizados com arranjo de plantas era esperado que o rendimento de grãos aumentasse linearmente com o aumento da população de plantas, o que na verdade não acontece. Na realidade, em populações muito elevadas aumenta a competição intraespecífica e o acamamento, o que reduz a contribuição de cada planta para o rendimento, reduzindo, portanto, o rendimento de grãos por área. Também, até algum tempo atrás, dava-se pouca importância à forma com que as plantas eram distribuídas na área. Assim, eram utilizadas semeadoras de precisão baixa, que distribuíam as sementes de maneira desuniforme. Era desconsiderada a distância entre as plantas, tendo-se lavouras com grande número de plantas adensadas na linha e grandes espaçamentos na entre linha. Outro fato importante é que, com o advento do sistema de semeadura direta, houve um

aumento na dificuldade em estabelecer um estande inicial de plantas mais uniforme devido à maior quantidade de palha sobre a superfície no momento da semeadura que dificulta, de certa maneira, esta prática. Desta forma, estudos com arranjos que propiciem melhor distribuição das plantas na área, amenizando a competição intraespecífica pelos recursos do meio, essenciais para o crescimento e rendimento da soja, são merecedores de de mais investigação.

A redução do espaçamento entre linhas é uma prática fundamental na busca de arranjos que propiciem menor competição entre plantas já tendo sido comprovadas uma série de vantagens com a utilização desta prática, como a melhor eficiência do uso da água devido ao sombreamento mais rápido do solo, melhor distribuição de raízes, redução da competição intraespecífica, maior habilidade de competição com plantas daninhas, exploração mais uniforme da fertilidade do solo e maior e mais antecipada intercepção da energia solar. Dentre estas, destaca-se a maior intercepção da radiação solar, que tem sido considerada, por um grande número de pesquisadores, como um dos principais fatores que tem levado a maiores rendimentos dos espaçamentos reduzidos em relação aos largos.

O dossel da soja se caracteriza por apresentar uma camada densa de folhas, sendo que a dificuldade de penetração de luz nos estratos inferiores da comunidade de plantas, é considerada por alguns autores, o principal fator limitante para o aumento do rendimento nesta cultura. Por outro lado, a maior intercepção e melhor distribuição da radiação no dossel tem sido decisiva no incremento do rendimento em espaçamentos estreitos. Segundo a literatura, espaçamentos amplos e as populações convencionalmente utilizadas, não permitem a penetração uniforme de luz nos diferentes estratos da planta, o que tem refletido em contribuição desigual das seções da planta para o rendimento.

Deste modo, é relevante verificar se este padrão se modifica com a redução do espaçamento entre linhas e população de plantas, buscando explicar melhor como se dá a

intercepção da luz pela planta da soja nestes arranjos, bem como, qual a sua implicação no crescimento e rendimento. Nesse contexto, justifica-se a divisão das plantas em seções, de acordo, com a sua localização no dossel.

No Brasil ainda são poucos estudos referentes à associação entre redução do espaçamento entre linhas e população de plantas, e os até aqui realizados não elucidaram que modificações morfofisiológicas da planta são decorrentes desta associação. Nesse sentido, a análise do crescimento das plantas e a estimativa do potencial de rendimento são ferramentas importantes na detecção destas mudanças, auxiliando na tomada de decisões de manejo que possam maximizar o rendimento de grãos, durante a estação de crescimento de uma lavoura e/ou na safra seguinte.

A maioria dos cultivos de soja no Brasil é realizada com espaçamentos de 40 a 50 cm entre linhas e populações de 40 plantas/m². No Rio Grande do Sul, a população indicada pela pesquisa é de 40 plantas/m², admitindo-se que haja 20 a 25 % de variação nesse número, para mais ou menos, desde que as plantas sejam distribuídas uniformemente na área (Reunião, 2001). Porém, esta indicação é feita com base na utilização de espaçamentos de 35 a 60 cm entre linhas, sendo que, com a variação no espaçamento entre linhas e na população de plantas, pode-se ter respostas diferenciadas no rendimento. Com a redução do espaçamento entre linhas, populações menores poderiam proporcionar condições mais favoráveis para a obtenção de rendimentos elevados.

Há necessidade, também, de se avaliar estes arranjos sob ambientes diferenciados, principalmente em relação à precipitação, pois já na década de 70, Bergamaschi & Cauduro (1975), alertavam que o Rio Grande do Sul apresenta um regime pluvial muito variável no tempo e no espaço. Isto foi confirmado por Cunha et al. (1999), que demonstraram que a disponibilidade hídrica é uma variável que limita a expressão do potencial de rendimento da soja neste Estado.

O presente trabalho teve por objetivos avaliar como o arranjo de plantas modifica a competição intraespecífica e de que forma isto se reflete no crescimento, no potencial de rendimento (PR) e no rendimento de grãos da soja e seus componentes, por estrato do dossel.

CAPÍTULO I

ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE RENDIMENTO POR ESTRATO DO DOSSEL DA SOJA, EM DIFERENTES ARRANJOS DE PLANTAS

2.1. RESUMO

O potencial de rendimento (PR) da soja pode ser modificado pelo arranjo de plantas. Esta alteração pode resultar da contribuição diferenciada dos estratos do dossel para a determinação do potencial. O experimento foi conduzido na Estação Experimental Agronômica da UFRGS, em Eldorado do Sul, RS, na estação de crescimento 2000/01, objetivando avaliar o PR em três estratos do dossel da soja em função da modificação do arranjo de plantas, em dois regimes hídricos. Utilizou-se a cultivar 'BRS 137', em semeadura direta. Os tratamentos constaram de níveis de irrigação (irrigado e não irrigado); espaçamentos entre linhas (20 e 40 cm), e populações de plantas (20, 30 e 40 plantas/m²). Estimou-se o PR no início do enchimento de grãos (R5), admitindo-se que todas as flores se transformassem em legumes e que todos os legumes presentes neste estágio atingissem a maturação, formando grãos e contribuindo para o rendimento. O dossel foi dividido em três estratos, por dois planos paralelos ao solo, determinando-se o PR e o rendimento de grãos nas três seções do dossel. O tratamento irrigado apresentou maior PR da planta inteira (14976 kg/ha) e rendimento em R8 que o não irrigado (12148 kg/ha), similar ao que ocorreu em todos os estratos do dossel. O arranjo de plantas com 20 cm, independente da população, apresentou, em média, maior PR em R5 (14970 kg/ha) em relação ao arranjo com 40 cm (12154 kg/ha), o que também foi verificado no estrato médio do dossel. Na maturação, o arranjo com espaçamento de 20 cm, em combinação com a população de 20 plantas/m², mostrou-se superior a 40 cm (6442 kg/ha comparado com 4396 kg/ha), pelo maior rendimento nos estratos médio e inferior. Houve diminuição linear do PR em R5 com o aumento da população de plantas, dentro do espaçamento de 20 cm, explicado pelo comportamento similar nos estratos do dossel, obtendo-se a mesma resposta no rendimento em R8. Os estratos do dossel da soja contribuem diferentemente para o PR com a modificação do arranjo de plantas, decorrente da alteração do número de estruturas reprodutivas em R5 e componentes do rendimento em R8.

Termos para indexação: *Glycine max* (L.) Merrill, espaçamento entre linhas, estruturas reprodutivas, população de plantas.

YIELD POTENTIAL ESTIMATE BY SOYBEAN CANOPY STRATUM IN RESPONSE TO PLANT ARRANGEMENT

2.2. ABSTRACT

The soybean yield potential (YP) can be modified by plant arrangement. This modification might be the result of the differential contribution of the canopy strata for the potential determination. The experiment was performed at the Agronomic Experimental Estation of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul, in Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil, in the 2000/01 growing season. The objectives were to evaluate the YP by stratum of soybean canopy in different plant arrangement, under two water availability. The cultivar tested was BRS 137, in no-till planting. Water availability (irrigated and no irrigated), row spacing (20 and 40 cm) and population levels (20, 30 and 40 plants/m²) were tested. The YP was estimated in the beginning of seed filling (R5). It was considered that all flowers and pods present at this stage were able to reach maturation, forming grains and contributing to yield. The canopy was divided in three strata by plans parallel to soil surface. The irrigated treatment (14976 kg/ha) presented larger total plant YP and yield in R8 than without irrigation (12148 kg/ha), similar with what occurred in all soybean canopy strata. The plant arrangement with 20 cm of row spacing, independent of population, presented, on the average, larger YP in R5 (14970 kg/ha) compared to 40 cm row spacing (12154 kg/ha). The same was also noticed at the medium soybean canopy stratum. At maturity the plant arrangement 20 cm of row spacing and population of 20 plants/m² yielded more than 40 cm (6442 kg/ha compared to 4396 kg/ha), due to larger yield at the medium and bottom stratum. There was a linear decrease in YP with increase of plant population, with row spacing reduction (20 cm), explained by the same behavior of the canopy strata. Similar response was obtained for yield in R8. The soybean canopy strata contributed differently to YP with the plant arrangement modification, due to the differential number of reproductives structures (R5) and yield components (R8) alteration.

Index terms: *Glycine max* (L.) Merrill, row spacing, reproductives structures, plant population.

2.3. INTRODUÇÃO

O rendimento de uma cultura é o resultado de processos bioquímicos e fisiológicos que se sucedem ao longo do ciclo de cada planta que compõe a comunidade vegetal. Esses processos são a expressão de um componente genético que determina as enzimas a serem sintetizadas em cada célula, catalisando reações específicas e de um componente ambiental que acelera ou atrasa tais reações (Barni, 1994). O crescimento e desenvolvimento das culturas são modulados por fatores como radiação solar, água e temperatura (Sinclair, 1994). A influência dos fatores que limitam o rendimento durante o ciclo pode ser melhor compreendida se o potencial de rendimento (PR) for conhecido. A diferença entre o PR e o rendimento obtido dá a dimensão das perdas por estresses que afetam a cultura (Evans, 1993).

Em soja, estimativas do PR podem ser feitas durante a ontogenia por meio da quantificação das estruturas reprodutivas (flores e legumes), possibilitando verificar o efeito de práticas de manejo diferenciadas sobre a produção e fixação destas estruturas (Pires et al., 2000). A estimativa do PR permite que se faça o planejamento da lavoura, podendo-se intervir nas safras vindouras pelo uso de práticas de manejo que visem amenizar a perda de potencial causada pelos estresses identificados nas safras anteriores.

Vários trabalhos têm sido feitos buscando estimar o PR da soja, sob diferentes condições de manejo. Ventimiglia et al. (1999), trabalhando com semeadura convencional, observaram que, se todas as flores presentes em R2 se transformassem em legumes e

atingissem a maturação formando grãos, o rendimento poderia ter sido de 18000 kg/ha, e de 10000 kg/ha se todos os legumes presentes em R5 continuassem evoluindo até R8. No entanto, o rendimento em R8 foi de 4600 kg/ha. Pires et al. (2000), em semeadura direta e arranjo de plantas diferenciado, estimaram um PR médio de 15007 kg/ha em R2 e de 10282 kg/ha em R5, sendo este influenciado pelo espaçamento entre linhas, onde, em 20 cm, o PR estimado foi de 10962 kg/ha e em 40 cm 9602 kg/ha. Nesta mesma linha, Maehler (2000), estimando o PR de duas cultivares de soja durante a ontogenia, em função do regime hídrico e arranjo de plantas, observou maior PR nos estádios R2, R4 e R5 no tratamento irrigado em relação ao não irrigado, o que resultou em maior rendimento em R8, sob irrigação. Este autor, neste ano, não observou diferença de PR entre espaçamentos de 20 cm e 40 cm entre linhas.

Nas lavouras de soja, geralmente, tem-se utilizado arranjos de plantas que combinam espaçamento entre linhas de 40 a 50 cm com população de 40 plantas/m². A modificação desse arranjo de plantas afeta a competição intraespecífica. Competição pode ser definida como sendo a apreensão ou retirada conjunta, por duas ou mais plantas, de recursos essenciais ao seu crescimento e desenvolvimento, os quais estão limitados no ecossistema comum (Pitelli, 1981). As plantas buscam captar os recursos essenciais para o seu desenvolvimento que, na maioria das vezes são limitados. Por isso, passa a haver competição entre elas (Marvel et al., 1992).

Arranjos que possibilitem melhor distribuição das plantas na área, amenizando a competição intraespecífica e aproveitando melhor os recursos do meio, podem resultar em maiores rendimentos de grãos. O uso de espaçamentos estreitos (20 cm) em combinação com populações de plantas menores é uma alternativa para tentar reduzir as perdas do PR pela diminuição da competição entre plantas. É importante avaliar, também, se os novos arranjos determinam mudanças na contribuição dos estratos do dossel.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o PR em três estratos do dossel da soja, em função da modificação do arranjo de plantas, em dois regimes hídricos.

2.4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), localizada no município de Eldorado do Sul, região ecoclimática da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul (30° 05' 27'' de latitude sul e 51° 40' 18'' de longitude oeste, com uma altitude média de 46 m) (Bergamaschi & Guadagnin, 1990).

O clima da região pertence à variedade específica Cfa da classificação climática de Köeppen, ou seja, subtropical úmido com verão quente. A radiação solar global é mais elevada no mês de dezembro, com média diária próxima de 500 cal/cm²/dia, enquanto que junho tem a menor média diária, cerca de 200 cal/cm²/dia. Janeiro e fevereiro são os meses mais quentes, e junho e julho os mais frios. A temperatura média anual é de 14,9°C, sendo a média das mínimas de 14,8°C e a média das máximas de 24,3°C. A precipitação pluvial média anual é de 1440 mm, apresentando, freqüentemente, deficiência hídrica nos meses de novembro a março (Bergamaschi & Guadagnin, 1990).

As médias mensais de precipitação e temperatura, calculadas entre 1970 e 1989, na EEA/UFRGS, para os meses em que foi conduzido o experimento, são de 107,9 mm e 21,0°C em novembro; 95,7 mm e 23,4°C em dezembro; 114,8 mm e 24,8°C em janeiro; 107,6 mm e 24,9°C em fevereiro; 106,7 mm e 23,4°C em março; e 101,8 mm e 19,8°C em abril (Bergamaschi & Guadagnin, 1990).

O solo da área experimental pertence à unidade de mapeamento São Jerônimo, classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (Embrapa, 1999). São solos, em sua maioria, profundos, bem drenados, de coloração avermelhada, textura franco-argilosa com cascalhos, desenvolvidos a partir de granito. As principais características físico-químicas do solo da área experimental eram: argila = 29%; pH = 5,1; índice SMP = 5,8; P = 11 mg/L; K = 186 mg/L; matéria orgânica = 2,2%; Al = 0,2 cmol_c/L; CTC = 10,1 cmol_c/L. A recomendação de adubação, baseada na análise de solo da área experimental, indicou a necessidade de 50 kg de P₂O₅ e 50 de K₂O por hectare, para rendimentos esperados acima de 3000 kg/ha de soja (Bartz et al., 1994). Para suprir esta necessidade foram aplicados 250 kg/ha de adubo químico da fórmula 5-20-20 a lanço, antecedendo a semeadura.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas e quatro repetições. Os tratamentos constaram de dois níveis de irrigação (irrigado e não irrigado), nas parcelas principais; dois espaçamentos entre linhas (20 e 40 cm), nas subparcelas e três populações de plantas (20, 30 e 40 plantas/m²), nas sub-subparcelas. As sub-subparcelas tinham dimensão de 4 x 6 m, considerando-se como bordadura uma linha no espaçamento de 40 cm e duas linhas no de 20 cm em cada extremidade lateral e de 0,5 m em cada cabeceira, resultando numa área útil de 16 m².

Utilizou-se a cultivar 'BRS 137', de ciclo semi-precoce e hábito de crescimento determinado. O experimento foi instalado em semeadura direta, em solo contendo 5.800 kg/ha de cobertura de aveia preta (*Avena strigosa*) mais ervilhaca (*Vicia sativa*) no momento da semeadura. As sementes de soja foram tratadas com fungicida [captan (90 g de i.a./100kg de semente)] e inoculadas com estirpes específicas de *Bradyrhizobium japonicum*, em meio turfoso (Reunião..., 2000).

A semeadura foi realizada em 15/11/2000, portanto dentro do período preferencial para o cultivo da soja na região ecoclimática da Depressão Central, com semeadora de parcelas, tracionada por trator.

As sementes foram distribuídas de acordo com os espaçamentos entre linhas utilizados, em quantidades correspondentes a uma vez e meia as populações de plantas desejadas.

A emergência ocorreu no dia 24/11/2000, sendo que 15 dias após, quando as plantas estavam no estágio V2 (segundo nó, de acordo com Costa & Marchezan, 1982), realizou-se o desbaste, ajustando-se as populações para os valores desejados como tratamentos.

O controle de plantas daninhas foi realizado pela utilização dos herbicidas clethodim (96 g/ha de i.a.) e imazethapyr (100 g/ha de i.a.). O controle de insetos pragas foi efetuado com endossulfam (437,5 g/ha de i.a.), sendo a lagarta da soja (*Anticarsia gemmatilis*), broca-das-axilas (*Epinotia aporema*) e percevejos (*Nezara viridula* e *Piezodorus guildinii*), os principais insetos pragas predominantes na área.

As unidades experimentais com suplementação hídrica receberam irrigação por aspersão com a finalidade de minimizar a limitação imposta pela deficiência de umidade do solo ao crescimento da cultura. A umidade do solo foi monitorada por oito tensiômetros distribuídos um em cada parcela principal e instalados a 20 cm de profundidade. A irrigação foi efetuada por aspersores fixos com um raio de irrigação efetiva de seis metros e vazão média de 10 mm/h, sempre que a tensão da água do solo ultrapassava o limite de – 0,05 MPa.

Para estimar o PR durante a ontogenia da soja, realizou-se determinações em 10 plantas marcadas em seqüência na linha de cada sub-subparcela, fazendo-se avaliações

sempre nas mesmas plantas nos estádios R5 (início do enchimento de grãos) e R8 (maturação).

Quantificou-se o número de estruturas reprodutivas (flores + legumes) em R5. Em R8 determinou-se os componentes número de legumes com um, dois, três e sem grãos e o peso de 100 grãos de legumes com um, dois e três grãos, por estrato do dossel da soja. No estágio R5 a estratificação do dossel foi efetuada levando-se em consideração a planta de maior estatura das 10 plantas previamente marcadas em seqüência na linha, dividindo-se o dossel da soja no campo (sem coletar as plantas), em dois planos paralelos ao solo (Figura 1), efetuando-se a contagem das estruturas reprodutivas. No estágio R8, coletou-se estas mesmas 10 plantas, que foram colocadas, lado a lado, sobre uma tábua graduada (em centímetros), simulando a disposição que encontravam-se no dossel. Feito isto, foi efetuada a estratificação dessas plantas em dois planos paralelos, com base na planta de maior estatura, visando dividir o dossel em três seções de mesma altura.

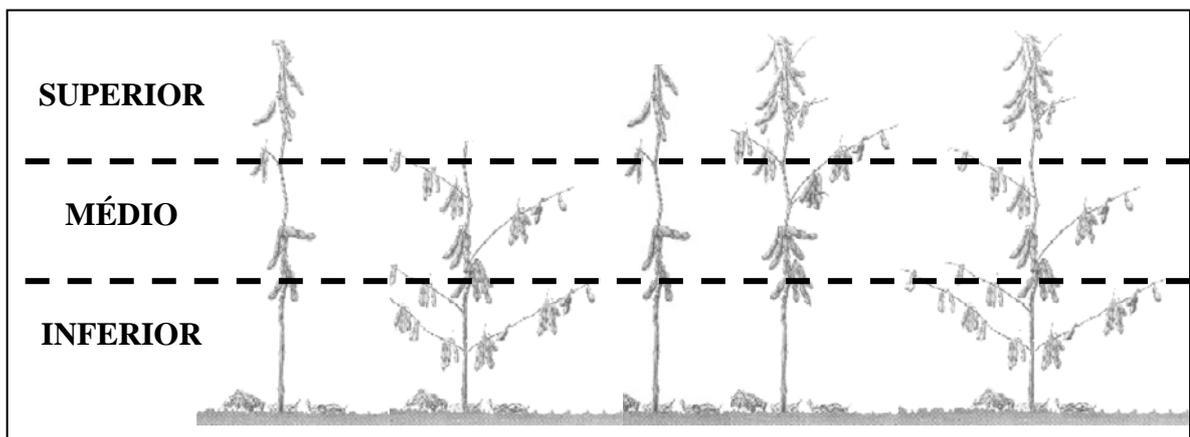


FIGURA 1. Representação esquemática da metodologia de divisão do dossel da soja em três estratos, por dois planos paralelos, com base na planta de maior estatura.

Esta metodologia foi utilizada com o objetivo de representar melhor a estrutura do dossel da soja no campo, visando refletir de forma fidedigna a contribuição de cada estrato

deste dossel, de acordo com a localização de suas estruturas vegetativas e reprodutivas, para o PR e rendimento de grãos.

O rendimento de grãos (kg/ha) foi obtido pela pesagem dos grãos oriundos da amostra de 10 plantas, sendo que o valor obtido foi corrigido para 13% de umidade e para um hectare.

O número de legumes com um, dois, três e sem grãos por estrato foi obtido pela contagem destes legumes na amostra de 10 plantas por parcela, previamente estratificadas, e depois transformados por m^2 e percentagem. O peso de 100 grãos (a 13% de umidade) por seção do dossel da soja foi realizado em amostra de 50 grãos, oriunda de legumes com um, dois e três grãos, separadamente. Estes dados, obtidos em R8, foram utilizados para estimar o PR (kg/ha) em R5, quando aplicados aos valores de estruturas reprodutivas (flores + legumes) obtidas neste estágio. Esta estimativa é a representação do rendimento que seria obtido se as plantas conseguissem manter todas as estruturas reprodutivas presentes em R5, e se estas chegassem ao final do ciclo com a proporção de legumes com um, dois, três e sem grãos, e peso de 100 grãos de legumes com um, dois e três grãos, obtidos em R8 (Figura 2).

A análise estatística foi efetuada com base nas proposições de Riboldi (1993). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), pelo teste F, sendo a diferença entre médias de tratamentos comparadas pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade para os fatores irrigação e espaçamento entre linhas. O fator população de plantas foi comparado por análise de regressão.

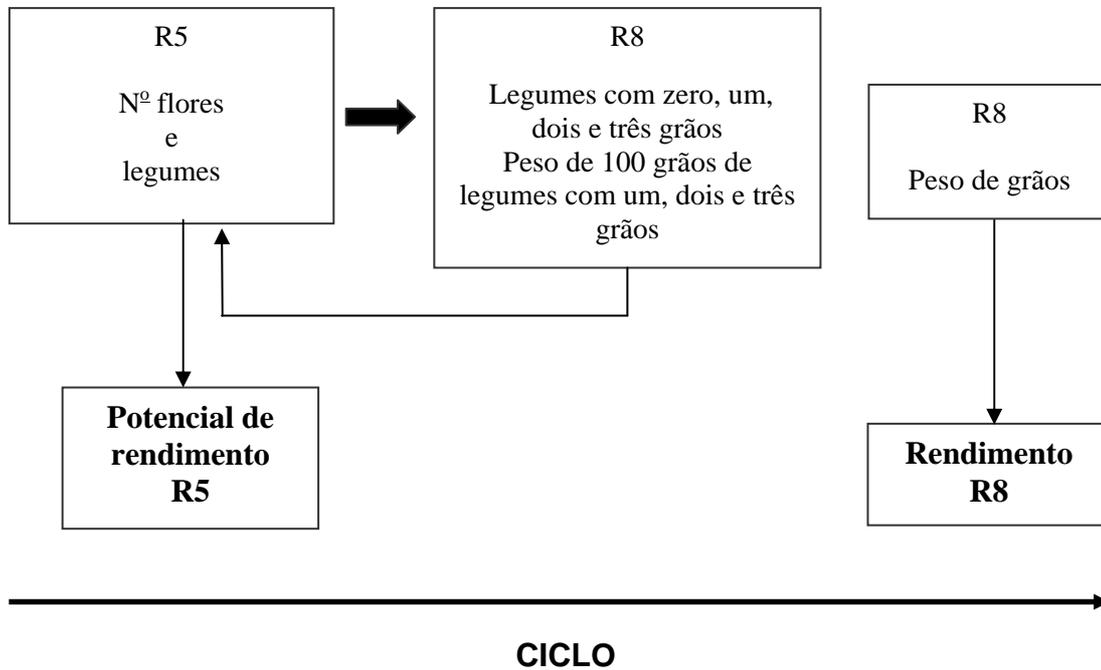


FIGURA 2. Representação esquemática da estimativa do potencial de rendimento pelo método da quantificação das estruturas reprodutivas.

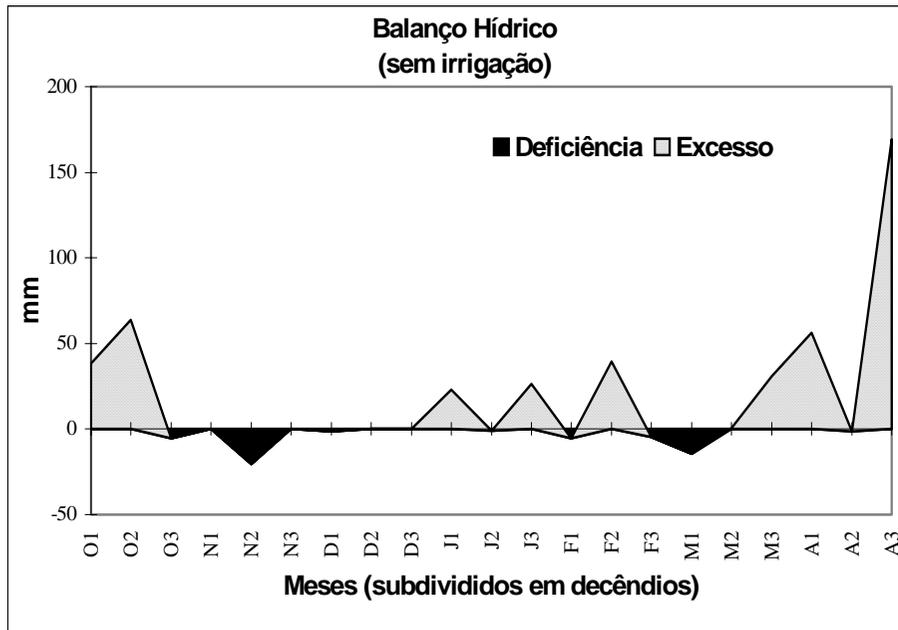
2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ano agrícola 2000/01 foi de precipitação elevada. Apesar disso, ocorreram alguns períodos com déficit hídrico. O estrato do balanço hídrico (Figura 3) indicou deficiência no mês de novembro, época de semeadura e estabelecimento, que foi minimizada por uma irrigação (30 mm) em todo o experimento, visando homogeneizar a emergência e o desenvolvimento inicial. Também ocorreu deficiência no mês de março, no final do ciclo reprodutivo (estádio R6 - máximo volume de grãos). No tratamento com suplementação hídrica, a deficiência foi reduzida por meio de três irrigações (total de 45 mm).

No que se refere à temperatura e à radiação, o ano ocorrido, do ponto de vista meteorológico, pode ser considerado como típico da região (Figuras 4 e 5).

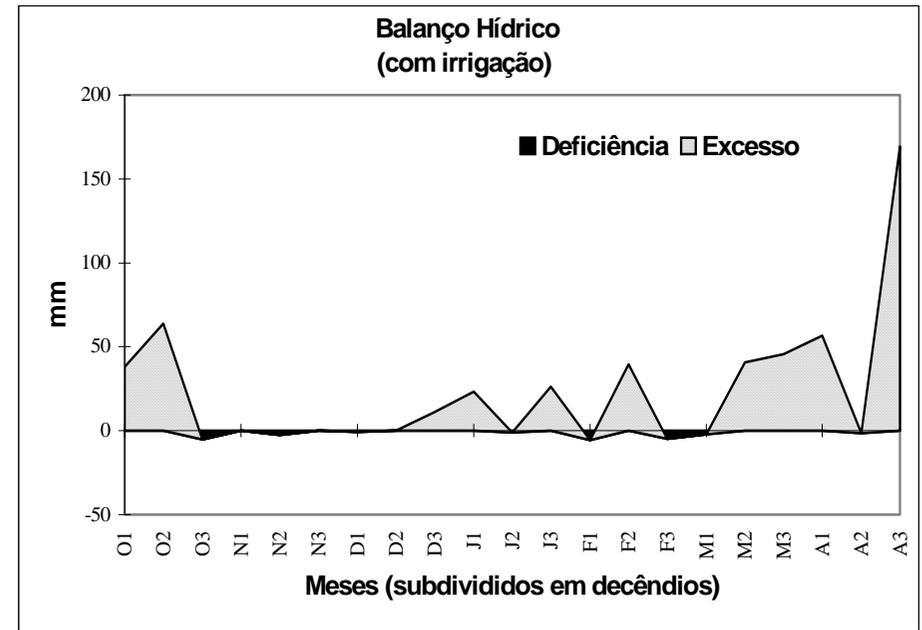
Considerando que se todas as estruturas reprodutivas (flores e legumes) presentes no estádio R5 tivessem gerado legumes com um, dois, três e sem grãos, bem como grãos provenientes dos legumes férteis (um, dois e três grãos) com o peso do grão obtido no estádio R8, o PR médio estimado no estádio R5 seria de 13562 kg/ha. A perda do PR entre R5 e R8 foi de 62%, pois o rendimento médio de grãos obtido em R8 foi de 5214 kg/ha. O PR médio estimado neste trabalho foi superior ao obtido por outros autores (Ventimiglia et al., 1999 – 10000 kg/ha; Pires et al., 2000 – 10282 kg/ha), neste mesmo estádio. Estas diferenças podem ser atribuídas à utilização de outras cultivares nestes estudos, bem como pela variação nas condições meteorológicas observada entre os anos agrícolas.

Na média dos tratamentos, o PR diferiu entre os estratos do dossel da soja, sendo que o estrato superior e médio (34% e 47%, respectivamente) contribuíram com o maior percentual, e o estrato inferior participou com 19%. O rendimento de grãos manteve um padrão similar a este, aumentando a contribuição do estrato médio (61%), em detrimento ao estrato superior (29%), e principalmente ao inferior (10%) (Figura 6).



↑ 1
↑ 2

↑ 3



↑ A

↑ B
↑ C
↑ D

FIGURA 3. Extrato do balanço hídrico segundo Thornthwaite & Mather (1955) (Rolim et al., 1998) para capacidade de armazenamento de água no solo de 50 mm. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01. 1 = semeadura; 2 = emergência; 3 = colheita; A = primeira irrigação, cinco dias após a semeadura (única em todo o experimento); B, C e D = segunda, terceira e quarta irrigação, respectivamente, no estágio R6 (máximo volume de grãos). Dados meteorológicos obtidos dos boletins da Estação Meteorológica do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia/UFRGS e da Estação Experimental de Taquari (FEPAFRO/SCT-RS).

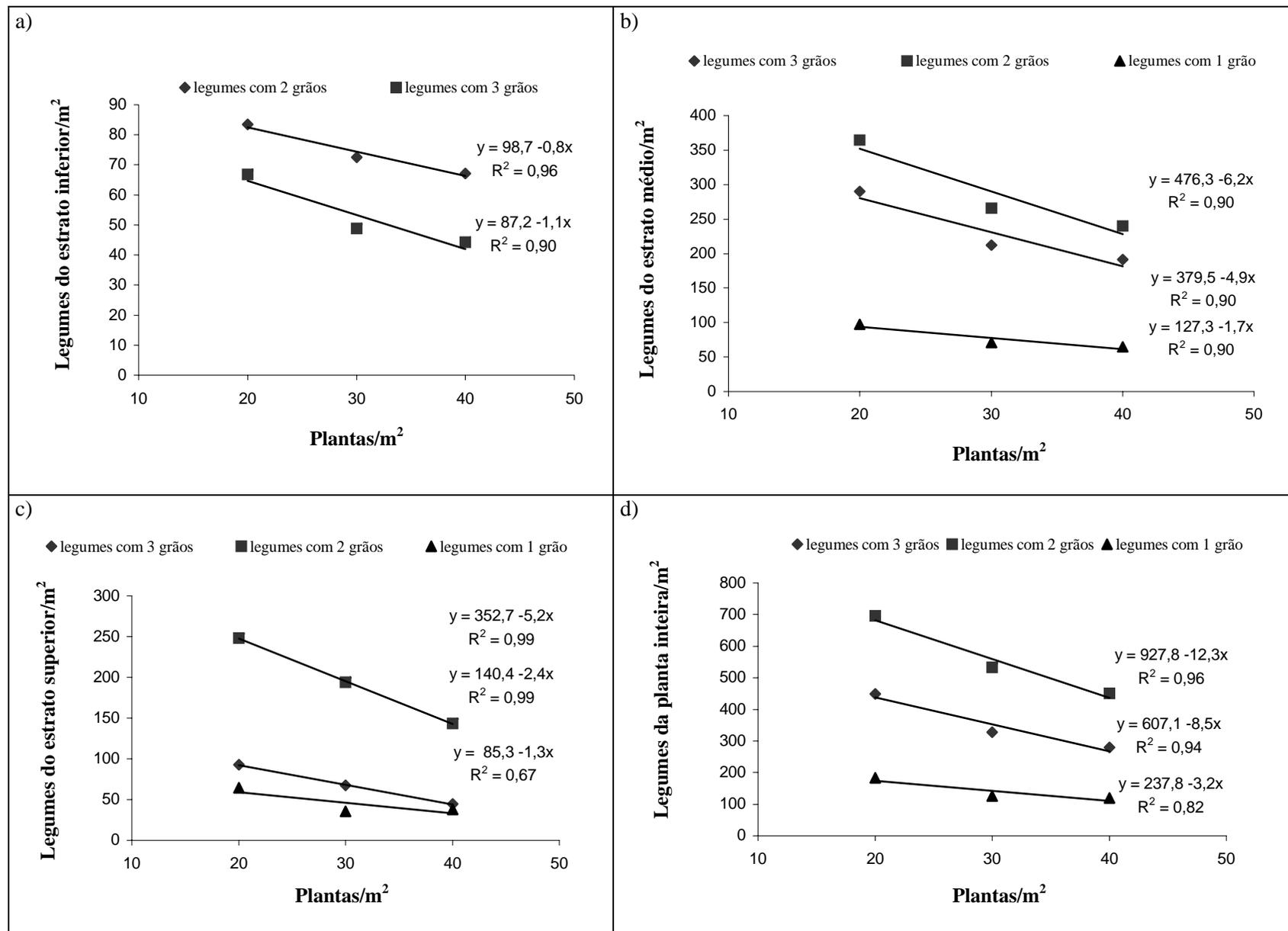


FIGURA 9. Número de legumes com um, dois e três grãos do estrato inferior (a), médio (b) e superior (c) do dossel, e da planta inteira (d), no espaçamento de 20 cm entre linhas, em três níveis de população de plantas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.

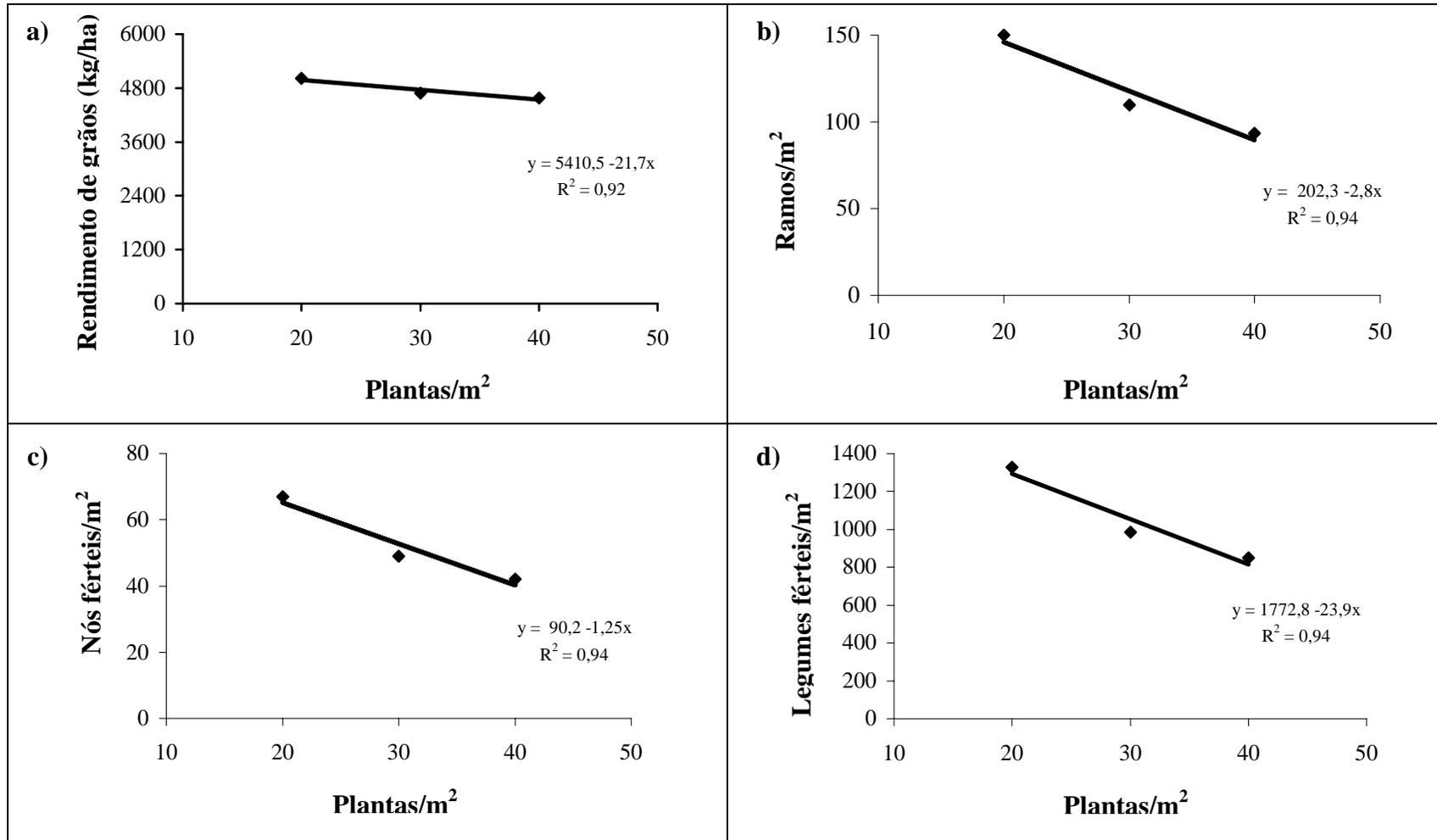


FIGURA 2. Rendimento de grãos (a), número de ramos (b), número de nós férteis (c) e número de legumes férteis (d), no espaçamento de 20 cm entre linhas, em função da população de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.

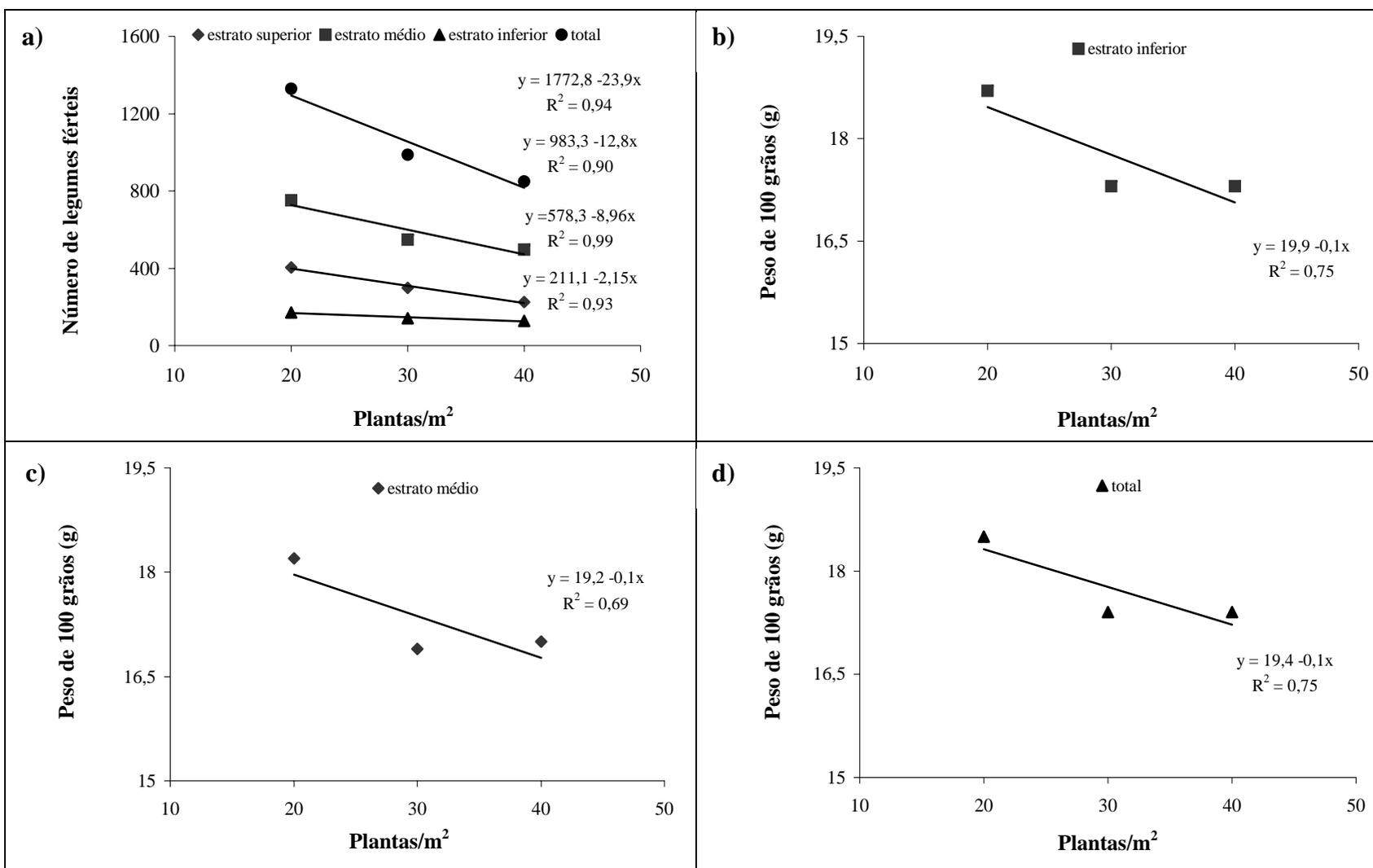


FIGURA 1. Número de legumes férteis/m² (a), peso de 100 grãos do estrato inferior (b) e médio (c), e da planta inteira - total (d), no espaçamento de 20 cm entre linhas, em três níveis de população de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.

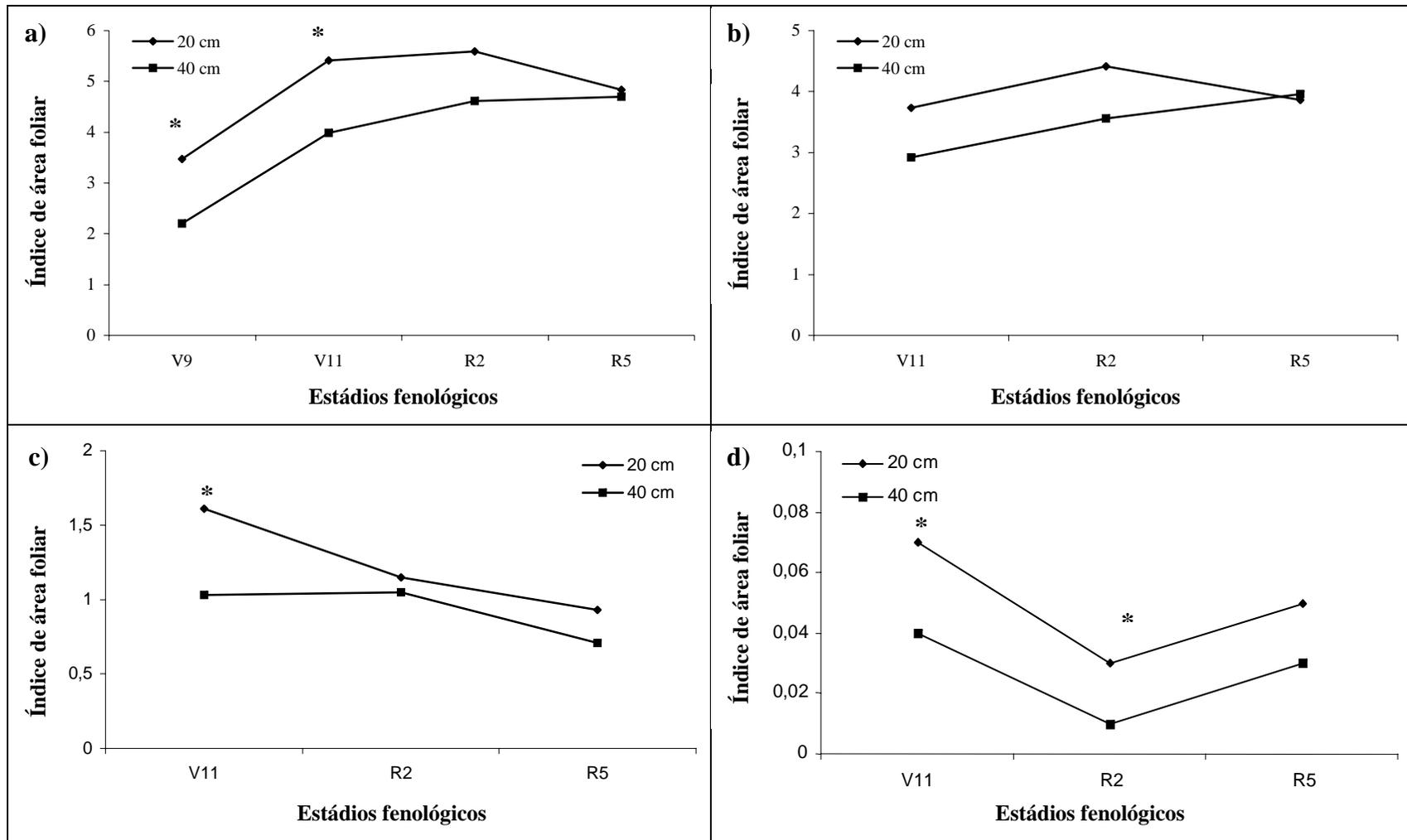


FIGURA 2. Índice de área foliar da planta inteira (a), do estrato superior (b), médio (c) e inferior (d) do dossel, em dois espaçamentos entre linhas e na população de 20 plantas/m², na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01. *Significativo a 5% de probabilidade.

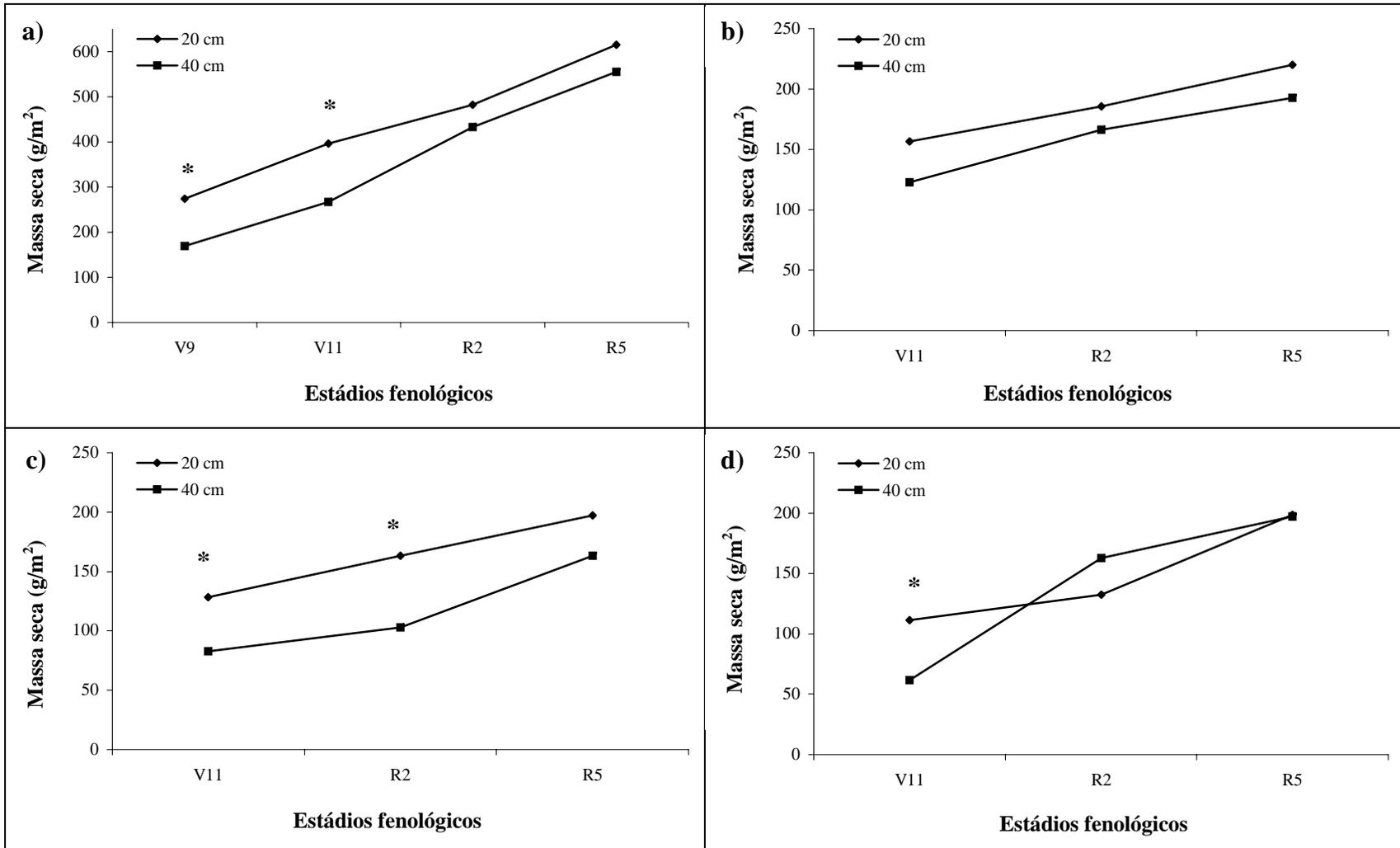


FIGURA 5. Massa seca da planta inteira (a), do estrato superior (b), médio (c) e inferior (d) do dossel, em dois espaçamentos entre linhas na população de 20 plantas/m², na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01. *Significativo a 5% de probabilidade.

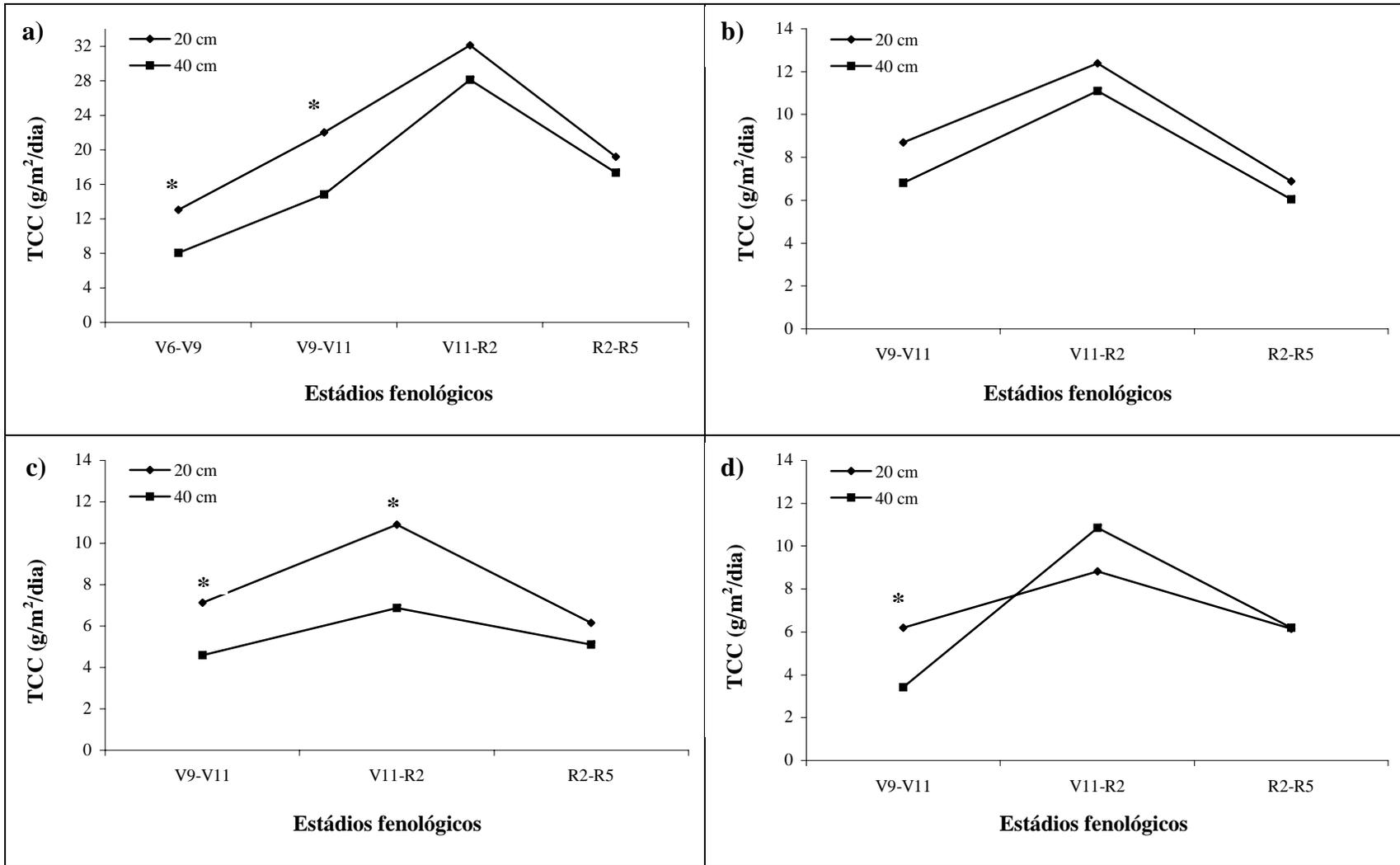


FIGURA 8. Taxa de crescimento da cultura (TCC) da planta inteira (a), do estrato superior (b), médio (c) e inferior (d) do dossel, em dois espaçamentos entre linhas e na população de 20 plantas/m², na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01. *Significativo a 5% de probabilidade.

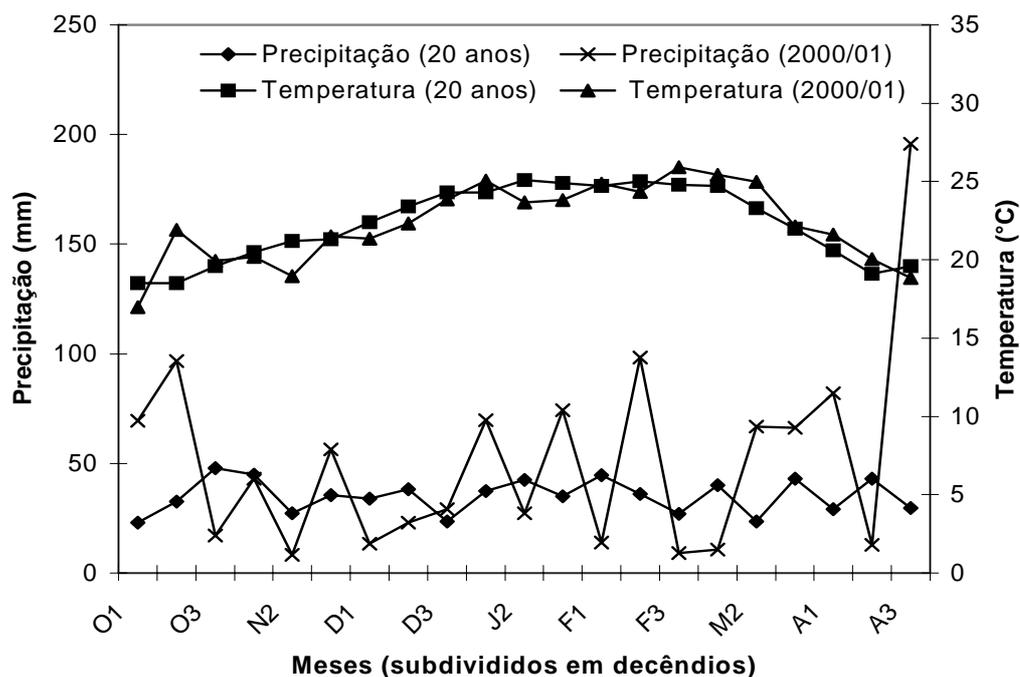


FIGURA 4. Precipitação pluvial e temperaturas médias de 1970 a 1989 (Bergamaschi & Guadagnin, 1990) e da estação de crescimento de 2000/01, durante o período de condução do experimento (Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da UFRGS). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

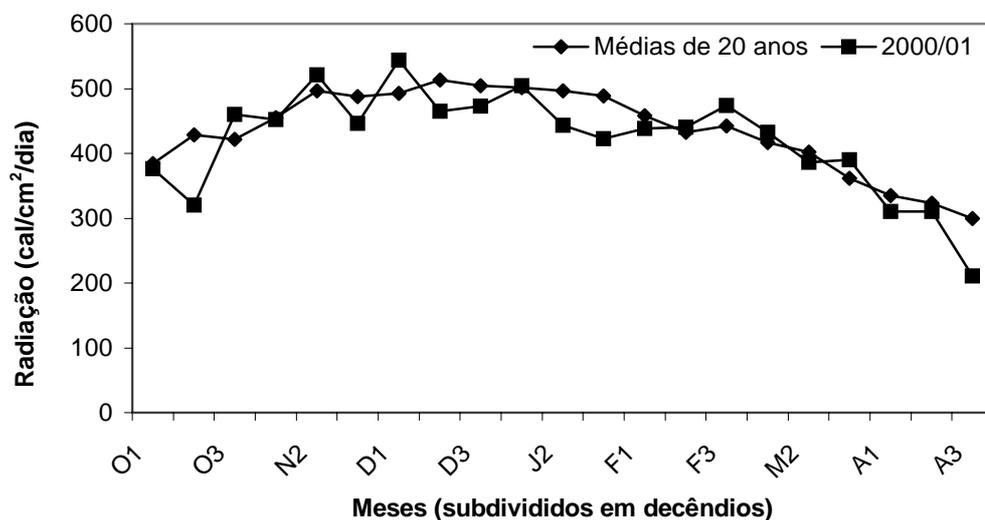


FIGURA 5. Radiação solar global ($\text{cal/cm}^2/\text{dia}$) média de 1968 a 1988 (Bergamaschi & Guadagnin, 1990) e da estação de crescimento de 2000/01, durante o período de condução do experimento (Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da UFRGS). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

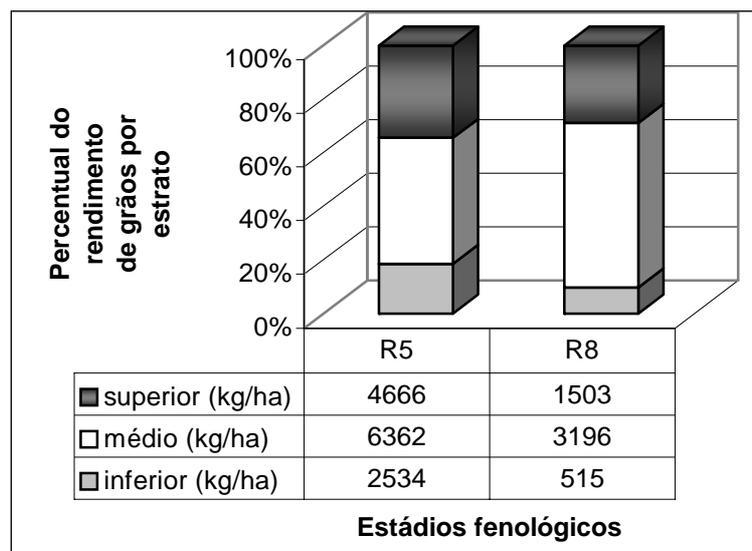


FIGURA 6. Estimativa do potencial de rendimento (R5) e rendimento de grãos (R8) da soja por estrato do dossel na média de dois regimes hídricos, dois espaçamentos entre linhas e três populações de plantas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01. R5 = início do enchimento de grãos; R8 = maturação.

O PR em R5 foi influenciado pelo regime hídrico (efeito simples) e pelo arranjo de plantas (interação entre espaçamento e população), o que se refletiu no rendimento de grãos.

O PR estimado no estágio R5 foi maior no tratamento irrigado do que no não irrigado, nos três estratos do dossel. O rendimento de grãos também foi incrementado significativamente pela irrigação, principalmente em função do estrato médio (Tabela 1).

O maior PR obtido no tratamento irrigado resultou do maior peso do grão (expresso em peso de 100 grãos), proporcionado pela irrigação, nos legumes com um, dois e três grãos da planta inteira e nos três estratos do dossel (Tabela 2). Somente este componente do rendimento foi afetado, pois no estágio R6, o número de legumes e o número de grãos por legume está praticamente definido, sendo menos influenciados por deficiência hídrica.

TABELA 1. Estimativa do potencial de rendimento (kg/ha) em R5 e rendimento de grãos (kg/ha) em R8 por estrato do dossel da cultivar de soja 'BRS 137' em dois regimes hídricos, na média de dois espaçamentos entre linhas e três populações de plantas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01

Estrato do dossel	Estádio fenológico			
	R5*		R8	
	Regime hídrico		Regime hídrico	
	Irrigado	Não irrigado	Irrigado	Não irrigado
Superior	4994 a**	4338 b	1594 a	1412 a
Médio	7089 a	5635 b	3400 a	2992 b
Inferior	2893 a	2175 b	536 a	494 a
Planta inteira	14976 a	12148 b	5530 a	4898 b
Média	13562		5214	

*R5 = início do enchimento de grãos; R8 = maturação.

**Médias seguidas de mesma letra na linha, dentro de cada estágio fenológico, não diferem pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade. Coeficiente de variação para o regime hídrico = 3,2 (R5) e 5,1 (R8).

TABELA 2. Peso de 100 grãos de legumes com um, dois e três grãos por estrato do dossel da soja, em dois regimes hídricos, na média de dois espaçamentos entre linhas e três populações de plantas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01

Estrato do dossel (legumes com um, dois e três grãos)	Peso de 100 grãos (g)	
	Regime hídrico	
	Irrigado	Não irrigado
(um grão)	19,0 a*	14,7 b
Superior (dois grãos)	19,4 a	16,1 b
(três grãos)	19,5 a	17,7 b
(um grão)	18,7 a	15,4 b
Médio (dois grãos)	18,5 a	15,4 b
(três grãos)	18,1 a	15,1 b
(um grão)	16,6 a	13,2 a
Inferior (dois grãos)	20,9 a	16,4 b
(três grãos)	19,8 a	16,1 b
(um grão)	18,1 a	14,4 b
Planta inteira (dois grãos)	19,6 a	16,0 b
(três grãos)	19,1 a	16,3 b

*Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

A irrigação pode influenciar as características agronômicas, os componentes do rendimento e o rendimento de grãos. O peso do grão está sob controle genético substancial (Pandey & Torrie, 1973), mas é influenciado pelo ambiente. Thomas & Costa (1994) relataram que a irrigação aumentou o peso do grão e o número de legumes por planta. Desclaux et al. (2000) observaram que o estresse hídrico ocorrido durante o enchimento de grãos reduziu o peso do grão da soja. A falta de água durante o enchimento de grãos reduz o tamanho e peso dos grãos, devido à diminuição do suprimento de fotoassimilados produzidos pela planta e/ou inibição do metabolismo do próprio grão (Westgate et al., 1989; Salinas et al., 1996).

Em relação ao arranjo de plantas, houve interação entre o fator espaçamento entre linhas e população de plantas. Os maiores PR estimados foram obtidos nos arranjos de plantas com espaçamento de 20 cm, independente da população de plantas. Isto ocorreu pelo maior potencial dos estratos médio e inferior na população de 20 plantas/m², e médio nas demais (Tabela 3). No que se refere ao rendimento de grãos (Tabela 4 e Figura 7), o arranjo de plantas de 20 cm de espaçamento entre linhas com 20 plantas/m² apresentou o melhor resultado, devido à contribuição diferencial dos estratos médio e inferior.

O PR em R5 aumentou linearmente, dentro do espaçamento de 20 cm com a diminuição da população de plantas, em função dos estratos médio e inferior do dossel da soja (Figura 7). O mesmo foi observado com o rendimento de grãos em R8 (Figura 8).

O arranjo de plantas pode ser modificado pela variação na população e no espaçamento entre linhas, alterando a área e a forma da área de influência disponível para cada planta, o que se reflete numa competição intraespecífica diferenciada. O maior PR obtido com a redução do espaçamento entre linhas dentro de todos os níveis populacionais está associado à modificação da competição intraespecífica.

TABELA 3. Estimativa do potencial de rendimento (kg/ha) em R5* por estrato do dossel da cultivar de soja 'BRS 137' em dois espaçamentos entre linhas e três populações de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01

Estrato do dossel	População (plantas/m ²)					
	20		30		40	
	Espaçamento		Espaçamento		Espaçamento	
	20 cm	40 cm	20 cm	40 cm	20 cm	40 cm
Superior	4717 a**	3530 a	4818 a	4312 a	5230 a	5390 a
Médio	8815 a	5408 b	6539 a	5996 b	6153 a	5261 b
Inferior	3604 a	2164 b	2608 a	2371 a	2428 a	2029 a
Planta inteira	17136 a	11102 b	13965 a	12679 b	13811 a	12680 b

*R5 = início do enchimento de grãos.

**Médias seguidas de mesma letra na linha, dentro de cada nível de população de plantas, não diferem pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade. Coeficiente de variação para níveis de população de 11,6 e 4,7 para espaçamento entre linhas.

A redução do espaçamento entre linhas, em uma mesma população de plantas, distribui melhor as plantas na área, pois possibilita a retirada de parte das plantas que estavam adensadas na linha (com 40 cm de espaçamento) para serem dispostas na entre linha, tendo-se assim novas linhas (com o espaçamento de 20 cm). Desta forma, reduz-se a competição intraespecífica, pela maior aproximação da equidistância entre as plantas dentro da linha e com as plantas de outras linhas. Segundo Duncan (1986), na mesma população de plantas ocorre maior competição entre plantas, devido ao sombreamento, em espaçamentos largos, onde as plantas estão mais próximas na linha, do que em espaçamentos estreitos.

Diversos trabalhos utilizando espaçamento entre linhas de 17 até 100 cm têm verificado acréscimos no PR e rendimento de grãos pela redução do espaçamento entre linhas na soja (Taylor, 1980; Herbert & Litchfield, 1982; Udoguchi & McClound, 1987; Ethredge et al., 1989; Board et al., 1992; Pires et al., 1998; Thomas et al., 1998; Ventimiglia, et al.; 1999; Pires et al., 2000), associado a vários fatores, como o melhor uso da água devido ao sombreamento mais rápido do solo pelo dossel, melhor distribuição de

raízes, redução da competição intraespecífica, maior habilidade na competição com plantas daninhas, exploração uniforme da fertilidade do solo, e maior e mais rápida interceptação da radiação solar.

TABELA 4. Rendimento de grãos (kg/ha) por estrato do dossel da cultivar de soja ‘BRS 137’ em dois espaçamentos entre linhas e três populações de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01

Estrato do dossel	População (plantas/m ²)					
	20		30		40	
	Espaçamento		Espaçamento		Espaçamento	
	20 cm	40 cm	20 cm	40 cm	20 cm	40 cm
Superior	1556 a *	1405 a	1732 a	1418 a	1648 a	1260 a
Médio	4153 a	2540 b	3335 a	3055 a	3070 a	3022 a
Inferior	733 a	451 b	535 a	485 a	485 a	399 a
Planta inteira	6442 a	4396 b	5602 a	4958 a	5203 a	4681 a

*Médias seguidas de mesma letra na linha, dentro de cada nível de população de plantas, não diferem pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade. Coeficiente de variação para níveis de população de 15,7 e 15,0 para espaçamento entre linhas.

O maior PR obtido em R5 nos estratos médio e inferior (Tabela 3), igualmente observado no rendimento em R8 (Tabela 4), pode estar associado a maior interceptação de luz nestes estratos do dossel da soja, proporcionados pela melhor distribuição das plantas na área nos arranjos com espaçamento reduzido. Resultados semelhantes foram obtidos com o número de estruturas reprodutivas em R5 e número de legumes por área em R8.

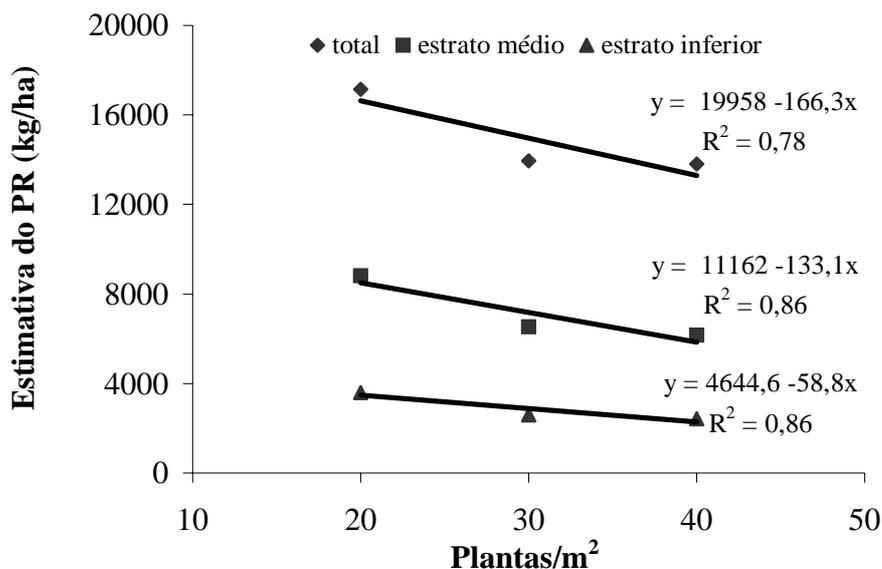


FIGURA 7. Estimativa do potencial de rendimento (PR) no estágio de início do enchimento de grãos da soja, da planta inteira (total), do estrato médio, e inferior do dossel, no espaçamento de 20 cm entre linhas, em três níveis de população de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.

A penetração de luz nos estratos inferiores da comunidade de plantas é considerada por alguns autores o principal fator limitante para o aumento do rendimento da soja. Segundo Sinclair (1994), a disponibilidade de radiação solar define o limite máximo para o rendimento de grãos da cultura por fornecer a energia para a fixação fotossintética do CO₂. O dossel desta cultura se caracteriza por apresentar uma camada superior de folhas densa, que dificulta a penetração da luz no seu interior. Segundo Blad & Baker (1972), no campo, com o fechamento do dossel, a radiação fotossinteticamente ativa torna-se menos disponível para as folhas da camada inferior. Bergamaschi et al. (1981), medindo a penetração de luz no perfil da planta de soja, encontraram que no início do período reprodutivo cerca de 50% da radiação líquida estava disponível ao nível do solo. No entanto, nos estádios R5 e R6, apenas 10% desta radiação atingia a parte inferior da comunidade de plantas e 20% a parte média. Marchezan & Costa (1983), sugerem que a

maior penetração de radiação luminosa no perfil da planta pode ser obtida pelo melhoramento genético ou por meio de práticas de manejo que viabilizem tal objetivo.

A maior penetração de luz no estrato inferior do dossel da soja pode aumentar a produção de estruturas reprodutivas desta cultura, contribuindo para o aumento do rendimento de grãos nesta seção. Shou et al. (1978) constataram aumento no número de legumes no estrato inferior do dossel da soja com utilização de luz artificial.

Outro fator importante é a translocação de fotoassimilados entre as seções do dossel da soja, que poderia compensar a menor disponibilidade de luz para a fotossíntese no estrato inferior. No entanto, segundo Adams (1967), a soja tem pequena translocação internodal dos produtos da fotossíntese, fazendo com que o número de legumes que pode ser fixado em cada inflorescência, dependa diretamente dos fatores que limitam a fotossíntese nesta região, sendo o principal destes a luz.

Alguns autores sugerem a existência de uma unidade nutricional formada por um grupo de nós (estruturas) em soja. Blomquist & Kurst (1971) verificaram que a maior parte do carbono assimilado foi retido no racemo da axila da folha tratada com $^{14}\text{CO}_2$ e no racemo do segundo nó abaixo desta folha, em razão do tipo de venação da soja, em que os nós alternados apresentam maior intercomunicação do que os nós consecutivos. Já, Stephenson & Wilson (1977) observaram que 60 a 70% do $^{14}\text{CO}_2$ assimilado acumulava-se na axila da folha tratada e nos dois nós inferiores e superiores. A presença destas unidades nutricionais pode dificultar a comunicação entre as estruturas reprodutivas nos diferentes estratos, limitando a translocação de fotoassimilados entre unidades nutricionais.

Desta forma, a menor penetração de luz nos estratos inferiores, aliada a existência de unidades nutricionais na soja, com pouca comunicação entre elas, podem ter sido alguns dos fatores responsáveis pelo menor PR observado nos arranjos com espaçamento amplo em relação ao reduzido.

O fato do maior PR ter sido obtido pela combinação da população de 20 plantas/m² e 20 cm de espaçamento entre linhas pode ser resultante da interação entre a competição intraespecífica e as condições meteorológicas. Considerando a competição entre plantas como um fator isolado era de se esperar a obtenção de melhores resultados no arranjo com 30 plantas/m² e 20 cm de espaçamento entre linhas, pois, dentre os arranjos testados, este é o que se aproxima mais da equidistância. No entanto, as condições meteorológicas favoráveis, reinantes no ano, principalmente em relação à pouca deficiência hídrica, podem ter favorecido a combinação da menor população de plantas com o menor espaçamento entre linhas.

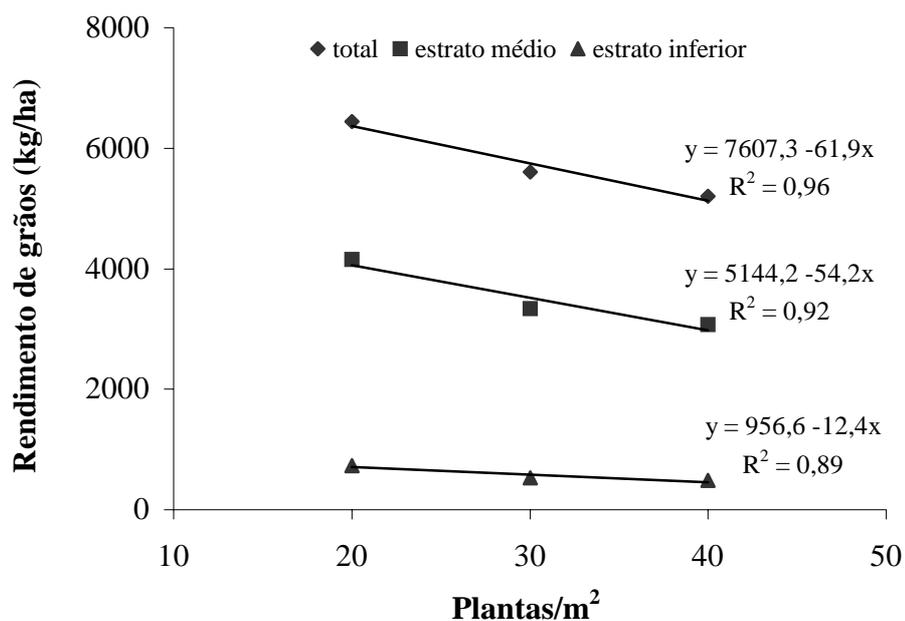


FIGURA 8. Rendimento de grãos da soja da planta inteira (total), do estrato médio, e inferior do dossel no espaçamento de 20 cm entre linhas, em três níveis de população de plantas, média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.

A análise dos componentes utilizados para a estimativa do PR (número de legumes com um, dois, três e sem grãos; peso do grão de legumes com um, dois e três grãos; e estruturas reprodutivas – flores e legumes) possibilitam melhor entendimento dos

resultados obtidos em relação ao PR estimado em R5, no que se refere ao arranjo de plantas.

O número de legumes com um, dois e três grãos da planta inteira foi afetado pela interação de espaçamento entre linhas e população de plantas. O tratamento de 20 cm de espaçamento com 20 plantas/m² apresentou maior número destes legumes em relação ao arranjo com 40 cm, o que foi verificado em todos os estratos do dossel, com exceção do número de legumes com um grão e sem grãos do estrato inferior em que não houve diferença (Tabela 5).

O número de legumes/m² é o componente do rendimento mais variável com a modificação do arranjo de plantas. De acordo com Cooperative..., (1994) é o componente do rendimento que mais sofre modificações pela utilização de práticas de manejo diferenciadas, uma vez que o número de grãos por legume e o peso do grão possuem controle genético substancial e, por isso, apresentam pequena amplitude de variação.

Udoguchi & McCloud (1987) observaram que a diminuição do espaçamento entre linhas de 30 cm para 15 cm aumentou o número de legumes por área, sendo que este incremento proporcionou maior demanda de fotoassimilados. Esta maior demanda, associada ao melhor aproveitamento da radiação solar, resultou em rendimento de grãos mais elevado. Thomas et al. (1998) obtiveram maior rendimento de grãos com a diminuição do espaçamento entre linhas de 40 cm para 20 cm, em solos com teor médio a alto de fósforo, principalmente pela maior produção de legumes por área.

Foi observado, também, que o número de legumes com um, dois e três grãos da planta inteira diminuiu linearmente com o aumento da população de plantas, que pode ser verificado em todos os estratos do dossel da soja, exceto o número de legumes com um grão do estrato inferior (Figura 9). A explicação para este resultado é a mesma já discutida para o PR.

TABELA 5. Número de legumes por m² com um, dois, três e sem grãos por estrato do dossel da cultivar de soja 'BRS 137', em dois espaçamentos entre linhas, na população de 20 plantas/m², na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01

Estrato do dossel (legumes/m ² com um, dois, três e sem grãos)	Espaçamento		
	20 cm	40 cm	
Superior	(sem grão)	4,3 a *	4,6 a
	(um grão)	64,4 a	34,5 b
	(dois grãos)	248,3 a	171,0 b
	(três grãos)	92,6 a	57,0 b
Médio	(sem grão)	7,5 a	8,2 a
	(um grão)	97,5 a	60,1 b
	(dois grãos)	364,2 a	223,7 b
	(três grãos)	290,1 a	178,2 b
Inferior	(sem grão)	1,6 a	1,7 a
	(um grão)	21,2 a	14,4 a
	(dois grãos)	83,4 a	56,8 b
	(três grãos)	66,9 a	41,3 b
Planta inteira	(sem grão)	13,4 a	14,5 a
	(um grão)	183,1 a	109,0 b
	(dois grãos)	695,9 a	451,5 b
	(três grãos)	449,6 a	276,5 b
Total	1342 a	852 b	

*Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

O arranjo de plantas também influenciou o peso do grão da soja, sendo que a combinação da população de 20 plantas/m² com 20 cm de espaçamento entre linhas apresentou maior peso do grão (espresso pelo peso de 100 grãos) dos legumes com um (17,8 g) e dois grãos (19,2 g) da planta inteira, em relação a 40 cm de espaçamento (legumes com um grão da planta inteira = 15,3 g e legumes com dois grãos da planta inteira = 16,7 g), sendo que este comportamento foi observado somente no estrato inferior

com o peso do grão de legumes com dois grãos (Apêndice 1). Este efeito pode ter sido compensatório, isto é, os legumes com menor número de grãos foram compensados pelo aumento no peso do grão. O mesmo pode ser dito para o estrato inferior, que produziu menor número de grãos, compensado por maior peso do grão em legumes com dois grãos.

Observou-se, ainda, resposta dos níveis de população de plantas dentro do espaçamento de 20 cm entre linhas, onde foi verificada diminuição linear do peso do grão de legumes com um e dois grãos da planta inteira com o aumento da população de plantas, o que ocorreu também no estrato inferior com o peso do grão de legumes com dois grãos (Figura 10). Esta resposta provavelmente está relacionada à competição intraespecífica da soja e ao regime hídrico por razões já discutidas anteriormente.

Alguns trabalhos não têm mostrado efeito do arranjo de plantas no peso do grão da soja (Udoguchi & McCloud, 1987; Pires et al., 1998; Thomas et. al., 1998; Ventimiglia et al., 1999; Pires et al., 2000). No entanto, estes estudos não utilizaram todos os níveis populacionais usados neste trabalho e na maioria destes não foi realizada a decomposição do peso do grão de legumes com um, dois e três grãos.

A quantificação do número de estruturas reprodutivas em R5 é importante para a determinação do PR da soja nos estádios reprodutivos. Estas são utilizadas no cálculo da estimativa do PR e têm alta correlação com o valor estimado. Em trabalho conduzido por Pires et al. (2001a), onde foi estimado o PR em 10 cultivares de soja, obteve-se alta correlação entre o PR estimado em R2 com o número de flores ($r= 0,92$), e em R5 com o número de flores e legumes ($r= 0,87$).

Quando foram avaliadas as estruturas reprodutivas (flores e legumes) no estágio R5, verificou-se que o número destas foi influenciado pelo arranjo de plantas. O espaçamento de 20 cm apresentou maior número de estruturas reprodutivas nos três níveis populacionais com aumento linear quando da diminuição da população, o que foi igualmente observado no estrato médio do dossel da soja (Tabela 6 e Figura 11). Estes

resultados ajudam a explicar as respostas obtidas pela estimativa do PR, sendo que as razões que levaram à obtenção destes resultados são as mesmas já discutidas com relação ao PR.

Neste trabalho foi observado, também, o percentual de flores e legumes presentes no estádio R5, em relação ao número de estruturas reprodutivas da planta inteira. Verificou-se que 81% das estruturas eram legumes, sendo que nos estratos superior e médio este percentual era ainda maior (85%). Já no estrato inferior, pôde-se observar maior equilíbrio entre flores (42%) e legumes (58%).

O percentual de estruturas em R5 também diferiu entre os estratos (Tabela 6). O estrato médio apresentou, em média, 1690 estruturas reprodutivas/m², tendo a maior contribuição (47%), seguido pelo estrato superior com média de 1277 estruturas/m² (36%) e inferior com 624 estruturas/m² (17%) na média dos tratamentos. Estes dados são similares aos obtidos por Marchezan (1982) que, somando as estruturas produzidas diretamente nos nós do caule com as estruturas produzidas pelos nós dos ramos que estes nós do caule deram origem, verificou que a porção mediana da planta participou com aproximadamente 50% da atividade reprodutiva, sendo que os nós seis, sete, oito e nove, contados a partir do nó das folhas unifolioladas, registraram os maiores valores de produção e fixação de flores e legumes.

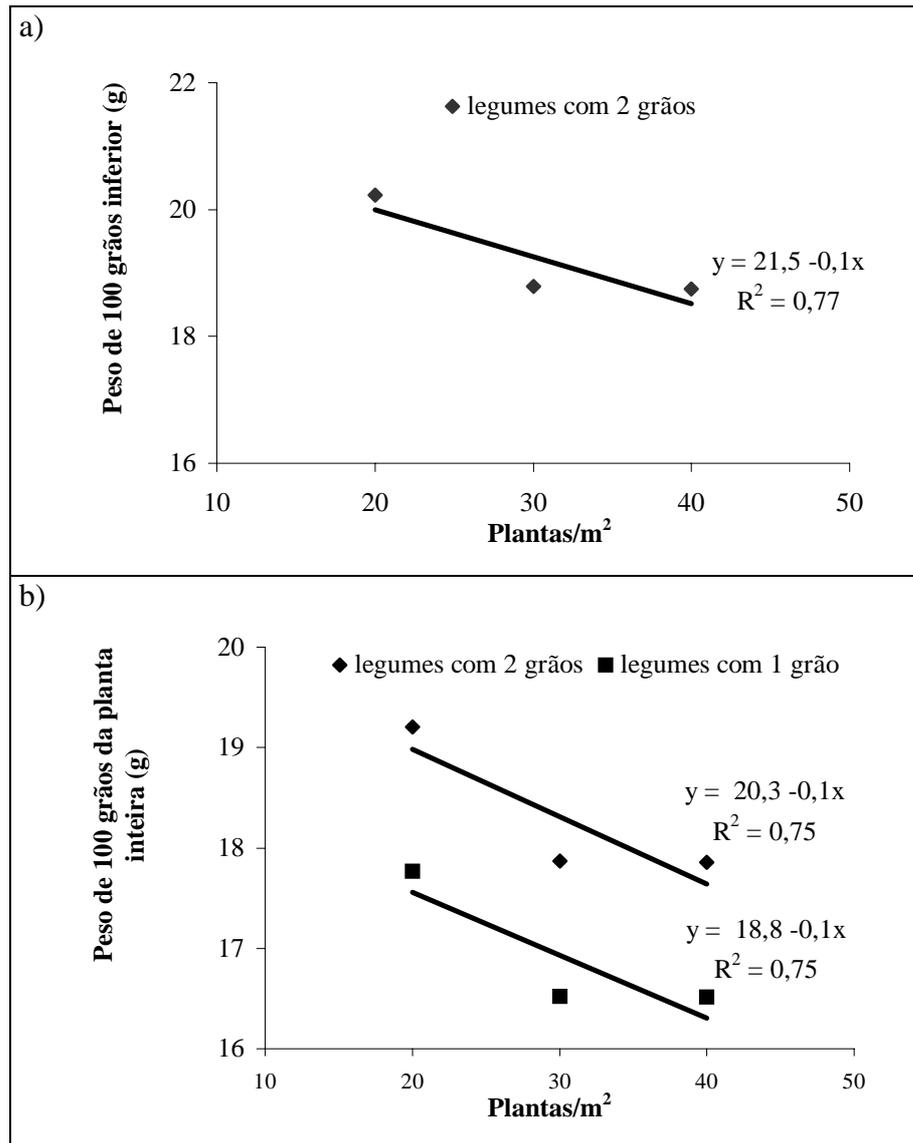


FIGURA 10. Peso de 100 grãos de legumes com dois grãos do estrato inferior do dossel (a) e da planta inteira (b), no espaçamento de 20 cm entre linhas, em três níveis de população de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.

TABELA 6. Número de estruturas reprodutivas, presentes no estádio R5* por estrato do dossel da cultivar de soja ‘BRS 137’ em dois espaçamentos entre linhas e três populações de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01

Estrato do dossel	População (plantas/m ²)					
	20		30		40	
	Espaçamento		Espaçamento		Espaçamento	
	20 cm	40 cm	20 cm	40 cm	20 cm	40 cm
Superior	1244 a**	1016 a	1309 a	1193 a	1448 a	1450 a
Médio	2189 a	1543 b	1739 a	1625 b	1618 a	1429 b
Inferior	807 a	572 a	642 a	598 a	600 a	527 a
Planta inteira	4240 a	3131 b	3690 a	3416 b	3666 a	3406 b

*R5 = início do enchimento de grãos.

**Médias seguidas de mesma letra na linha, dentro de cada nível de população de plantas, não diferem pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade. Coeficiente de variação para níveis de população de 10,7 e 4,8 para espaçamento entre linhas.

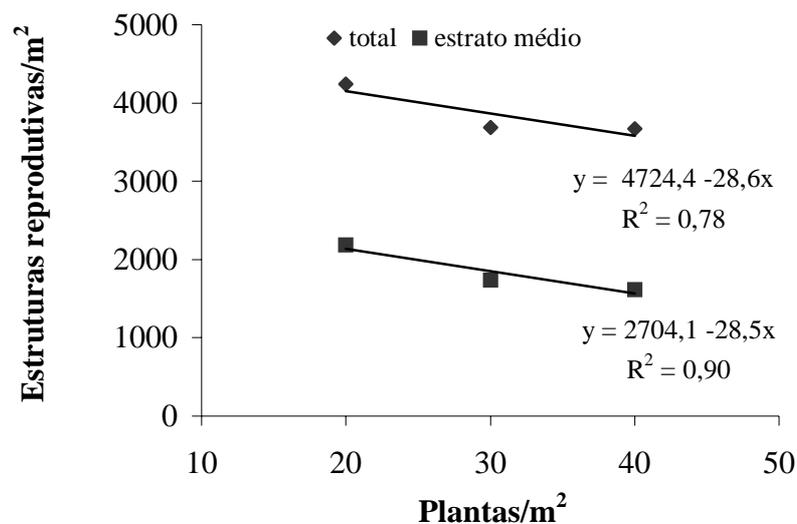


FIGURA 11. Número de estruturas reprodutivas presentes no estádio de início do enchimento de grãos da soja, da planta inteira (total), e do estrato médio do dossel, no espaçamento de 20 cm entre linhas, em três níveis de população de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.

Do total de estruturas reprodutivas produzidas em R5, grande parte não foi mantida pela soja até a maturação. Esta perda reduziu o número de legumes fixados em R8 de forma diferenciada nos estratos do dossel, justificando, em parte, o rendimento de grãos

desigual obtido nos estratos do dossel neste estádio. No estrato médio do dossel foram observados, em média, 534 legumes/m², contribuindo com a maior parte (55%), seguido pelo estrato superior com, em média, 304 legumes/m² (31%) e inferior com 133 legumes/m² na média dos tratamentos (14%) (Tabela 5). Desta forma, considerando a média de estruturas reprodutivas (flores e legumes) contabilizadas em R5 (3591/m²), e que as flores presentes pudessem ser transformadas em legumes e mantidas até R8, bem como que os legumes se mantivessem até este estádio, teve-se um percentual de aborto (flores) mais abscisão (legumes) média de 73%, tomando-se como base a média de legumes observados em R8 (971/m²). Esta perda foi maior no estrato inferior (79%), seguido pelo superior (76%) e médio (68%).

Estes números corroboram a afirmativa de que porção considerável do PR dos genótipos de soja é perdida em razão do aborto e da abscisão das estruturas reprodutivas, reflexo da interação com o ambiente e da competição entre os órgãos por assimilados durante o ciclo de desenvolvimento (Navarro Júnior, 1998).

O grande aborto de flores e abscisão de legumes, observado a partir de R5, pode ser explicado, de forma geral, pela hipótese de Sinclair & De Wit (1976), na qual a produção fotossintética é limitada durante o enchimento de grãos, pela senescência prematura das folhas provocada pela redistribuição de nitrogênio para os grãos. Esta hipótese está de acordo com a teoria da “limitação nutricional”, que explica a forma como as estruturas reprodutivas são fixadas. Esta teoria indica que a capacidade fotossintética da planta (fonte) limita a quantidade de estruturas reprodutivas fixadas (demanda).

Dybing (1994) citou que o fenômeno da grande produção de flores pela soja e sua capacidade de produzir flores após iniciado o enchimento de grãos define a existência de grande potencial produtivo, mas que não se materializa e contribui para o rendimento final

de grãos. Heitholt et al. (1986) sugerem haver grande abscisão de legumes produzidos durante os estádios reprodutivos finais da soja.

O método de estimativa do PR utilizado neste estudo simula melhor a realidade do que os métodos que consideram os fatores limitantes em níveis adequados, pois, em parte, leva em conta os efeitos destes fatores, por meio de sua interação na produção e fixação de estruturas reprodutivas (Pires et al., 2000). No entanto, permite que o valor estimado seja obtido apenas após a colheita da soja, pois necessita de valores do estágio R8 que são usados para estimar o PR no estágio R5. Desta forma, os resultados obtidos poderão ser utilizados para o planejamento da próxima safra, buscando utilizar práticas de manejo que visem diminuir a perda do PR identificado na safra anterior.

Esta metodologia está sendo adaptada para que se possa estimar o PR sem a necessidade de dados do estágio R8, possibilitando que o valor estimado do PR seja obtido já nos estádios reprodutivos iniciais (a partir de R1) (Pires et al., 2001b). Com a consolidação desta metodologia será possível utilizar práticas de manejo que visem manter e/ou amenizar a perda do PR estimado no mesmo ciclo da soja. Contudo, segundo Pires et al. (2001b) há necessidade de maior número de pesquisas para avaliar a capacidade destas metodologias em prever o rendimento, pois em trabalho conduzido por estes autores, não foram observadas, na maioria das vezes, correlações significativas entre o PR em R2 e R5 com o rendimento de grãos em R8.

A metodologia de divisão do dossel da soja, pela planta de maior estatura, parece refletir melhor a estrutura do dossel que a cultura apresenta no campo, representando também, de forma mais fidedigna, o padrão de penetração de luz no dossel descrito na literatura.

2.6. CONCLUSÕES

- a) Com a utilização do espaçamento de 20 cm é possível diminuir a perda de PR a partir do estágio R5, resultando em maior rendimento de grãos em R8.
- b) O arranjo de plantas com menor espaçamento (20 cm) e menor população de plantas (20 plantas/m²) reduz a competição intraespecífica, resultando em maior PR, decorrente do maior número de estruturas reprodutivas (flores e legumes) em R5, número de legumes por área e peso do grão em R8.
- c) Os estratos superior e médio do dossel da soja apresentam maior contribuição para o PR e rendimento de grãos, pela maior presença de estruturas reprodutivas (flores e legumes) em R5 e legumes por área em R8.
- d) A irrigação, mesmo quando aplicada no final do ciclo, reduz a perda do potencial de rendimento (PR) da soja.

CAPÍTULO II

RENDIMENTO DE GRÃOS DA SOJA EM FUNÇÃO DA COMPETIÇÃO INTRAESPECÍFICA

3.1. RESUMO

A identificação do arranjo de plantas que resulte em menor competição intraespecífica permite melhor aproveitamento dos recursos disponíveis para o crescimento e rendimento de grãos da soja. O experimento foi conduzido na Estação Experimental Agronômica da UFRGS em Eldorado do Sul, RS, na estação de crescimento 2000/01, objetivando avaliar como o arranjo de plantas da soja modifica a competição intraespecífica e de que forma isto se reflete no rendimento de grãos e seus componentes. Utilizou-se a cultivar 'BRS 137' (semiprecoce, hábito determinado) em semeadura direta. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com parcelas sub-subdivididas e quatro repetições. Os tratamentos constaram de dois regimes hídricos (irrigado e não irrigado); dois espaçamentos entre linhas (20 e 40 cm), e três populações de plantas (20, 30 e 40 plantas/m²). O rendimento de grãos foi afetado pela irrigação e pela interação espaçamento e população. O tratamento irrigado (5015 kg/ha) apresentou rendimento de grãos 18% superior ao não irrigado (4253 kg/ha). A maior taxa de enchimento de grãos, que resultou no maior peso do grão, explica o maior rendimento obtido no tratamento irrigado. O arranjo de plantas que proporcionou maior rendimento de grãos foi a associação do espaçamento de 20 cm com a população de 20 plantas/m², obtendo-se 5014 kg/ha em comparação a 4322 kg/ha em 40 cm de espaçamento. Houve decréscimo linear no rendimento com o aumento da população de plantas no espaçamento reduzido (20 cm). Estes resultados são consequência do maior número de ramos, nós férteis e de legumes férteis/m² obtidos. O arranjo com 20 cm de espaçamento e 20 plantas/m² amenizou a competição intraespecífica, resultando em maior rendimento de grãos.

Termos para indexação: *Glycine max* (L.) Merrill, espaçamento entre linhas, população de plantas, arranjo espacial.

SOYBEAN YIELD RESPONSE TO INTERPLANT COMPETITION

3.2. ABSTRACT

Plant arrangement that decrease interplant competition can improve soybean growth and yield by better use of resources. The experiment was performed at the Agronomic Experimental Estation of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul, in Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil, in the 2000/01 growing season. The objectives were to evaluate how soybean plant arrangement modify the interplant competition and the effect in grain yield and yield components. The cultivar tested was 'BRS 137' (early, determinate), in no-till planting. The treatments were arranged in a split-plot randomized complete-block design, with four replications. The treatments tested were two water availability (with and without irrigation), two row spacing (20 and 40 cm) and three population levels (20, 30 and 40 plants/m²). The grain yield was affected by irrigation and by the interaction of row spacing and population. The irrigated treatment (5015 kg/ha) had grain yield 18% higher than the non irrigated (4253 kg/ha). The larger grain filling rate (GFR) resulted in larger seed weight, and explain the greater yield in the irrigated treatment. The plant arrangement of 20 cm row spacing with the population of 20 plantas/m² provided the better results (5014 kg/ha compared to 4322 kg/ha in 40 cm row spacing). There was a linear decrease in grain yield with the increase in plant population with reduced row spacing (20 cm). These results can be explained by more branches number, fertil nodes and fertil pods/m² obtained. The arrangement of 20 cm row spacing and 20 plants/m², attenuated the interplant competition resulting in larger grain yield.

Index terms: *Glycine max* (L.) Merrill, row spacing, plant population, plant arrangement.

3.3. INTRODUÇÃO

O arranjo de plantas pode ser modificado pela variação na população e no espaçamento entre linhas, alterando o tamanho e a forma da área disponível para cada planta, o que se reflete em competição intraespecífica diferenciada.

Competição pode ser definida como sendo a apreensão ou retirada conjunta, por duas ou mais plantas, de recursos essenciais ao seu crescimento e desenvolvimento, os quais estão limitados no ecossistema comum (Pitelli, 1981).

Trabalhos com população de plantas em soja não têm mostrado efeito no rendimento de grãos, utilizando populações que variaram de 8 até 63 plantas/m² (Rubin, 1997; Pires et al., 1998). A inexistência de resposta diferenciada para rendimento de grãos à variação da população da soja está intimamente relacionada com a plasticidade fenotípica que esta cultura apresenta. Segundo Cooperative... (1994), a plasticidade consiste na capacidade da planta alterar sua morfologia e componentes do rendimento, a fim de adequá-los à condição imposta pelo arranjo de plantas e/ou fatores do ambiente que atuam durante a ontogenia dos componentes.

No entanto, Wells (1993) relata que a habilidade da soja para compensar o aumento do espaço disponível diminui sob condições adversas, necessitando, nesta situação, de maior população. Dentre estas condições adversas, particularmente para o Rio Grande do Sul, destaca-se a deficiência hídrica. Cunha et al. (1999) demonstraram que a disponibilidade hídrica é um variável que limita a expressão do potencial de rendimento da

soja neste estado, independentemente do ciclo da cultivar, da época de semeadura e do local. Estes autores afirmam que as maiores perdas ocorrem na metade sul e na parte oeste, comparativamente às regiões norte e leste do estado.

Carpenter & Board (1997), em experimento que tinha como objetivo determinar os mecanismos responsáveis pela compensação do rendimento por planta, para variações na população, concluíram que os ajustes no rendimento decorrentes de mudanças na população, foram devidos a alterações no número de legumes por planta. Estes ajustes resultaram da modificação na matéria seca dos ramos, que afetou o número de nós reprodutivos. O rendimento e matéria seca dos ramos por planta estavam altamente correlacionados.

Em outros trabalhos foi observada variação no rendimento com a modificação do número de plantas por área. Marques (1981), testando três populações de plantas (25, 35 e 45 plantas/m²), três espaçamentos entre linhas e quatro níveis de irrigação, obteve efeito significativo do fator população sobre o rendimento de grãos por área e número de legumes por planta, justificando tal resultado pela variação ocorrida no rendimento por planta e número final de plantas, nas populações empregadas. Herbert & Litchfield (1982), trabalhando com variação na população de plantas e espaçamentos entre linhas, obtiveram aumento de 27% no rendimento com o aumento da população de plantas de 21 para 68 plantas/m².

A redução do espaçamento entre linhas tem se constituído numa prática vantajosa, onde, na maioria dos experimentos, houve incremento do rendimento. Diversos trabalhos utilizando espaçamentos entre linhas de 17 até 100 cm, têm verificado acréscimos de até 40% no rendimento (Taylor, 1980; Herbert & Litchfield, 1982; Ethredge et al. 1989; Board et al., 1990a; Pires et al., 1998; Ventimiglia et al., 1999) com a redução do espaçamento.

Este aumento no rendimento tem sido associado a vários fatores, como a melhor eficiência do uso da água devido ao sombreamento mais rápido do solo, melhor distribuição de raízes, redução da competição intraespecífica, maior habilidade de competição com plantas daninhas, exploração mais uniforme da fertilidade do solo e maior e mais antecipada interceptação da radiação solar.

Poucos trabalhos foram realizados associando a redução do espaçamento entre linhas com diminuição na população de plantas, razão pela qual o presente trabalho teve como objetivos avaliar como o arranjo de plantas da soja modifica a competição intraespecífica e de que forma isto se reflete no rendimento de grãos e seus componentes.

3.4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), localizada no município de Eldorado do Sul, RS.

O solo da área experimental pertence à unidade de mapeamento São Jerônimo, classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (Embrapa, 1999). As principais características físico-químicas do solo da área experimental eram: argila = 29%; pH = 5,1; índice SMP = 5,8; P = 11 mg/L; K = 186 mg/L; matéria orgânica = 2,2%; Al = 0,2 cmol_c/L; CTC = 10,1 cmol_c/L. A adubação foi realizada de acordo com os mesmos procedimentos utilizados no Capítulo 1.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com parcelas sub-subdivididas e quatro repetições. Os tratamentos constaram de dois regimes hídricos (irrigado e não irrigado); dois espaçamentos entre linhas (20 e 40 cm), e três populações de plantas (20, 30 e 40 plantas/m²).

Utilizou-se a cultivar ‘BRS 137’, de ciclo semi-precoce e hábito de crescimento determinado. O experimento foi instalado em semeadura direta, em solo com cobertura de 5800 kg/ha de aveia preta mais ervilhaca, no início do experimento. As sementes foram tratadas com fungicida e inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* em meio turfoso. A semeadura foi realizada na época recomendada preferencial, com semeadora de parcelas. Aos 15 dias após emergência, quando as plantas estavam no estágio V2 (Costa & Marchezan, 1982) realizou-se o desbaste, ajustando-se para as populações desejadas.

O controle de plantas daninhas foi realizado pela utilização dos herbicidas clethodim (96 g/ha de i.a.) e imazethapyr (100 g/ha de i.a.). O controle de insetos pragas foi efetuado com endossulfam (437,5 g/ha de i.a.), sendo a lagarta da soja (*Anticarsia gemmatalis*), broca-das-axilas (*Epinotia aporema*) e percevejos (*Nezara viridula* e *Piezodorus guildinii*), os principais insetos pragas predominantes na área.

A umidade do solo foi monitorada com tensiômetros, realizado-se a irrigação por aspersão quando a tensão da água ultrapassava o limite de – 0,05 MPa. O sistema de irrigação consistiu de aspersores fixos com raio de ação de seis metros e vazão média de 10 mm/h.

Os dados meteorológicos foram obtidos nos boletins da Estação Meteorológica do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia/UFRGS, situada a um quilômetro do local do experimento e da Estação Experimental de Taquari, RS (FEPAGRO/SCT-RS). O balanço hídrico foi calculado em base decendial pelo método de Thorntwaite & Mather (1955), com utilização das planilhas de cálculo do aplicativo EXCEL, propostas por Rolim et al. (1998), considerando-se a capacidade de armazenamento de água disponível no solo de 50 mm (Figura 3 – Capítulo I).

As determinações foram realizadas de acordo com a metodologia proposta por Costa (1993), levando-se em conta, para caracterizar os estádios fenológicos da soja, a escala de desenvolvimento apresentada por Costa & Marchezan (1982).

O rendimento de grãos (kg/ha) foi obtido pela colheita de duas e quatro linhas centrais de cada sub-subparcela, nos espaçamentos de 40 e 20 cm entre linhas, respectivamente. Descontou-se as bordaduras de 50 cm em cada extremidade de linhas. O peso de grãos foi corrigido para 13 % de umidade e para um hectare.

As determinações do número de legumes e de nós férteis e número de ramos em R8, foi efetuada pela contagem destes componentes em 10 plantas da área útil e os valores expressos por m². O peso de 100 grãos foi obtido pela pesagem de quatro amostras de 100 grãos coletadas aleatoriamente dos grãos colhidos na área útil de cada sub-subparcela e corrigidos para 13 % de umidade. O número de grãos por legume fértil foi calculado dividindo-se o número de grãos pela quantidade de legumes férteis encontrados por planta. Para o cálculo da taxa de enchimento de grãos (TEG) foram utilizados os dados obtidos no período reprodutivo, aplicados à fórmula proposta por Costa et al. (1991).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, pelo teste F, sendo a diferença entre médias de tratamentos comparada pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade para os fatores irrigação e espaçamento entre linhas. O fator população de plantas foi comparado por análise de regressão.

3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização de irrigação neste trabalho tinha como objetivo criar dois ambientes diferenciados. O ano agrícola apresentou condições de precipitação favoráveis durante maior parte do ciclo da soja. Ocorreu deficiência hídrica somente no final do ciclo (Figura

3 – Capítulo I), mais precisamente no estágio R6 (máximo volume de grãos), que foi praticamente eliminada por três irrigações. Mesmo tendo-se irrigado somente neste período, o tratamento irrigado (5015 kg/ha) apresentou rendimento de grãos 18% superior ao não irrigado (4253 kg/ha). Esta resposta ocorreu em função da maior TEG do tratamento irrigado, que resultou em grãos mais pesados, refletindo-se em maior rendimento de grãos (Tabela 1). Os demais componentes do rendimento (Tabela 1) não foram afetados pelo regime hídrico por ter-se aplicado o tratamento irrigado somente no estágio R6, quando estes já estavam praticamente definidos.

TABELA 1. Rendimento de grãos, componentes do rendimento e taxa de enchimento de grãos (TEG) da cultivar de soja ‘BRS 137’ em dois regimes hídricos, na média de dois espaçamentos entre linhas e três populações de plantas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01

Regime hídrico	Irigado	Não irrigado
Rendimento de grãos (kg/ha)	5015 a*	4253 b
Legumes férteis/m ²	984 a	934 a
Grãos/legume	2,20 a	2,20 a
Peso de 100 grãos (g)	19,0 a	15,6 b
TEG (g/m ² /dia)	13,5 a	11,9 b

*Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

A deficiência hídrica durante o enchimento de grãos reduz o tamanho e peso de grãos, devido à diminuição do suprimento de fotoassimilados pela planta e/ou inibição do metabolismo do grão (Salinas et al., 1996). O rendimento pode ser reduzido pela diminuição da atividade fotossintética da folha e pela menor remobilização de C e N para o grão (Souza et al., 1997).

Em trabalho conduzido por Desclaux et al. (2000), foi observada redução no peso do grão em função do estresse hídrico ocorrido no período de enchimento de grãos da soja.

Este estresse pode ser amenizado pela irrigação, o que é confirmado em trabalhos onde a irrigação aumentou o peso do grão (Thomas & Costa, 1994; Maehler, 2000).

Houve resposta do rendimento de grãos para a interação de espaçamento entre linhas e população de plantas (Tabela 2). O arranjo de plantas que apresentou maior rendimento foi a combinação da população de 20 plantas/m² com o espaçamento de 20 cm (5014 kg/ha), em comparação ao espaçamento de 40 cm (4322 kg/ha), nesta mesma população. O maior rendimento obtido neste arranjo pode ser relacionado com a diminuição da competição intraespecífica.

TABELA 2. Rendimento de grãos e características agronômicas da cultivar de soja 'BRS 137' sob diferentes arranjos de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01

População (plantas/m ²)	20		30		40	
	20	40	20	40	20	40
Rendimento (kg/ha)	5014 a*	4322 b	4686 a	4618 a	4581 a	4581 a
N ^o de ramos/m ²	150 a	92 b	110 a	99 b	94 a	90 a
Nós férteis/m ²	67 a	41 b	49 a	44 b	42 a	40 a
Legumes férteis/m ²	1329 a	837 b	986 a	909 a	850 a	844 a
Grãos/legume	2,20 a	2,20 a	2,21 a	2,20 a	2,19 a	2,19 a
Peso 100 grãos (g)	18,5 a	16,4 b	17,4 a	17,1 a	17,4 a	16,8 a
TEG (g/m ² /dia)	15,7 a	10,7 b	13,7 a	12,1 b	12,7 a	11,4 a

*Médias seguidas de mesma letra, na linha (para cada nível de população), não diferem pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

A melhor distribuição das plantas na área proporcionada pela redução do espaçamento entre linhas, aproveitando melhor a área, diminui a competição entre plantas da soja (Figura 1). Com a diminuição do espaçamento entre linhas, as plantas ficam menos

adensadas nas linhas, aproveitando melhor o espaço das entre linhas, explorando melhor os recursos do meio, como água, radiação e nutrientes, pois as raízes podem explorar de forma mais uniforme o solo, bem como, ocorre o fechamento mais antecipado das entre linhas. Isto faz com que ocorra maior eficiência do uso da água e maior interceptação da radiação solar. Ethredge et al. (1989) obtiveram maiores rendimentos com espaçamentos estreitos do que largos em experimentos com soja, atribuindo esta resposta à maior equidistância das plantas com espaçamentos reduzidos, diminuindo a competição intraespecífica. Segundo Pires et al. (1998), a redução na competição ocorre, principalmente, por luz, mas também permite melhor aproveitamento de água, interceptação mais antecipada da radiação e maior exploração do solo pelas raízes. Nas demais populações não houve resposta para o espaçamento entre linhas.

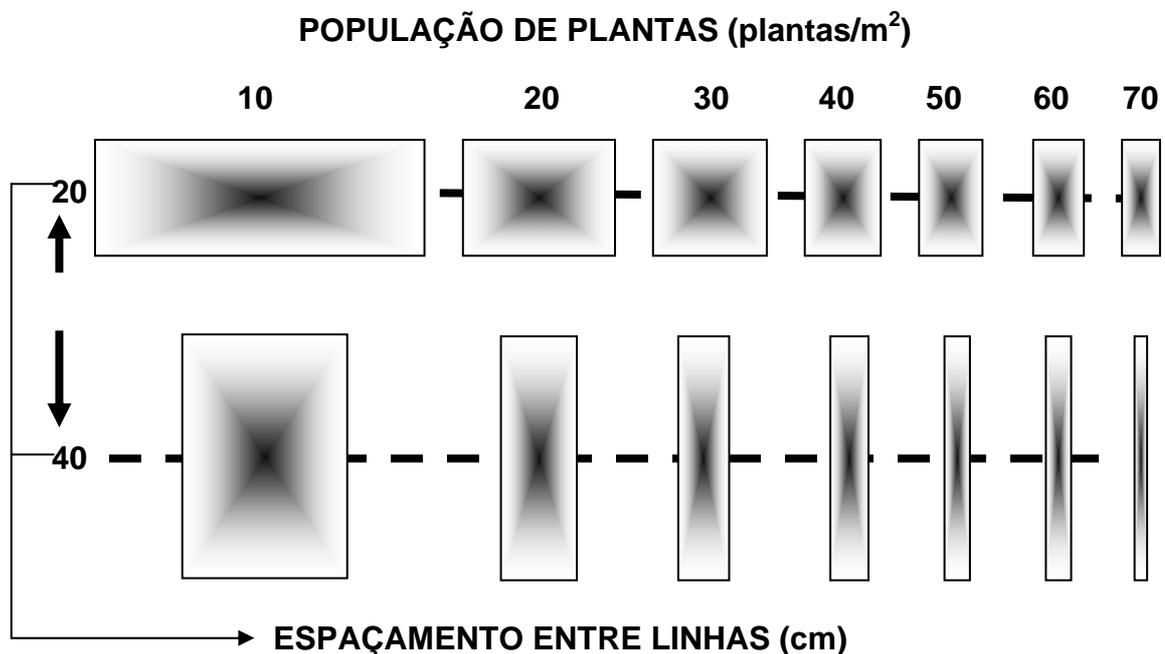


FIGURA 1. Representação esquemática da área disponível para cada planta em vários arranjos de plantas (combinação de diferentes populações de plantas com os espaçamentos de 20 e 40 cm entre linhas).

Considerando a competição entre plantas como um fator isolado, era de se esperar melhores resultados com o arranjo de 30 plantas/m² com 20 cm de espaçamento entre linhas, pois este se aproxima mais da equidistância entre plantas (Figura 1). No entanto, as condições meteorológicas favoráveis, reinantes no ano, principalmente em relação à pouca deficiência hídrica, podem ter favorecido a combinação da menor população de plantas com o menor espaçamento entre linhas.

Maehler (2000) não obteve aumento no rendimento com a redução do espaçamento entre linhas de 40 cm para 20 cm, utilizando a população de 40 plantas/m². Conforme salientado por este autor, a redução do espaçamento entre linhas pode não trazer benefícios em rendimento, mas também não o reduz, fato importante, já que esta prática não aumenta os custos de produção da lavoura.

No espaçamento reduzido (20 cm) verificou-se diminuição linear no rendimento de grãos com o aumento da população de plantas (Figura 2a). Ethredge et al. (1989) obtiveram redução linear no rendimento de grãos do caule e dos ramos das plantas de soja com o aumento da população de plantas. Esta diminuição pode não acarretar diminuição no rendimento por área, pois o maior número de plantas compensaria o menor rendimento por planta, o que não foi observado neste trabalho.

Os rendimentos obtidos, com a modificação do arranjo de plantas, se devem a modificações morfofisiológicas, podendo ser melhor entendidas com a análise dos componentes do rendimento e da morfologia da planta. A redução do espaçamento entre linhas aumentou o número de ramos em relação a 40 cm, nas populações de 20 e 30 plantas/m² (Tabela 2). O número de ramos teve diminuição linear com o aumento da população de plantas, como reflexo da competição entre plantas (Figura 2b). Board et al. (1990b) afirmam que, para uma mesma população de plantas, a diminuição do espaçamento entre linhas da soja aumenta o número e o comprimento dos ramos.

Segundo Ballaré et al. (1995) o crescimento das plantas é modificado pela população de plantas, sendo que isto ocorre, em parte, por mecanismos que usam informações sobre a luz do ambiente, por meio de fotosensores específicos. Exemplificam que, com o aumento da população, ocorrem mudanças na relação vermelho extremo/vermelho, que atuarão como sinais para que a planta diminua o número de ramos.

O número de ramificações por planta da soja e seu desenvolvimento está correlacionado com a competição intraespecífica por fatores do meio como água, luz e nutrientes (Thomas et al., 1998). Parvez et al. (1989) observaram que, para um mesmo espaçamento entre linhas, a diminuição da população de plantas de soja de 40 para 20 e 10 plantas/m² aumentou o número e o comprimento total de ramos.

O maior número de ramos observado em alguns tratamentos pode ter sido responsável pelo aumento linear no número de nós férteis, com a diminuição da população de plantas dentro de 20 cm de espaçamento (Figura 2c), bem como o maior número destes obtido nas populações de 20 e 30 plantas/m² combinado com 20 cm em comparação a 40 cm (Tabela 2).

Neste trabalho o maior número de ramos obtido nos tratamentos com maior rendimento, pode ter proporcionado maior número de locais para formação de estruturas reprodutivas, resultando em maior número de legumes férteis (Tabela 2 e Figura 2d), contribuindo para o aumento no rendimento. Carpenter & Board (1997) concluíram que os ajustes no rendimento por planta, decorrentes de mudanças na população, foram devido a alterações no número de legumes nos ramos. Estes ajustes resultaram de alterações da matéria seca dos ramos por planta, que afetou o número de nós reprodutivos dos ramos. O número de legumes é o componente do rendimento que mais sofre modificações pela utilização de práticas de manejo diferenciadas (Cooperative..., 1994). Thomas (1992) afirma que os legumes produzidos nos ramos da planta de soja contribuem com até 70% do rendimento de grãos. Herbert & Litchfield (1982) concluíram que a contribuição dos ramos para o rendimento, em relação ao total da planta, foi de 30 a 40% em baixas populações e de 5 a 16% em populações médias e altas.

A maior demanda de fotoassimilados proporcionada pelo maior número de legumes pode ter sido suprida nos tratamentos com menor competição intraespecífica, principalmente por luz. O dossel da soja se caracteriza por apresentar uma camada superior de folhas que dificulta a penetração de luz nos estratos inferiores. Bergamaschi et al. (1981), medindo a penetração de luz no perfil do dossel, verificaram que, no início do período reprodutivo, cerca de 50% da radiação líquida estava disponível no nível do solo.

Nos estádios R5 (início do enchimento de grãos) e R6, apenas 10% desta radiação atingia a parte inferior da comunidade de plantas e 20% a parte média.

Neste trabalho os arranjos de plantas que proporcionaram melhor distribuição das plantas na área podem ter aumentado a penetração de luz nos estratos inferiores do dossel da soja, aumentando a produção fotossintética, contribuindo com o aumento no rendimento de grãos, como foi caracterizado no potencial de rendimento (Capítulo I). Pires et al. (1998), em trabalho objetivando avaliar os efeitos do arranjo de plantas e níveis de adubação sobre os componentes do rendimento e rendimento de grãos da soja, comentam que, embora não tenham sido avaliadas características relacionadas com a penetração de luz na comunidade de plantas, ficou evidente que ocorrera maior captação de luz.

O número de grãos por legume não sofreu alterações com a modificação do arranjo de plantas (Tabela 2). Board et al. (1990a) observaram que o tamanho do grão e o número de grãos por legume não foram afetados pelo arranjo de plantas, explicando que isto ocorreu em função destes componentes serem determinados no final do ciclo reprodutivo da soja. Tanto o número de grãos por legume como o peso do grão estão sob controle genético substancial e por isso tem pequena variação (Cooperative..., 1994). Contrariamente a esta afirmação e aos resultados obtidos por alguns autores (Pires et al., 1998; Thomas et al., 1998; Maehler, 2000), o peso do grão (expresso pelo peso de 100 grãos) variou em função da interação do fator espaçamento entre linhas e população de plantas (Tabela 2 e Figura 3a). Alguns trabalhos mostraram que o peso do grão é alterado pelo arranjo de plantas. Moore (1991) observou que o peso e o tamanho dos grãos aumentaram quando o espaçamento entre plantas era equidistante, e que este aumento ocorreu também com a diminuição da população. Resultados semelhantes foram obtidos por Wright et al. (1984), que objetivando relacionar a população de plantas da soja, sob dois sistemas de cultivo (plantio direto e convencional), com o rendimento de grãos,

verificaram que o peso do grão diminuiu com aumento da população de plantas nos dois sistemas avaliados.

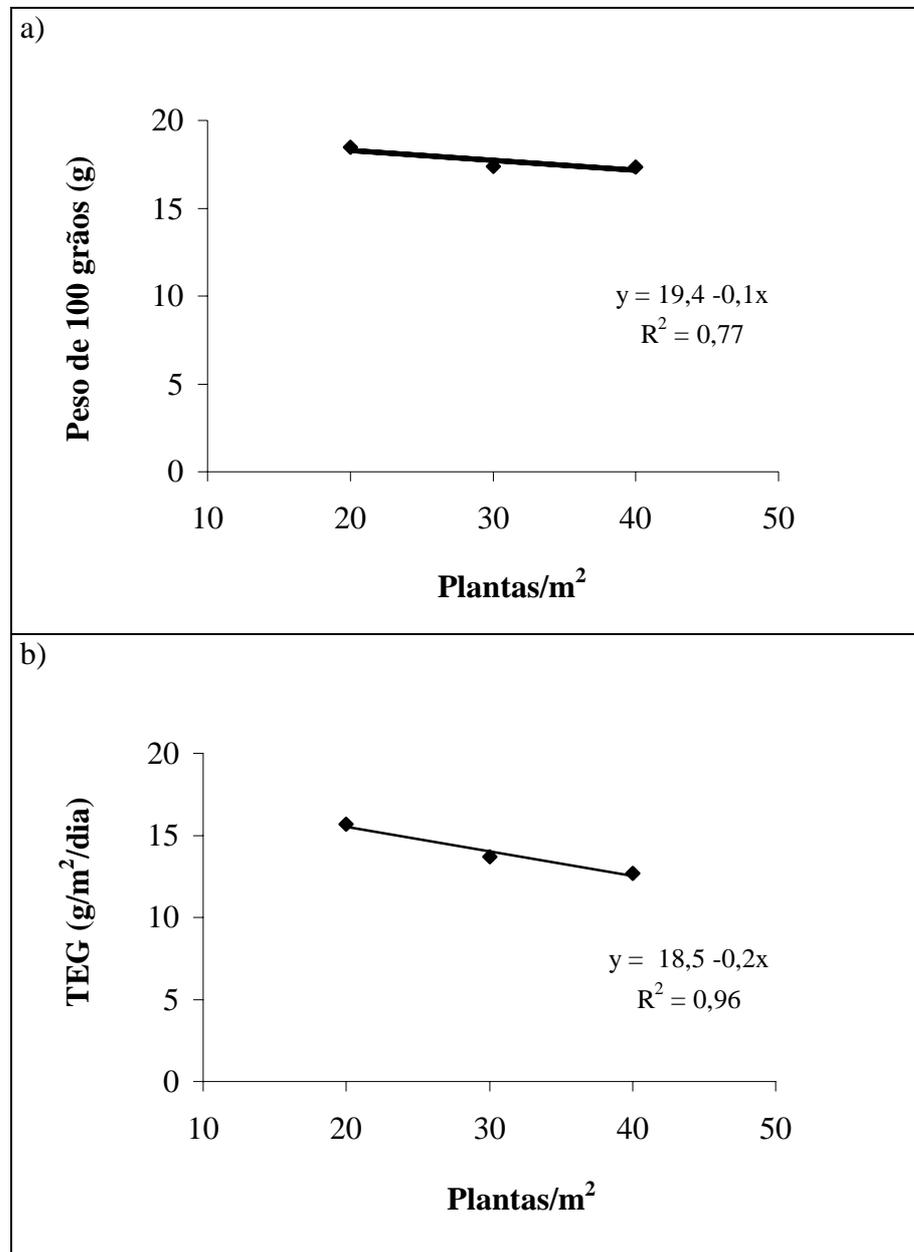


FIGURA 3. Peso de 100 grãos (a) e taxa de enchimento de grãos (TEG) (b), no espaçamento de 20 cm entre linhas, em três níveis de população de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.

As respostas obtidas quanto ao peso do grão neste trabalho estão relacionadas com a TEG (Tabela 2 e Figura 3b), que apresentou resultados similares aos obtidos nesta variável. Pires (1998) observou uma taxa média de enchimento de grãos 25% superior em espaçamento entre linhas reduzido (20 cm), comparado com 40 cm. Já Maehler (2000) não obteve diferenças significativas, em experimento utilizando estes dois espaçamentos entre linhas, no que se refere a esta variável.

Os resultados obtidos nos arranjos com maior rendimento de grãos se devem ao maior número de ramos, de nós férteis e de legumes férteis, à TEG e ao peso do grão superiores. Estas respostas foram obtidas sob condições meteorológicas favoráveis ao crescimento da soja, principalmente em relação à precipitação, havendo a necessidade de se realizar também este trabalho sob condições ambientais adversas.

3.6. CONCLUSÕES

- a) O arranjo de plantas com menor espaçamento e população de plantas proporciona menor competição intraespecífica, resultando em maior rendimento de grãos.
- b) Menor população de plantas em espaçamento reduzido aumenta o rendimento de grãos pelo maior número de legumes férteis/m², associado ao maior peso do grão.
- c) O déficit hídrico afeta o rendimento da soja, mesmo ocorrendo no final do ciclo, quando diminui o peso do grão.

CAPÍTULO III

CRESCIMENTO E RENDIMENTO DE GRÃOS DA SOJA POR ESTRATO DO DOSSEL EM FUNÇÃO DO ARRANJO DE PLANTAS

4.1. RESUMO

Arranjos que possibilitem melhor distribuição das plantas na área, proporcionando maior crescimento da soja no período vegetativo, resultam em maior rendimento de grãos. O experimento foi conduzido na Estação Experimental Agronômica da UFRGS em Eldorado do Sul, RS, na estação de crescimento 2000/01, objetivando avaliar o padrão de crescimento da soja, com a modificação do arranjo de plantas, por estrato do dossel e a forma com que estas novas condições podem influenciar o rendimento de grãos. Utilizou-se a cultivar 'BRS 137' (semiprecoce, hábito determinado) em semeadura direta. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com parcelas sub-subdivididas e quatro repetições. Os tratamentos constaram de regimes hídricos (irrigado e não irrigado); espaçamentos entre linhas (20 e 40 cm), e populações de plantas (20, 30 e 40 plantas/m²). Para avaliação dos atributos de crescimento (índice de área foliar, massa seca e taxa de crescimento da cultura), do rendimento de grãos e seus componentes, por estrato do dossel, foram coletadas dez plantas, em seqüência na linha, de cada sub-subparcela. O rendimento de grãos foi aumentado pela irrigação e houve interação entre espaçamentos e populações. O arranjo de plantas que resultou no maior rendimento de grãos foi a associação entre o espaçamento de 20 cm e a população de 20 plantas/m². Houve decréscimo linear no rendimento com o aumento da população de plantas no espaçamento reduzido (20 cm). Respostas similares foram obtidas nos estratos médio e inferior do dossel. Estes resultados são consequência do maior índice de área foliar, massa seca e taxa de crescimento da cultura verificados no período vegetativo da soja, principalmente nos estrato médio e inferior do dossel.

Termos para indexação: *Glycine max* (L.) Merrill, componentes do rendimento, espaçamento entre linhas, população de plantas.

GROWTH AND GRAIN YIELD BY SOYBEAN CANOPY STRATUM IN RESPONSE TO PLANT ARRANGEMENT

4.2. ABSTRACT

Plant arrangement that allow better plant distribution in the area improve the plant growth, resulting in larger grain yield. The experiment was performed at the Agronomic Experimental Estation of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul, in Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil, in the 2000/01 growing season. The objectives were to evaluate the soybean growth by canopy stratum in response to plant arrangement and the effect in grain yield. The cultivar tested was BRS 137 (early, determinate), in no-till planting. The treatments were arranged in a split-splitplot randomized complete-block design, with four replications. Water availability (irrigate and no irrigated), row spacing (20 and 40 cm) and population levels (20, 30 and 40 plants/m²) were tested. Growth attributes (leaf area index, dry matter and crop growth rate), grain yield and yield components, by soybean canopy stratum, were determined in samples of ten plants, in sequence in the row, in each sub-subplot. Grain yield was increased by irrigation and was detected interaction between row spacing and plant population. The plant arrangement of 20 cm row spacing and population of 20 plants/m² resulted in greater grain yield. There was a linear decrease in grain yield with the increase in population, with reduced row spacing (20 cm). The same was also noticed at the medium and bottom stratum. These results were consequence of the higher leaf area index, dry matter, and crop growth rate obtained in the soybean vegetative period, mainly in the medium and bottom canopy stratum.

Index terms: *Glycine max* (L.) Merrill, yield components, row spacing, plant population.

4.3. INTRODUÇÃO

A análise do crescimento é importante na avaliação dos efeitos de sistemas de manejo sobre as plantas, pois descreve mudanças na produção vegetal em função do tempo, o que não é evidenciado com o simples registro do rendimento (Urchei et al., 2000).

As condições ambientais que predominam durante o período de crescimento, particularmente a intensidade e qualidade da luz interceptada pelo dossel, são importantes na determinação do crescimento e do rendimento da soja e seus componentes (Board & Harville, 1992; Board & Harville, 1996; Mathew et al., 2000; Purcell, 2000).

A arquitetura do dossel da soja é determinante da capacidade fotossintética (Wells, 1991). Esta cultura caracteriza-se por apresentar uma camada superior de folhas densa que dificulta a penetração de luz nos estratos inferiores. Bergamaschi et al. (1981), verificaram que no início do período reprodutivo, cerca de 50% da radiação líquida atingia a superfície do solo. No entanto, nos estádios R5 (início do enchimento de grãos) e R6 (máximo volume de grãos), 20% chegava à parte média da comunidade de plantas e apenas 10% à parte inferior.

A estrutura do dossel pode ser modificada pelas condições meteorológicas, arranjo de plantas e pelo melhoramento, com a alteração da morfologia das plantas (Wells, 1993). Arranjos que proporcionem melhor distribuição das plantas na área, podem aumentar a penetração de luz no dossel da soja, incrementando a produção de fotoassimilados,

refletindo-se em maior rendimento de grãos. Segundo Wells (1993) a maximização do rendimento de grãos é dependente do arranjo de plantas capaz de acumular um nível mínimo de massa seca total e/ou capacidade de interceptação de luz durante o período de crescimento vegetativo e início do reprodutivo da soja, sendo que esta capacidade depende de vários fatores, como condições meteorológicas, época de semeadura, cultivar e arranjo de plantas.

A maior e mais rápida interceptação da radiação solar pelo dossel da soja, tem sido citada por alguns autores como um dos principais fatores responsáveis pelo aumento no rendimento de grãos, com a utilização de espaçamentos estreitos. (Taylor et al., 1982; Board et al., 1990a; Board et al., 1992; Bullock et al., 1998). De acordo com Boote & Tollenaar (1994) é importante que a planta de soja tenha vigor inicial suficiente, para que possa atingir o nível crítico de índice de área foliar (95% de interceptação da radiação) antes do início do enchimento de grãos. Arranjos de plantas com espaçamento reduzido, que se beneficiam de menor competição intraespecífica inicial, proporcionada pela maior equidistância entre plantas, quando associados com a população adequada, resultam no fechamento do dossel antes do período reprodutivo da soja (Wells, 1993).

Existe relação linear entre o rendimento de grãos e a massa seca acumulada pelo dossel da soja até o início de enchimento de grãos, sendo 500 g/m^2 de massa seca o valor mínimo necessário neste estágio, para que se obtenha rendimento elevados (Egli et al., 1987). Ball et al. (2000a) relataram que maior quantidade de fitomassa pode aumentar o rendimento de grãos da soja, pois o rendimento é determinado pelo produto da fitomassa e índice de colheita, sendo que este último não tem sido muito modificado. A matéria seca acumulada, por unidade de área, pela soja, aumenta com a diminuição do espaçamento entre linhas, quando a cultura tem suas exigências nutricionais supridas adequadamente (Udoguchi & McClound, 1987).

A importância relativa do arranjo de plantas para atingir o fechamento do dossel depende da magnitude dos fatores que limitam o crescimento (por exemplo: radiação, água, temperatura). Dentre estes, particularmente para o Rio Grande do Sul, a disponibilidade hídrica é uma variável que limita a expressão do potencial de rendimento da soja (Cunha et al., 1999).

O presente trabalho teve como objetivos avaliar o padrão de crescimento da soja, com a modificação do arranjo de plantas, por estrato do dossel e a forma com que estas novas condições podem influenciar o rendimento de grãos.

4.4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), localizada no município de Eldorado do Sul, RS, em solo pertencente à unidade de mapeamento São Jerônimo, classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (Embrapa, 1999). A adubação foi realizada de acordo com os mesmos procedimentos utilizados no Capítulo 1.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas e quatro repetições. Os tratamentos constaram de níveis de irrigação (irrigado e não irrigado); espaçamentos entre linhas (20 e 40 cm), e populações de plantas (20, 30 e 40 plantas/m²).

Utilizou-se a cultivar 'BRS 137', de ciclo semi-precoce e hábito de crescimento determinado. O experimento foi instalado em semeadura direta, em solo com cobertura de 5800 kg/ha de aveia preta mais ervilhaca, no início do trabalho. As sementes foram tratadas com fungicida e inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* em meio turfoso. A

semeadura foi realizada na época recomendada preferencial, com semeadora de parcelas. Aos 15 dias após a emergência, quando as plantas estavam no estágio V2 (Costa & Marchezan, 1982) realizou-se o desbaste, ajustando-se para as populações desejadas.

O controle de plantas daninhas foi realizado com os herbicidas clethodim (96 g/ha de i.a.) e imazethapyr (100 g/ha de i.a.). Os insetos pragas foram controlados com endossulfam (437,5 g/ha de i.a.), sendo a lagarta da soja (*Anticarsia gemmatalis*), broca-das-axilas (*Epinotia aporema*) e percevejos (*Nezara viridula* e *Piezodorus guildinii*), os principais insetos pragas predominantes na área.

As unidades experimentais com suplementação hídrica, receberam irrigação com aspersores fixos com um raio de irrigação efetiva de seis metros e vazão média de 10 mm/h. A umidade do solo foi monitorada por tensiômetros, sendo que a irrigação foi efetuada sempre que a tensão da água do solo ultrapassava o limite de $-0,05$ MPa.

As determinações dos atributos de crescimento (massa seca e área foliar) componentes do rendimento (número de legumes, de grãos por legume e peso do grão) e do rendimento de grãos foram realizadas por estrato do dossel da soja (Figura 1 – Capítulo I). Para tanto, nos estádios avaliados foram coletadas 10 plantas previamente marcadas em seqüência na linha de cada sub-subparcela. As plantas foram colocadas lado a lado, sobre uma tábua graduada em centímetros, simulando a disposição que se encontravam no dossel (no campo). Efetuou-se a estratificação destas plantas em três planos paralelos, com base na planta de maior estatura.

A estratificação das plantas, com base na planta de maior estatura, visava dividir o dossel da soja em três seções de mesma altura. Para tanto, seccionou-se o caule, ramos e folhas em dois planos paralelos a $1/3$ e $2/3$ da estatura das plantas (Figura 1 – Capítulo I). Esta metodologia foi utilizada com o objetivo de representar melhor a estrutura do dossel da soja no campo, objetivando refletir de forma mais fidedigna possível a contribuição de

cada estrato deste dossel, de acordo com a localização de suas estruturas vegetativas e reprodutivas, para o rendimento de grãos.

De cada estrato da amostra de 10 plantas por sub-subparcela, foram obtidos os seguintes dados: número de legumes (por contagem e posteriormente transformados para m^2 e percentagem); peso de 100 grãos (pela pesagem de uma amostra de 50 grãos, corrigido para 13% de umidade); grãos por legume fértil (calculado pela quantidade de legumes férteis) e rendimento de grãos, em kg/ha (pela pesagem dos grãos, corrigido para 13% de umidade e transformado para um hectare).

A massa seca da parte aérea foi avaliada por estrato do dossel, colocando-se as amostras das três seções do dossel, provenientes das 10 plantas, em estufa ventilada, à temperatura de 65°C, até peso constante, com posterior pesagem e correção do valor para m^2 . A taxa de crescimento da cultura (TCC), por estrato, foi calculada utilizando-se a fórmula de Radford (1967). A área foliar por estrato foi medida em integrador de área foliar LI-COR modelo 3100, sendo o valor obtido em cm^2 dividido pela área de coleta das plantas para obtenção do índice de área foliar (IAF). A determinação do fechamento do espaço entre linhas foi realizada nos estádios avaliados (V4, V6, V9), por meio de imagens coletadas com uma filmadora em área de 0,12 m^2 , por sub-subparcela, que foram posteriormente digitalizadas, utilizando-se o aplicativo computacional “Snappy” e analisadas com o aplicativo computacional “Sigma scan” (base de análise de imagens para Windows), obtendo-se a percentagem de fechamento.

A análise estatística foi efetuada com base nas proposições de Riboldi (1993). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), pelo teste F, sendo a diferença entre médias de tratamentos comparada pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade para os fatores irrigação e espaçamento entre linhas. O fator população de plantas foi comparado por análise de regressão.

4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observado aumento no rendimento de grãos no tratamento irrigado, principalmente pela maior contribuição do estrato médio do dossel (Tabela 1 – Capítulo 1). A irrigação aumentou, também, o peso do grão, em todos os estratos do dossel (Tabela 1). Os componentes do rendimento legumes por planta e grãos por legume, não foram afetados pelo fato da irrigação ter sido aplicada no estágio R6 (máximo volume de grãos), época em que ocorreu deficiência hídrica (Figura 3 – Capítulo 1), quando estes já estão praticamente definidos.

A soja tem períodos críticos quanto à falta de água, sendo que a germinação-emergência, o florescimento, e as etapas de formação de legumes e enchimento de grãos, constituem-se épocas mais sensíveis (Costa, 1996). Vários autores relataram que a falta de água durante o enchimento de grãos limita o rendimento da soja (Ashley & Ethridge, 1978; Wright et al., 1984), principalmente pela redução no tamanho e peso do grão (Sionit & Kramer, 1977; Westgate et al., 1989; Salinas et al., 1996).

TABELA 1. Peso de 100 grãos (g), por estrato do dossel, da cultivar de soja ‘BRS 137’, em dois regimes hídricos, na média de dois espaçamentos entre linhas e três populações de plantas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01

Estrato do dossel	Regime hídrico	
	Irigado	Não irrigado
Superior	18,6 a*	15,5 b
Médio	18,4 a	15,3 b
Inferior	19,1 a	15,2 b
Planta inteira	18,7 a	15,3 b

*Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

Em relação ao arranjo de plantas, o maior rendimento de grãos foi observado no tratamento com 20 cm de espaçamento entre linhas e 20 plantas/m² (Tabela 4 – Capítulo 1 e Figura 8 – Capítulo 1). Também houve diminuição linear no rendimento de grãos com o aumento da população de plantas no espaçamento de 20 cm (Figura 8 – Capítulo 1). Respostas similares foram obtidas nos estratos médio e inferior do dossel (Tabela 4 – Capítulo 1).

Os resultados obtidos, quanto ao rendimento de grãos, podem ser melhor entendidos pelos componentes do rendimento (Tabela 2 e Figura 1). O arranjo com 20 cm e 20 plantas/m² apresentou maior número de legumes férteis e peso do grão em comparação a 40 cm de espaçamento e 20 plantas/m². Houve também decréscimo linear nestes componentes com o aumento da população de plantas no espaçamento de 20 cm. Resultados semelhantes foram obtidos em todos os estratos do dossel para o número de legumes férteis e nos estratos médio e inferior quanto ao peso do grão. Dutra (1986), utilizando a técnica da divisão de plantas de soja por planos paralelos ao solo, concluiu que dentre as seções, a inferior foi a menos produtiva, apresentando menor número de legumes e de grãos, peso de grãos, rendimento biológico aparente e índice de colheita aparente. Concluiu, também, que a técnica de divisão de plantas por planos paralelos ao solo, para as linhagens estudadas naquele trabalho, apresentou resultados que se associam ao padrão de penetração de luz no dossel descrito na literatura.

TABELA 2. Componentes do rendimento da cultivar de soja 'BRS 137' sob diferentes arranjos de plantas, nos estratos superior (S), médio (M) e inferior (I) do dossel, e da planta inteira (T), na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01

População (plantas/m ²)		20		30		40	
Espaçamento (cm)		20	40	20	40	20	40
Legumes férteis/m ²	(S)	405 a	262 b	297 a	287 a	226 b	321 a
	(M)	752 a	462 b	549 a	497 a	495 a	410 b
	(I)	172 a	112 b	140 a	125 a	129 a	113 a
	(T)	1329 a	836 b	986 a	909 a	850 a	844 a
Peso de 100 grãos (g)	(S)	18,4 a	16,0 a	17,1 a	16,9 a	17,1 a	16,8 a
	(M)	18,2 a	15,8 b	16,9 a	16,7 a	17,0 a	16,6 a
	(I)	18,7 a	16,1 b	17,3 a	16,9 a	17,3 a	16,8 a
	(T)	18,4 a	16,0 b	17,1 a	16,8 a	17,1 a	16,7 a
Grãos/legumes Férteis	(S)	2,07 a	2,09 a	2,11 a	2,08 a	2,03 a	2,11 a
	(M)	2,26 a					
	(I)	2,27 a	2,24 a	2,22 a	2,22 a	2,21 a	2,18 a
	(T)	2,20 a	2,20 a	2,20 a	2,19 a	2,17 a	2,18 a

* Médias seguidas de mesma letra na linha, dentro de cada nível de população, não diferem pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

Os arranjos associando espaçamento reduzido e menor população de plantas, provavelmente, tiveram menor competição intraespecífica, principalmente por luz, em função da melhor distribuição das plantas na área. Estes arranjos podem ter proporcionado a penetração de luz nos estratos inferiores do dossel, aumentando a produção fotossintética, contribuindo com o aumento no rendimento de grãos.

Segundo Shaw & Weber (1967) a maior interceptação de luz pela soja ocorre entre 15 e 30 cm do topo da planta. Assim, parte das folhas do dossel da soja está contribuindo muito pouco para a fotossíntese, enquanto outras estão trabalhando no seu limite, sem poder aproveitar toda a energia que estão recebendo. No entanto, segundo Johnston et al. (1969), quando as folhas da seção inferior são suplementadas com luz ocorre aumento na fixação de CO_2 , indicando que estas folhas não atingem seu potencial fotossintético quando sombreadas. O aumento do rendimento nos segmentos inferior, médio e superior foi de 30, 20 e 2%, respectivamente. Observaram também, que as plantas bem supridas por luz tiveram mais grãos, nós, legumes, ramificações, legumes por nó, grãos por legume, e maior teor de óleo nos grãos.

A redução do espaçamento entre linhas proporcionou fechamento mais rápido do espaço entre linhas nos estádios iniciais de desenvolvimento da soja (Tabela 3). Pires et al. (1998) observaram que, no estádio V6, o espaçamento de 20 cm já proporcionava 72% de fechamento da entre linha, enquanto que o de 40 cm, 55%. Resultados semelhantes foram encontrados por Ventimiglia (1996), onde 20 cm entre linhas apresentou 95%, enquanto que 40 cm apenas 79 % de fechamento do espaço entre linhas até o estádio V8.

O fechamento mais antecipado do espaço entre linhas, associado à cobertura de palha proporcionada pela semeadura direta, possivelmente possibilitaram a manutenção de maior teor de umidade e menor variação da temperatura no solo. Estas condições podem ter favorecido o desenvolvimento radicular da soja, bem como o processo de fixação biológica do nitrogênio, resultando em maior quantidade de N para a planta. Este maior e mais antecipado fechamento do espaço entre linhas favoreceu, também (junto com a maior área foliar obtida com a redução do espaçamento), a interceptação de luz pelo dossel e, como consequência, a maior produção de fotoassimilados para a planta e para os nódulos, que se refletiu na maior produção de massa seca.

Outra característica importante da soja é a capacidade de acumular “proteínas de armazenamento temporário” no caule, ramos e outras partes da planta, durante o período vegetativo, que posteriormente podem ser distribuídas para os órgãos de reserva como o grão (Staswick, 1994).

Desta forma, o maior crescimento inicial da soja, observado no arranjo com espaçamento e população de plantas reduzidos, proporcionados pela maior interceptação de luz e amenização da competição intraespecífica, provavelmente favoreceu o acúmulo de reservas nas partes vegetativas da planta. Estas foram, posteriormente, redistribuídas para suprir a maior demanda, em função do número de legumes e do peso do grão mais elevados, observada nos arranjos de plantas que proporcionaram maior rendimento de grãos, principalmente nos estratos médio e inferior do dossel, o que pode ser constatado pela análise dos atributos de crescimento.

No estágio V6 foi verificado que o índice de área foliar (IAF), a massa seca (MS) e a taxa de crescimento da cultura (TCC) foram superiores no espaçamento de 20 cm comparado com 40 cm (Tabela 4).

TABELA 3. Fechamento do espaço entre linhas da cultivar de soja ‘BRS 137’, em dois espaçamentos e três populações de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01

Estádio fenológico	Fechamento do espaço entre linha (%)		
	Espaçamento entre linhas		Diferença
	20 cm	40 cm	20 – 40 cm
V4*	32 a**	23 b	- 9
V6	52 a	40 b	- 12
V9	91 a	72 b	- 19

*V4 = quarto nó com folha desenvolvida; V6 = sexto nó com folha desenvolvida; V9 = nono nó com folha desenvolvida.

**Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 4. Índice de área foliar (IAF) e massa seca da parte aérea (g/m^2), no estágio V6, e taxa de crescimento da cultura (TCC) durante os estádios VE-V6*, da cultivar de soja 'BRS 137', em dois espaçamentos entre linhas, na média de dois regimes hídricos e três populações de plantas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01

Espaçamento entre linhas	20 cm	40 cm
IAF	1,26 a**	1,10 b
Massa seca (g/m^2)	84,2 a	67,4 b
TCC ($\text{g/m}^2/\text{dia}$)	2,55 a	2,04 b

* VE = emergência. V6 = sexto nó com folha desenvolvida.

** Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

Segundo Board et al. (1990a), os maiores rendimentos obtidos em espaçamentos estreitos estão associados com incremento da TCC, principalmente durante o período vegetativo e o início do reprodutivo. Este aumento na TCC está associado à maior intercepção de luz e taxa de acumulação de MS nestes períodos. Explica, ainda, que a MS total tem uma relação de causa e efeito com a intercepção de luz em espaçamentos estreitos. Assim, o aumento da intercepção da luz estimula a TCC e a produção de MS. Aumentada a produção de MS, ocorre maior IAF, que, por sua vez, aumenta a intercepção de luz.

Altas TCC requerem intercepção máxima de luz, sendo que, para que isto ocorra, é necessário o fechamento do dossel mais cedo (Ball et al., 2000b). Maior MS total, IAF e TCC, no estágio V6, observado por Pires et al. (1998), se refletiu em aumento no rendimento.

Maelher (2000) obteve dados semelhantes, onde o IAF foi superior nos estádios V3, V5 e R6, no espaçamento de 20 cm comparado com 40 cm. De acordo com este autor, isto indica que o rápido estabelecimento das folhas no início do desenvolvimento vegetativo, bem como a persistência das folhas por maior tempo no final do ciclo, podem ter favorecido a captação de luz e a produção de fotoassimilados no espaçamento entre linha

de 20 cm. Foi verificado, também, neste mesmo trabalho, que o espaçamento entre linhas de 20 cm apresentou maior MS que o de 40 cm.

Já nos estádios V9 e V11 houve interação entre o espaçamento entre linhas e a população de plantas no que se refere aos atributos de crescimento (IAF, MS e TCC). No estádio V9 foi observado maior IAF no espaçamento de 20 cm associado a 20 plantas/m², comparado com 40 cm, na mesma população (Figura 2 e Apêndice 2). Também foi verificado incremento linear deste atributo com a diminuição da população de plantas (Figura 3). Resultados similares foram observados no estádio V11, no estrato médio e inferior (Figuras 2 e 4).

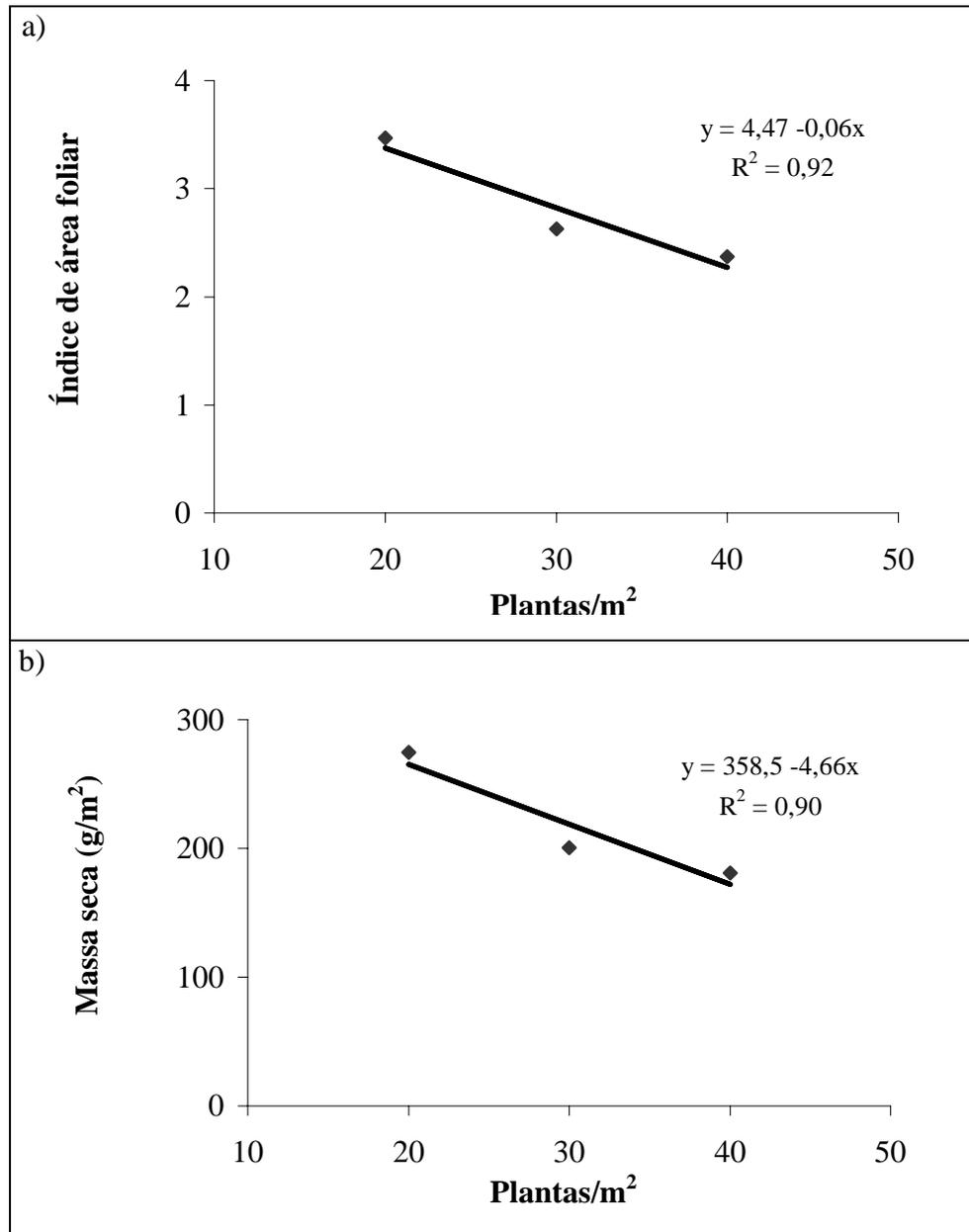


FIGURA 3. Índice de área foliar (a) e massa seca da parte aérea (b) no estágio V9 (nono nó com folha desenvolvida), no espaçamento de 20 cm entre linhas, em três níveis de população de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.

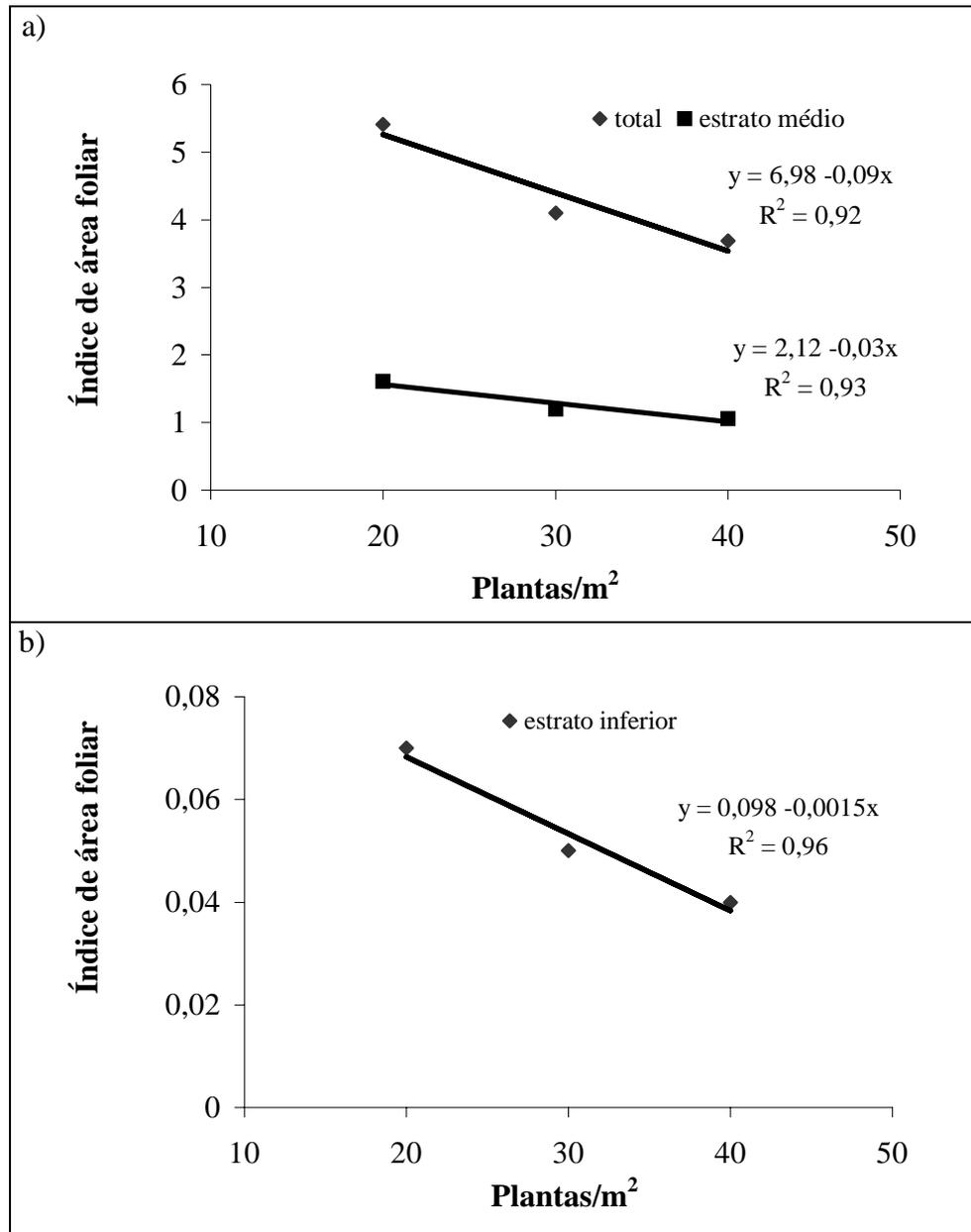


FIGURA 4. Índice de área foliar da planta inteira - total (a), no estrato médio (a) e inferior (b) do dossel, no estádio V11 (décimo primeiro nó com folha desenvolvida), no espaçamento de 20 cm entre linhas, em três níveis de população de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.

Os tratamentos que apresentaram maior índice de área foliar em V9 e V11 mostraram resultados similares quanto a MS e TCC nestes estádios [Figura 5 (Apêndice 3) e Figura 6; Figura 7 e Figura 8 (Apêndice 4)].

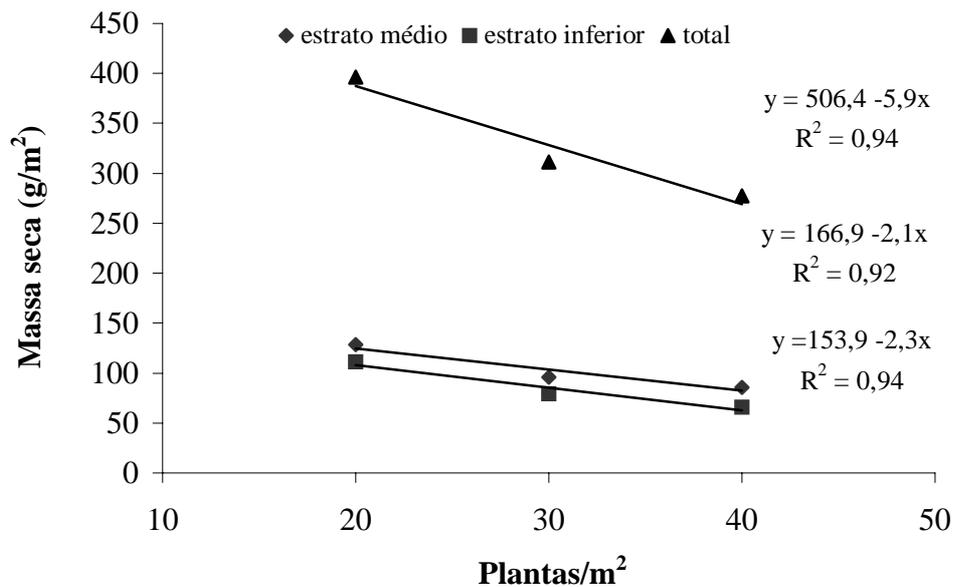


FIGURA 6. Massa seca da parte aérea da planta inteira (total), do estrato médio e inferior do dossel no estágio V11 (décimo primeiro nó com folha desenvolvida), no espaçamento de 20 cm entre linhas, em três níveis de população de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.

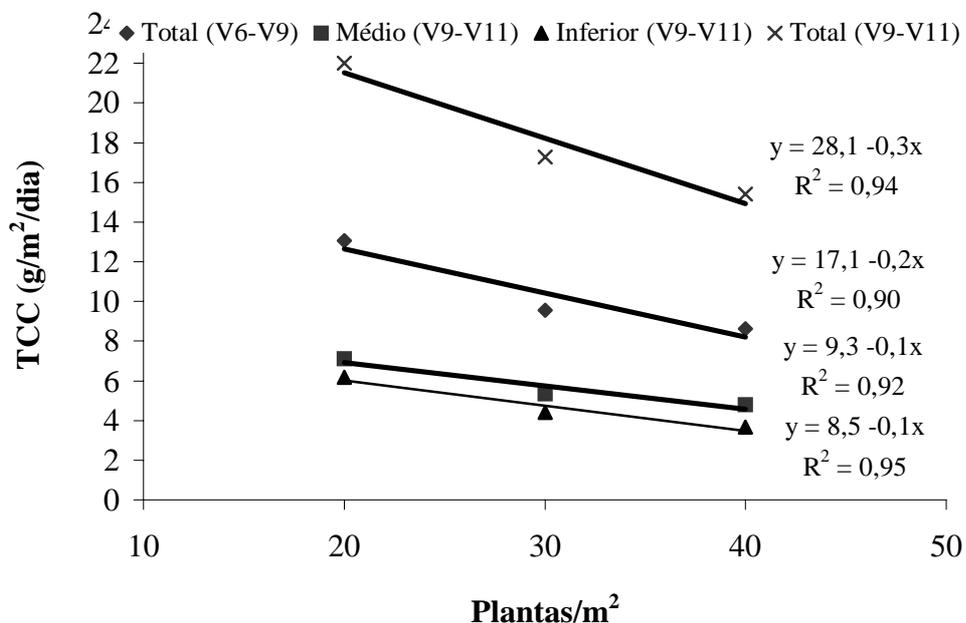


FIGURA 7. Taxa de crescimento da cultura (TCC) da planta inteira (total) durante os estádios V6-V9 e V9-V11 (sexto, nono e décimo primeiro nó com folha desenvolvida, respectivamente) e do estrato médio e inferior do dossel durante os estádios V9-V11, no espaçamento de 20 cm entre linhas, em três níveis de população de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01.

A maior TCC verificada nos estratos médio e inferior do dossel no estádio V11, no arranjo de plantas com 20 cm e 20 plantas/m² (Figuras 7 e 8), provavelmente, foi resultado da maior interceptação de luz nestes estratos, em função deste arranjo apresentar uma distribuição quase equidistante das plantas. Esta maior interceptação, possivelmente, incrementou a fotossíntese da planta nestas seções, pois, segundo Egli & Yu (1991), a TCC é uma estimativa da fotossíntese líquida do dossel, que por sua vez aumentou a produção de MS e IAF. O maior crescimento inicial, apresentado nos arranjos com espaçamento reduzido e menor população de plantas, no estrato médio e inferior do dossel contribuíram para o maior rendimento observado nestes estratos nos referidos tratamentos, refletindo no maior rendimento de grãos.

Segundo Bullock et al.(1998), valores altos de IAF e MS nos estádios iniciais de desenvolvimento resultam em maior TCC durante o período vegetativo e início do reprodutivo. É importante que a planta de soja tenha alto vigor inicial, para que possa atingir o nível crítico de IAF (95% de interceptação da radiação) antes do início do enchimento de grãos (Boote & Tollenaar, 1994).

As respostas verificadas em relação à interação espaçamento entre linhas e população de plantas, no que se refere aos atributos de crescimento, no final do período vegetativo (V9 e V11) podem ter sido em função do aumento da competição intraespecífica, o que diferenciou favoravelmente os arranjos com melhor distribuição das plantas na área (menor espaçamento e menor população) dos arranjos com plantas mais adensadas. De acordo com Duncan (1986), a redução da competição intraespecífica durante os estádios vegetativos resulta no maior acúmulo de MS e maior produção de legumes, que são capazes de aumentar a utilização de fotoassimilados produzidos pela planta com a radiação que é interceptada.

O espaçamento entre plantas afeta significativamente a área foliar, a interceptação de luz e a fotossíntese (Wells, 1991). A variação na população de plantas é uma ferramenta de manejo que pode influenciar grandemente a interceptação da radiação solar mais cedo e o crescimento da cultura (Ball et al., 2000a). Board (2000), trabalhando com nível populacional, considerado naquela condição como baixo (8 plantas/m²), médio (14,5 plantas/m²) e alto (39 plantas/m²), observou que a população baixa, apesar de ter apresentado menor IAF por planta, mostrou maior taxa de crescimento por planta pela maior eficiência do uso da luz, isto é, pela maior interceptação de luz por área foliar, em relação aos níveis populacionais médio e alto, desde os 21 dias após a emergência da soja. Esta compensação resultou no equilíbrio da TCC próximo ao estágio R1 (início do florescimento) entre os níveis populacionais (até esta fase era maior nos níveis populacionais médio e alto), o que resultou em rendimento de grãos similar nas populações estudadas. Este autor comenta que, aparentemente, o sombreamento e a competição entre plantas por luz foi menor na população baixa, em relação às média e alta, durante quase todo o período vegetativo.

No presente trabalho os atributos de crescimento não foram avaliados por planta, contudo foi observado maior IAF, MS e TCC na menor população (20 plantas/m²) em relação as demais, no espaçamento de 20 cm entre linhas já nos estádios V9 e V11, que pode ter contribuído para o aumento no rendimento de grãos neste arranjo. Diferentemente do estudo citado anteriormente, que utilizou espaçamento entre linhas de 76 cm, os resultados apresentados neste trabalho foram obtidos sob espaçamento reduzido (20 cm), o que influenciou favoravelmente o desenvolvimento inicial da soja.

Outro fator importante é que as condições meteorológicas ocorrentes durante o presente estudo foram favoráveis ao crescimento da soja, principalmente em relação ao regime hídrico. Board (2000) concluiu que a dinâmica do crescimento durante o período

vegetativo é importante na compensação do rendimento entre as populações de planta, bem como que em baixas populações deve-se evitar os estresses neste período, que podem diminuir a capacidade de compensação das plantas.

Nos estádios reprodutivos (R2 e R5) não foi verificada interação de espaçamento entre linhas e população de plantas nos atributos de crescimento (IAF – Figura 2, MS – Figura 5 e TCC – Figura 8). Com o fechamento do dossel, provavelmente, os tratamentos se equipararam, de forma que as diferenças observadas nos estádios anteriores não foram suficientes para manter a desigualdade entre os tratamentos. Board (2000), trabalhando com níveis populacionais diferentes, observou que o fechamento do dossel se deu próximo aos estádios R1 e R2, sendo que neste período a eficiência do uso da luz, a taxa de assimilação líquida e a TCC foram semelhantes. Desta forma, a partir daí estes fatores da dinâmica do crescimento não influenciaram mais a compensação no rendimento entre os níveis populacionais.

Resultados semelhantes foram obtidos por Pires et al.(1998) que, trabalhando com dois espaçamentos entre linhas (20 cm e 40 cm) e duas populações de plantas (20 e 30 plantas/m²), não evidenciaram diferenças no IAF e MS entre os diferentes arranjos nos estádios R2 e R5.

A redução do espaçamento entre linhas proporcionou maior crescimento da soja nos estádios vegetativos iniciais, em função do maior e mais antecipado fechamento do espaço entre linhas, resultando em maior IAF, MS e TCC. No final do período vegetativo, com o aumento da competição entre plantas, principalmente por luz, em função do maior sombreamento mútuo, o arranjo com o menor espaçamento e menor população, por apresentar distribuição de plantas quase equidistante, apresentaram maior crescimento em relação aos demais. Este maior crescimento foi verificado, principalmente, nos estratos médio e inferior do dossel, que normalmente são os que sofrem maior sombreamento em

arranjos com plantas mal distribuídas e adensadas. Mesmo que esta diferença não tenha se mantido com o fechamento total do dossel nos estádios reprodutivos, foi suficiente para resultar em maior rendimento de grãos nestes arranjos em função da maior contribuição do estrato médio e inferior do dossel. Estes resultados confirmam a importância, já salientada por outros autores, da dinâmica do crescimento da soja durante o período vegetativo, para o rendimento de grãos.

4.6. CONCLUSÕES

- a) O arranjo de plantas com menor espaçamento e população apresenta maior crescimento vegetativo inicial, que se reflete positivamente no rendimento de grãos e seus componentes.
- b) As mudanças no espaçamento entre linhas e população de plantas alteraram positivamente a contribuição dos estratos médio e inferior do dossel, nos arranjos espaciais próximos da equidistância.
- c) O crescimento vegetativo vigoroso da soja determina o aproveitamento das condições favoráveis para a obtenção de altos rendimentos de grãos.

5. CONCLUSÕES GERAIS

O déficit hídrico afeta o potencial de rendimento e o rendimento da soja mesmo quando ocorre no final do ciclo, sendo que a irrigação constitui-se numa alternativa para minimizá-lo.

O arranjo de plantas com menor espaçamento e população ameniza a competição intraespecífica pelos recursos disponíveis, resultando em maior crescimento e rendimento de grãos da soja.

Os estratos do dossel contribuem diferentemente para o crescimento, potencial de rendimento e rendimento de grãos, com a modificação do arranjo de plantas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, M.W. Basis of yield components compensation in crop plant with special reference to the field bean, *Phaseolus vulgaris*. **Crop Science**, Madison, v.7., n.5, p.505-510, 1967.

ASHLEY, D.A.; ETHRIDGE, W.J. Irrigation effects on vegetative and reproductive development of three soybean cultivars. **Agronomy Journal**, Madison, v.70, n.3, p.467-471, 1978.

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

BALL, R.A.; PURCELL, L.C.; VORIES, E.D. Short-season soybean yield compensation in response to population and water regime. **Crop Science**, Madison, v.40, n.4, p.1070-1078, 2000b.

BALLARÉ, C.L., SCOPEL, A.L., SÁNCHEZ, R.A. Plant photomorphogenesis in canopies, crop growth, and yield. **Hort Science**, St. Joseph, v. 30, n.6, p.1172-1181, 1995.

BARNI, N.A. **Modelos de crescimento, desenvolvimento e rendimento do girassol em função da radiação solar, temperatura e disponibilidade hídrica**. 1994. 249f. Tese (Doutorado em Agronomia – Fitotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

BARTZ, H. R. (Coord.) **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Passo Fundo: SBCS-Núcleo Regional Sul, 1994. 224p.

BERGAMASCHI, H.; CAUDURO, F.A. Efeito de níveis de umidade do solo sobre o rendimento de duas cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill], em três épocas de semeadura. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.11, n.2, p.195-206, 1975.

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M. R. **Agroclima da Estação Experimental Agrônômica/UFRGS**. Porto Alegre: Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da UFRGS, 1990. 60p.

BERGAMASCHI, H. et al. Perfis de radiação em uma comunidade de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), em dois estádios de desenvolvimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2, 1981, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1981. p.173-178.

BISOTTO, V.; FARIAS, A.D.. Algumas considerações sobre a cultura da soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 29, 2001, Porto Alegre. **Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e Santa Catarina 2001/2002.** Porto Alegre: FEPAGRO, 2001. p.7-17.

BLAD, B. L.; BAKER, D. G. Orientation and distribution of leaves within soybean canopies. **Agronomy Journal**, Madison, v.64, n.1, p.26-29, 1972.

BLOMQUIST, R.V.; KURST, C.A. Translocation pattern of soybeans as affected by growth substances and maturity. **Crop Science**, Madison, v.11, n.3, p.390-393, 1971.

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.

BOARD, J. E.; HARVILLE, B. G. Explanations for greater light interception in narrow-vs. Wide –row soybean. **Crop Science**, Madison, v.32, n.1, p. 198-202, 1992.

BOARD, J. E.; HARVILLE, B. G. Growth dynamics the vegetative period affects yield of narrow-row, late-planted soybean. **Crop Science**, Madison, v.88, n.4, p.567-572, 1996.

BOARD, J. E.; HARVILLE, B. G.; SAXTON, A. M. Narrow-row seed-yield enhancement indeterminate soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v.82, n.1, p.64-68, 1990a.

BOARD, J.E.; HARVILLE, B.G.; SAXTON, A.M. Branch dry weight in relation to yield increases in narrow-row soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v.82, n.3, p.540-544, 1990b.

BOARD, J.E.; KAMAL, M.; HARVILLE, B.G. Temporal importance of greater light interception to increased yield in narrow-row soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, n.4, p.575-579, 1992.

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.

BULLOCK, D.; KHAN, S.; RAYBURN, A. Soybean yield response to narrow rows is largely due to enhanced early growth. **Crop Science**, Madison, v.38, n.4, p.1011-1016, 1998.

CARPENTER, A.C.; BOARD, J.E. Growth dynamic factors controlling soybean yield stability across plant populations. **Crop Science**, Madison, v.37, n.5, p.1520-1526, 1997.

COOPERATIVE EXTENSION SERVICE AMES. **How a soybean plant develops.** Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1994. 20 p.

COSTA, J. A. Mapeamento de plantas: uma opção de manejo para altos rendimentos de soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DA SOJA DA REGIÃO SUL, 21, 1993, Santa Rosa. **Ata e resumos...** Porto Alegre: CIENTEC: IPAGRO, 1993. p.192.

COSTA, J.A. **Cultura da soja.** Porto Alegre: Ed. autor, 1996. 233p.

COSTA, J. A.; MARCHEZAN, E. **Características dos estádios de desenvolvimento da soja.** Campinas: Fundação Cargil, 1982. 30p.

COSTA, J.A.; TEIXEIRA, M.C.C.; MARCHEZAN, E. Taxa e duração do acúmulo de matéria seca nos grãos de soja e sua relação com o rendimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n.9, p.1577-1582, 1991.

CUNHA, G.R. et al. **Cartas de perda de rendimento potencial em soja no Rio Grande do Sul por deficiência hídrica.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. 52p. (Boletim de Pesquisa, 1).

DESCLAUX, D.; HUYNH, T.; ROUMET, P. Identification of soybean plant characteristics that indicate the timing of drought stress. **Crop Science**, Madison, v.40, n.3, p.716-722, 2000.

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

DUTRA, L. M. C. **Rendimento de grãos e outras características agronômicas por seção da planta de duas linhagens de soja com folíolos ovados e lanceolados em diferentes níveis de produtividade.** 1986. 87f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

DYBING, C.D. Soybean flower production as related to plant growth and seed yield. **Crop Science**, Madison, v.34, n.2, p.489-497, 1994.

EGLI, D.B.; GUFFY, R.B.; HEITHOLD, 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.

EGLI, D.B.; YU, Z. Crop growth rate and seeds per unit area in soybean. **Crop Science**, Madison, v.31, n.2, p.439-442, 1991.

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

ETHREDGE, W. J.; ASHLEY, D. A.; WOODRUFF, J. M. Row spacing and plant population effects on yield components of soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, n.6, p.947-951, 1989.

EVANS, L.T. **Crop evolution, adaptation and yield**. Cambridge: University Press, 1993. 500p.

HEITHOLT, J.J.; EGLI, D.B.; LEGGETT, J.E. Characteristics of reproductive abortion in soybean. **Crop Science**, Madison, v.26, p.589-595, 1986.

HERBERT, S. J.; LITCHFIELD, G.V. Partitioning soybean seed yield components. **Crop Science**, Madison, v.22, n.5, p.1074-1079, 1982.

JOHNSON, T. J. et al. 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.

MAEHLER, A.R. **Crescimento e rendimento de duas cultivares de soja em resposta ao arranjo de plantas e regime hídrico**. 2000. 108f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. Faculdade de Agronomia, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

MARCHEZAN, E. **Produção e fixação de flores e legumes, por nó do caule e dos ramos, em três cultivares de soja**. 1982. 105f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1982.

MARCHEZAN, E; COSTA, J.A. Produção e fixação de flores e legumes, em três cultivares de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.18, n.2, p.129-136, 1983.

MARQUES, J. B. B. **Efeito do espaçamento entre fileiras, população de plantas e irrigação sobre o rendimento da planta, rendimento e qualidade da semente da soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. 1981. 93f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. Faculdade de Agronomia, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1981.

MARVEL, J.N.; BEYROUTY, C.A.; GBUR, E.E. Response of soybean growth to root and canopy competition. **Crop Science**, Madison, v.32, n.3, p.797-801, 1992.

MATHEW, J.P. et al. Differential response of soybean yield components to the timing of light enrichment. **Agronomy Journal**, Madison, v.92, n.6, p.1156-1161, 2000.

MOORE, S.H. Uniformity of planting spacing effect on soybean population parameters. **Crop Science**, Madison, v.31, n.4, p.1049-1051, 1991.

NAVARRO, Jr. H.M. **Estratégias associadas à expressão do potencial de produção por planta em cultivares de soja.** 1998. 82f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

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

PARVEZ, A. Q.; GARDNER, F. P.; BOOTE, K. J. Determinate and indeterminate type soybean cultivar response to patterns, density and planting date. **Crop Science**, Madison, v.29., n.1, p.150-157, 1989.

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) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. Faculdade de Agronomia, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

PIRES, J.L.; COSTA, J.A.; THOMAS, A. L. Rendimento de grãos de soja influenciado pelo arranjo de plantas e níveis de adubação. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**. Porto Alegre, v.4, n.2, p.183-188, 1998.

PIRES, J.L.F.; 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.F.; FREITAS, T.F.S. de; RAMBO, L; COSTA, J.A.; FERREIRA, F.G.. Estimativa do Potencial de rendimento de cultivares de soja durante a ontogenia. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 29., 2001, Porto Alegre. **Ata e Resumos**. Porto Alegre: FEPAGRO-SCT , 2001a. p.169.

PIRES, J.L.F.; RAMBO, L; COSTA, J.A.; THOMAS, A.L.. Metodologias para estimativa do potencial de rendimento da soja durante a ontogenia com base nas estruturas reprodutivas. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 29., 2001, Porto Alegre. **Ata e Resumos**. Porto Alegre: FEPAGRO-SCT , 2001b. p.170.

PITELLI, R. A. **Competição por nutrientes entre a cultura do arroz e a comunidade infestante. Efeitos do espaçamento e da fertilização nitrogenada.** 1981. 80f. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, 1981.

PURCELL, L.C. Soybean canopy coverage and light interception measurements using digital imagery. **Crop Science**, Madison, v.40, n.3, p.934-837, 2000.

RADFORD, O.J. Growth analysis formulae: Their use and abuse. **Crop Science**, Madison, v.7, n.1, p.171-175, 1967.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 28., 2000, Santa Maria. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2000/2001**. Santa Maria: UFSM/CCR/Departamento de Defesa Fitossanitária, 2000. CD-ROM.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 29., 2001, Porto Alegre. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2001/2002**. Porto Alegre: FEPAGRO, 2001. 138p.

RIBOLDI, J. **Delineamentos experimentais de campo**. Porto Alegre: Instituto de Matemática da UFRGS, 1993. 71p. (Cadernos de matemática e estatística).

ROLIM, G. de S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente Exceltm para cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.1, p.133-137, 1998.

RUBIN, S. de A.L. Comportamento da cultivar “FEPAGRO-RS 10” em seis densidades de semeadura ano planalto médio riograndense. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 25, 1997, Passo Fundo: EMBRAPA, 1997. p.187.

SALINAS, A.R. et al. Respuestas fisiológicas que caracterizan el comportamiento de diferentes cultivares de soja a la deficiencia hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.5, p.331-338, 1996.

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.

SHOU, J.B.; JEFFERS, D.L.; STREETER, J.G. Effects of reflectors, black boards, or shades applied at different stages of plant development on yield of soybeans. **Crop Science**, Madison, v.18, n.1, p.29-34, 1978.

SINCLAIR, T.R. Limits to crop Yield? In: BOOTE, K.J. (Ed.) **Physiology and determination of crop yield**. Madison: American Society of Agronomy: Crop Science Society of America: Soil Science Society of America, 1994. p.509-532.

SINCLAIR, T.R.; De WIT, C.T. Analysis of carbon and nitrogen limitations to soybean yield. **Agronomy Journal**, Madison, v.68, n.2, p.319-324, 1976.

SIONIT, N.; KRAMER, P.J. Effects of water stress during different stages of growth of soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v.69, n.2, p.274-278, 1977.

SOUZA, P.I.; EGLI, D.B.; BRUENING, W. Water stress during seed filling and leaf senescence in soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v.89, n.5, p.807-812, 1997.

STASWICK, P.E. Storage proteins of vegetative plant tissues. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.45, p.303-322, 1994.

STEPHENSON, R.A.; WILSON, G.L. Patterns of assimilate distribution in soybeans at maturity. 1.The influence of reproductive developmental stage and leaf position. **Australian Journal of Agriculture Research**, East Melbourne, v.28, n.1, p.203-209, 1977.

TAYLOR, H. M. Soybean growth and yield as affected by row spacing and by seasonal water supply. **Agronomy Journal**, Madison, v.72, n.3, p.543-547, 1980.

TAYLOR, H. M. et al. Responses of soybeans to two soil water levels: An analysis of biomass accumulation, canopy development, solar radiation interception and components of seed yield. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.5, p.1-14, 1982.

THOMAS, A.L. **Desenvolvimento e rendimento da soja em resposta à cobertura morta e à incorporação de gesso ao solo, com e sem irrigação**. 91f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

THOMAS, A.L.; COSTA, J.A. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.9, p.1389-1396, 1994.

THOMAS, A.L.; COSTA, J.A.; PIRES, J.L. Rendimento de grãos de soja afetado pelo espaçamento entre linhas e fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.4, p.543-546, 1998.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, R.J. **The water balance**. New Jersey: Laboratory of climatology, 1955. v.8. 104p. (publication in climatology).

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

URCHEI, M.A.; RODRIGUES, J.D.; STONE, L.F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.3, p.497-506, 2000.

VENTIMIGLIA, L. A. **Morfogenia e fisiogenia da soja afetada pelo espaçamento entre fileiras e níveis de fósforo no solo**. 118f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. Faculdade de Agronomia, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

VENTIMIGLIA, L. A. et al. Potencial de rendimento da soja em razão da disponibilidade de fósforo no solo e dos espaçamentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.2, p.195-199, 1999.

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.

WESTGATE, M.E. et al. Effect of water deficits on seed development in soybean. **Plant Physiology**, Landcaster, v.91, n.2, p.980-985, 1989.

WRIGHT, D.L.; SHOKES, F.M.; SPRENKEL, R.K. Planting method and plant population influence on soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v.76, n.4, p.921-924, 1984.

8. APÊNDICES

APÊNDICE 1. Peso de 100 grãos de legumes com um, dois e três grãos por estrato do dossel da cultivar de soja 'BRS 137', em dois espaçamentos entre linhas e três populações de plantas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/2001

Estrato do dossel (peso de 100 grãos de legumes com um, dois e três grãos)	População (plantas/m ²)						
	20		30		40		
	Espaçamento		Espaçamento		Espaçamento		
	20 cm	40 cm	20 cm	40 cm	20 cm	40 cm	
Superior	(1 grão)	18,5 a*	16,0 a	17,3 a	16,1 a	17,3 a	15,6 a
	(2 grãos)	19,1 a	16,6 a	17,8 a	17,5 a	17,8 a	17,4 a
	(3 grãos)	18,1 a	18,9 a	18,5 a	19,7 a	18,3 a	18,2 a
Médio	(1 grão)	18,4 a	16,1 a	17,1 a	16,9 a	17,2 a	16,8 a
	(2 grãos)	18,3 a	15,8 a	17,0 a	16,8 a	17,0 a	16,7 a
	(3 grãos)	17,8 a	15,5 a	16,6 a	16,5 a	16,7 a	16,3 a
Inferior	(1 grão)	16,3 a	13,9 a	15,1 a	14,5 a	15,0 a	14,4 a
	(2 grãos)	20,2 a	17,5 b	18,8 a	18,4 a	18,8 a	18,2 a
	(3 grãos)	19,5 a	16,8 a	18,2 a	17,8 a	18,0 a	17,7 a
Planta inteira	(1 grão)	17,7 a	15,3 b	16,5 a	15,8 b	16,5 a	15,6 b
	(2 grãos)	19,2 a	16,6 b	17,9 a	17,6 a	17,9 a	17,4 a
	(3 grãos)	18,5 a	17,1 a	17,8 a	18,0 a	17,7 a	17,4 a

*Médias seguidas de mesma letra na linha, dentro de cada nível de população de plantas, não diferem pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

APÊNDICE 2. Índice de área foliar da planta inteira e por estrato do dossel, em diferentes estádios de desenvolvimento, da cultivar de soja 'BRS 137', em dois espaçamentos entre linhas e três populações de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01

Estrato do dossel (estádio fenológico)	População (plantas/m ²)					
	20		30		40	
	Espaçamento		Espaçamento		Espaçamento	
	20 cm	40 cm	20 cm	40 cm	20 cm	40 cm
Planta inteira (V9)*	3,47 a**	2,20 b	2,63 a	2,34 b	2,37 a	1,91 b
Superior (V11)	3,73 a	2,92 a	2,86 a	2,86 a	2,59 a	2,85 a
Médio (V11)	1,61 a	1,03 b	1,20 a	1,10 a	1,06 a	1,00 a
Inferior (V11)	0,07 a	0,04 b	0,05 a	0,04 a	0,04 a	0,04 a
Planta inteira (V11)	5,41 a	3,99 b	4,11 a	4,00 a	3,69 a	3,89 a
Superior (R2)	4,41 a	3,56 a	4,38 a	3,89 a	5,47 a	4,06 a
Médio (R2)	1,15 a	1,05 a	0,93 a	1,14 b	1,29 a	1,27 a
Inferior (R2)	0,03 a	0,01 b	0,02 a	0,01 b	0,03 a	0,01 b
Planta inteira (R2)	5,59 a	4,62 a	5,33 a	5,04 a	6,79 a	5,34 a
Superior (R5)	3,86 a	3,96 a	4,06 a	3,47 a	4,78 a	4,29 a
Médio (R5)	0,93 a	0,71 a	1,14 a	0,72 a	0,83 a	0,82 a
Inferior (R5)	0,05 a	0,03 a	0,04 a	0,03 a	0,04 a	0,03 a
Planta inteira (R5)	4,84 a	4,70 a	5,24 a	4,22 a	5,65 a	5,14 a

**V6, V9, V11 = sexto, nono e décimo primeiro nó com folha desenvolvida, respectivamente;
R2 = florescimento pleno; R5 = início do enchimento de grãos.

*Médias seguidas de mesma letra na linha, dentro de cada nível de população de plantas, não diferem pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

APÊNDICE 3. Massa seca da parte aérea (g/m^2) da planta inteira e por estrato do dossel, em diferentes estádios de desenvolvimento, da cultivar de soja 'BRS 137', em dois espaçamentos entre linhas e três populações de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01

Estrato do dossel (estádio fenológico)	População (plantas/m ²)					
	20		30		40	
	Espaçamento		Espaçamento		Espaçamento	
	20 cm	40 cm	20 cm	40 cm	20 cm	40 cm
Planta inteira (V9)*	274,3 a**	169,1 b	200,7 a	180,0 b	181,1 a	148,8 b
Superior (V11)	156,5 a	122,7 a	136,0 a	124,8 a	125,7 a	110,3 a
Médio (V11)	128,2 a	82,6 b	96,0 a	87,7 a	85,8 a	79,8 a
Inferior (V11)	111,5 a	61,4 b	79,2 a	62,1 b	65,9 a	53,8 b
Planta inteira (V11)	396,2 a	266,7 b	311,2 a	274,6 b	277,4 a	243,9 b
Superior (R2)	185,7 a	166,4 a	190,8 a	197,5 a	286,7 a	237,2 a
Médio (R2)	163,4 a	102,9 b	147,9 a	152,3 a	147,5 a	175,1 a
Inferior (R2)	132,5 a	162,9 a	128,7 a	142,3 a	231,3 a	135,8 b
Planta inteira (R2)	481,6 a	432,2 a	467,4 a	492,1 a	665,5 a	548,1 a
Superior (R5)	219,9 a	193,0 a	313,4 a	197,6 a	331,8 a	272,2 a
Médio (R5)	197,1 a	163,1 a	222,2 a	154,2 a	248,0 a	218,0 a
Inferior (R5)	198,4 a	197,1 a	239,2 a	161,5 b	248,0 a	204,0 b
Planta inteira (R5)	615,4 a	553,2 a	774,8 a	513,3 a	827,8 a	694,2 a

*V6, V9, V11 = sexto, nono e décimo primeiro nó com folha desenvolvida, respectivamente; R2 = florescimento; R5 = início do enchimento de grãos.

**Médias seguidas de mesma letra na linha, dentro de cada nível de população de plantas, não diferem pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

APÊNDICE 4. Taxa de crescimento da cultura ($\text{g/m}^2/\text{dia}$) por estrato do dossel, em diferentes estádios de desenvolvimento, da cultivar de soja 'BRS 137', em dois espaçamentos entre linhas e três populações de plantas, na média de dois regimes hídricos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2000/01

Estrato do dossel (estádio fenológico)	População (plantas/m ²)					
	20		30		40	
	Espaçamento		Espaçamento		Espaçamento	
	20 cm	40 cm	20 cm	40 cm	20 cm	40 cm
Planta inteira (V6-V9)*	13,06 a**	8,05 b	9,56 a	8,57 b	8,62 a	7,08 b
Superior (V9-V11)	8,69 a	6,81 a	7,55 a	6,93 a	6,98 a	6,13 a
Médio (V9-V11)	7,12 a	4,59 b	5,34 a	4,87 a	4,77 a	4,43 a
Inferior (V9-V11)	6,19 a	3,41 b	4,40 a	3,45 b	3,66 a	2,99 b
Planta inteira (V9-V11)	22,00 a	14,81 b	17,29 a	15,25 b	15,41 a	13,55 b
Superior (V11-R2)	12,38 a	11,10 a	12,72 a	13,17 a	19,12 a	15,81 a
Médio (V11-R2)	10,90 a	6,86 b	9,86 a	10,15 a	9,83 a	11,68 a
Inferior (V11-R2)	8,83 a	10,86 a	8,58 a	9,49 a	15,42 a	9,06 b
Planta inteira (V11-R2)	32,11 a	28,82 a	31,16 a	32,81 a	44,37 a	36,55 a
Superior (R2-R5)	6,88 a	6,05 a	9,79 a	6,19 a	10,36 a	8,51 a
Médio (R2-R5)	6,16 a	5,10 a	6,94 a	4,82 a	7,75 a	6,81 a
Inferior (R2-R5)	6,15 a	6,20 a	7,47 a	5,04 b	7,75 a	6,38 b
Planta inteira (R2-R5)	19,19 a	17,35 a	24,20 a	16,05 a	25,86 a	21,70 a

*V6, V9, V11 = sexto, nono e décimo primeiro nó com folha desenvolvida, respectivamente; R2 = florescimento. pleno; R5 = início do enchimento de grãos.

**Médias seguidas de mesma letra na linha, dentro de cada nível de população de plantas, não diferem pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

8. VITA

Lisandro Rambo, filho de Irineu Rambo e Dianete Lourdes Rambo, nasceu em 11 de abril de 1976, no município de Victor Graeff, Rio Grande do Sul.

Realizou os seus estudos de primeiro grau na Escola Sete de Setembro em Não-Me-Toque, RS. Em 1991 iniciou o Curso de Técnico em Agropecuária na Escola Agrotécnica Federal de Sertão (EAFS) em Sertão-RS, onde concluiu o segundo grau profissionalizante no ano de 1993.

Em 1996 ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), onde, no ano de 1999, graduou-se Engenheiro Agrônomo. Durante o curso de graduação participou do Programa Especial de Treinamento (PET), financiado pela Fundação Coordenação de Apoio de Pessoal de Nível Superior (CAPES), atuando em atividades de ensino, pesquisa e extensão de 1997 à 1999.

No ano de 2000 iniciou o curso de mestrado no Programa de Pós-graduação em Fitotecnia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), trabalhando no Departamento de Plantas de Lavoura na área de Fisiologia e Manejo da Cultura da Soja, sob a orientação do Professor José Antonio Costa.