



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

GUILHERME RENATO GOMES

**ARRANJO POPULACIONAL E ÉPOCAS DE SEMEADURA
NO DESEMPENHO AGRONÔMICO, QUALIDADE
TECNOLÓGICA DE VAGENS E FISIOLÓGICA DE
SEMENTES DE FEIJÃO-VAGEM DE CRESCIMENTO
DETERMINADO**

GUILHERME RENATO GOMES

**ARRANJO POPULACIONAL E ÉPOCAS DE SEMEADURA
NO DESEMPENHO AGRONÔMICO, QUALIDADE
TECNOLÓGICA DE VAGENS E FISIOLÓGICA DE
SEMENTES DE FEIJÃO-VAGEM DE CRESCIMENTO
DETERMINADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutor em Agronomia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lúcia Sadayo Assari Takahashi.

Londrina
2019

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

- G956 Gomes, Guilherme Renato.
Arranjo populacional e épocas de semeadura no desempenho agrônomo, qualidade tecnológica de vagens e fisiológica de sementes de feijão-vagem de crescimento determinado / Guilherme Renato Gomes. - Londrina, 2019.
140 f.
- Orientador: Lúcia Sadayo Assari Takahashi.
Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2019.
Inclui bibliografia.
1. Phaseolus vulgaris L - Tese. 2. Densidade de plantas - Tese. 3. Espaçamento entre linhas - Tese. 4. Qualidade de sementes - Tese. I. Takahashi, Lúcia Sadayo Assari. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 63

GUILHERME RENATO GOMES

**ARRANJO POPULACIONAL E ÉPOCAS DE SEMEADURA NO
DESEMPENHO AGRONÔMICO, QUALIDADE TECNOLÓGICA DE
VAGENS E FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE FEIJÃO-VAGEM DE
CRESCIMENTO DETERMINADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em
Agronomia da Universidade Estadual de Londrina,
como requisito parcial para a obtenção do Título de
Doutor em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lúcia Sadayo Assari
Takahashi
Universidade Estadual de Londrina - UEL

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

Prof. Dr. Marcelo Augusto de Aguiar e Silva
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Gustavo Adolfo de Freitas Fregonezi
Centro Universitário Filadélfia - UniFil

Prof. Dr. Antônio Augusto Lazarini Barboza
Universidade Norte do Paraná - UNOPAR

Londrina, 13 de dezembro de 2019.

Aos meus pais Edson e Maria Lourdes, aos meus avós Hilda e Mário, à minha esposa Renata e aos meus filhos Vicente e João Guilherme, dedico este estudo e todo o esforço e suor despendidos para concluí-lo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por renovar constantemente a minha fé, e por me manter firme e sereno no cumprimento de mais esta etapa da minha vida, e com a certeza de que fiz o melhor que pude até aqui. Obrigado Senhor.

A Universidade Estadual de Londrina, e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia por todo suporte oferecido para a condução do doutorado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de estudo e apoio.

A minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Lúcia Sadayo Assari Takahashi, por me encorajar quando necessário, me acalmar quando foi preciso, mas, acima de tudo, pelos anos de companheirismo e amizade durante a graduação, mestrado e doutorado, e que continuará daqui em diante. A senhora foi muito importante para minha formação profissional e pessoal.

Ao amigo Gustavo Henrique Freiria pela amizade, companheirismo e caráter demonstrados, e pela prontidão em sempre estar disposto a ajudar, independente do momento. Você me ajudou muito meu amigo. Obrigado.

Aos meus pais Edson e Maria Lourdes, por serem espelho de integridade, humildade e honestidade. O amor e respeito de vocês contribuem para que eu siga no caminho e lutando pelo que é certo. A vocês, minha eterna gratidão, amor e respeito.

Aos meus avós Hilda e Mário, exemplos de bondade e amor. A vocês, minha eterna gratidão, amor e respeito.

A minha esposa Renata, e aos meus filhos Vicente e João Guilherme. Vocês são minhas inspirações diárias. A vocês, lhes ofereço todo meu carinho e amor e, por vocês, busco constantemente ser um profissional e uma pessoa melhor. Vocês são as minhas razões.

Aos meus irmãos Vinicius e Leonardo por estarem comigo desde o início em todos os momentos. Amo vocês.

A todas as pessoas que não mencionei, e que, independente do modo, contribuíram para que este estudo fosse concretizado.

“Há homens que lutam um dia e são bons, há outros que lutam um ano e são melhores, há os que lutam muitos anos e são muito bons. Mas há os que lutam toda a vida e estes são imprescindíveis.”

(Bertolt Brecht)

GOMES, Guilherme Renato. **Arranjo populacional e épocas de semeadura no desempenho agrônômico, qualidade tecnológica de vagens e fisiológica de sementes de feijão-vagem de crescimento determinado**. 2019. 140 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

RESUMO

Alterações na distribuição das plantas no campo, bem como o seu cultivo em épocas de semeadura distintas, afetam o rendimento e a qualidade dos produtos colhidos. Objetivou-se com este estudo avaliar o desempenho agrônômico, a qualidade tecnológica de vagens e a qualidade fisiológica de sementes de feijão-vagem de crescimento determinado em resposta a diferentes arranjos populacionais e épocas de semeadura. Avaliou-se a cultivar Feltrin Macarrão Napoli[®], nas épocas de outono-inverno e verão-outono, em Londrina-PR. Em cada época, conduziu-se um experimento independente, em esquema fatorial 2x5, que corresponderam a dois espaçamentos entre linhas (0,45 e 0,90 m) e cinco densidades de plantas (133, 177, 221, 265 e 309 mil plantas ha⁻¹). O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com três repetições. O desempenho agrônômico foi determinado em função do crescimento, teores de pigmentos fotossintéticos e desempenho produtivo da cultivar de feijão-vagem. A análise de crescimento consistiu da avaliação das características massa seca das folhas, massa seca total, área foliar, razão de peso foliar e área foliar específica. No estádio R₆, foram quantificados os teores de clorofila a, b e carotenoides em folhas coletadas na área útil das parcelas. O desempenho produtivo foi avaliado pela determinação das características dias para florescimento, altura de planta, número de vagens por planta, massa média de vagem e rendimento de vagens. Quanto à qualidade tecnológica, as vagens foram avaliadas por meio dos seus teores de proteína e fibra bruta. Os dados obtidos nos experimentos de campo, em ambas as épocas, foram submetidos à análise conjunta, nos quais os fatores espaçamento entre linhas e época de semeadura foram comparados pelo teste de Tukey (p<0,05), enquanto o fator densidade de plantas foi submetido à análise de regressão (p<0,05). Em R₉, as sementes de feijão-vagem foram colhidas e enviadas ao laboratório para análise da sua qualidade fisiológica. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. Foram avaliadas as características primeira contagem de germinação, germinação, comprimento de parte aérea, raiz e total, massa seca de parte aérea, raiz e total, condutividade elétrica, emergência de plântulas em campo e índice de velocidade de emergência. Os dados foram submetidos à análise de componentes principais (ACP) e ao agrupamento UPGMA. O arranjo populacional e a época de semeadura influenciam de forma isolada, e em interação, o desempenho agrônômico, a qualidade tecnológica das vagens e a qualidade fisiológica das sementes de feijão-vagem de crescimento determinado. O rendimento e os teores de proteína bruta das vagens são favorecidos pela combinação entre a densidade de 221.000 plantas ha⁻¹ com o espaçamento de 0,45 m entre linhas, em cultivo de outono-inverno. De forma isolada, o espaçamento de 0,45 m entre linhas favorece o número de vagens por planta, a massa média de vagem e o rendimento de vagens. O cultivo de outono-inverno, isoladamente, favorece a área foliar específica, o número de vagens, a massa média de vagem, os teores de proteína, fibra bruta e o rendimento de vagens. O cultivo de verão-outono favorece, de forma isolada, a massa seca das folhas, a razão de peso foliar e os teores de clorofila a, b e carotenoides. A qualidade fisiológica das sementes é favorecida no outono-inverno, independente do arranjo populacional.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L. Espaçamento entre linhas. Densidade de plantas.

GOMES, Guilherme Renato. **Population arrangement and sowing times on agronomic performance, technological quality of pods and physiological of seeds of bushing snap bean.** 2019. 140 p. Tese (Programa de Pós-Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

ABSTRACT

Changes in the distribution of plants in the field, as well as their cultivation at different sowing times, affect the yield and quality of harvested products. The objective of this study was to evaluate the agronomic performance, the technological quality of the pods and the physiological quality of seeds of bushing snap bean in response to different population arrangements and sowing times. Was evaluated the cultivar Feltrin Macarrão Napoli[®] in the autumn-winter and summer-autumn seasons, in Londrina-PR. At each season, an independent experiment was carried out in a 2x5 factorial scheme, which corresponded to two row spacings (0.45 and 0.90 m) and five plant densities (133, 177, 221, 265 and 309 thousand plants per ha). The experimental design was randomized blocks, with three replications. The agronomic performance was determined as a function of growth, photosynthetic pigment contents and productive performance of snap bean cultivar. The growth analysis consisted of the evaluation of leaf dry mass, total dry mass, leaf area, leaf weight ratio and specific leaf area. At stage R₆, were quantified the levels of chlorophyll a, b and carotenoid in leaves collected in the useful area of the plots. The productive performance was evaluated by determining of the characteristics days to flowering, plant height, number of pods per plant, average pod mass and yield of pods. About the technological quality, the pods were evaluated by their protein and crude fiber contents. The data obtained in the field experiments, at both seasons, were submitted to joint analysis, in which the factors row spacing and sowing season were compared by Tukey test ($p < 0.05$), while the factor plant density was submitted to regression analysis ($p < 0.05$). In R₉, the snap bean seeds were harvested and sent to the laboratory for analysis of their physiological quality. The experimental design was completely randomized, with four replications. Were evaluated the characteristics first germination count, germination, shoot, root and total length, shoot, root and total dry mass, electrical conductivity, field seedling emergence and emergence speed index. The data were submitted to principal component analysis (PCA) and UPGMA clustering. Population arrangement and sowing season influence in isolation, and interaction, the agronomic performance, the technological quality of the pods and the physiological quality of the seeds of the bushing snap bean. The yield and crude protein content of the pods are favored by combining between the density of 221,000 plants per ha with the row spacing of 0.45 m, in cultivation of the autumn-winter season. In isolation, the row spacing of 0.45 m favors the number of pods per plant, the average pod mass and the pod yield. The cultivation of the autumn-winter season, in isolation, favors the specific leaf area, the number of pods, the average pod mass, the protein and crude fiber content and the pod yield. The cultivation of the summer-autumn season favors, in isolation, the leaf dry mass, the leaf weight ratio and chlorophyll a, b and carotenoid contents. The physiological quality of seeds is favored in autumn-winter, regardless of population arrangement.

Key words: *Phaseolus vulgaris*. Row spacing. Plants density.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1** - Precipitação pluvial (Prec), e temperaturas média (Tmed), máxima (Tmax) e mínima (Tmin) dos experimentos conduzidos no outono-inverno (A) e no verão-outono (B), no período compreendido entre semeadura e colheita das vagens. Londrina, 2019 46
- Figura 3.2** - Desdobramento do fator época de semeadura em função da densidade de plantas, para as características massa seca total (MST – Figuras A e B) e área foliar (AF – Figuras C e D) de feijão-vagem de crescimento determinado. Londrina, 2019 53
- Figura 3.3** - Desdobramento do fator densidade de plantas em função do espaçamento entre linhas, para a característica teor de carotenoides (CAROT) em folhas de feijão-vagem de crescimento determinado. Londrina, 2019 56
- Figura 3.4** - Massa seca das folhas (MSF) e índice de área foliar (IAF) de feijão-vagem de crescimento determinado em função da densidade de plantas. Londrina, 2019 59
- Figura 4.1** - Precipitação pluvial, e temperaturas média, máxima e mínima dos experimentos conduzidos no outono-inverno (A) e no verão-outono (B), no período compreendido entre semeadura e colheita das sementes. Londrina, 2019 66
- Figura 4.2** - Desdobramento dos fatores época de semeadura e espaçamento entre linhas em função da densidade de plantas, para a característica rendimento de vagens (RV) de feijão-vagem de crescimento determinado. Londrina, 2019 73
- Figura 4.3** - Desdobramento dos fatores época de semeadura e espaçamento entre linhas em função da densidade de plantas, para a característica teor de proteína bruta das vagens (TPBV) de feijão-vagem de crescimento determinado. Londrina, 2019 75
- Figura 4.4** - Número de vagens por planta (NVP) de feijão-vagem de crescimento determinado em função da densidade de plantas. Londrina, 2019..... 78
- Figura 5.1** - Precipitação pluvial, e temperaturas média, máxima e mínima dos experimentos conduzidos no outono-inverno (A) e no verão-outono (B),

no período compreendido entre semeadura e colheita das sementes.

Londrina, 2019 85

Figura 5.2 - *Biplot* da interação entre os componentes principais 1 (CP 1) e 2 (CP 2) com as características primeira contagem de germinação (PCG), germinação (GERM), massa seca de parte aérea, raiz e total (MSPA, MSR e MST), comprimento de parte aérea, raiz e total (CPA, CR e CT), índice de velocidade de emergência (IVE), emergência de plântulas em campo (PEC) e condutividade elétrica (CE). Londrina, 2019..... 90

Figura 5.3 - *Biplot* da interação entre os componentes principais 1 (CP 1) e 2 (CP 2) em função dos arranjos de plantas e épocas de semeadura. Londrina, 2019 92

LISTA DE TABELAS

- Tabela 3.1** - Valores de quadrado médio das características relacionadas ao crescimento e teor de pigmentos fotossintéticos das plantas de feijão-vagem de crescimento determinado em função da época de semeadura, densidade de plantas e espaçamento entre linhas. Londrina, 2019 50
- Tabela 3.2** - Desdobramento do fator densidade de plantas em função da época de semeadura, para as características massa seca total (MST) e área foliar (AF) de feijão-vagem de crescimento determinado. Londrina, 2019 52
- Tabela 3.3** - Desdobramento do fator densidade de plantas em função do espaçamento entre linhas, para a característica teor de carotenoides (CAROT) em folhas de feijão-vagem de crescimento determinado. Londrina, 2019 55
- Tabela 3.4** - Massa seca das folhas (MSF), razão de peso foliar (RPF) área foliar específica (AFE), teor de clorofila a (CLA), b (CLB) e carotenoides (CAROT) em folhas de feijão-vagem de crescimento determinado em função da época de semeadura. Londrina, 2019 58
- Tabela 4.1** - Valores de quadrado médio das características relacionadas ao desempenho agrônômico e à qualidade tecnológica de vagens de feijão-vagem de crescimento determinado em função da época de semeadura, densidade de plantas e espaçamento entre linhas. Londrina, 2019 70
- Tabela 4.2** - Desdobramento do fator densidade de plantas em função da época de semeadura e do espaçamento entre linhas, para a característica rendimento de vagens (RV) de feijão-vagem de crescimento determinado. Londrina, 2019 71
- Tabela 4.3** - Desdobramento do fator densidade de plantas em função da época de semeadura e do espaçamento entre linhas, para a característica teor de proteína bruta das vagens (TPBV) de feijão-vagem de crescimento determinado. Londrina, 2019 74
- Tabela 4.4** - Dias para florescimento (DPF), altura de planta (AP), número de vagens por planta (NVP), massa média de vagem (MMV) e teor de fibra bruta nas vagens (TFBV) de feijão-vagem de crescimento determinado em função das épocas de semeadura. Londrina, 2019 76

Tabela 4.5 - Número de vagens por planta (NVP) e massa média de vagem (MMV) de feijão-vagem de crescimento determinado em função do espaçamento entre linhas. Londrina, 2019	79
Tabela 5.1 - Componentes principais (CPs), autovalores (λ_i) e porcentagens das variâncias explicadas e acumuladas (%) pelos componentes principais. Londrina, 2019	88
Tabela 5.2 - Coeficientes de correlação entre as características primeira contagem de germinação (PCG), germinação (GERM), massa seca de parte aérea, raiz e total (MSPA, MSR e MST), comprimento de parte área, raiz e total (CPA, CR e CT), índice de velocidade de emergência (IVE), emergência de plântulas em campo (PEC) e condutividade elétrica (CE) com os componentes principais 1 e 2. Londrina, 2019	89

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1	FEIJÃO-VAGEM	21
2.1.1	Origem e Domesticação	21
2.1.2	Características Gerais	22
2.1.3	Fenologia	23
2.1.4	Hábitos de Crescimento.....	25
2.1.5	Produção e Importância Econômica.....	27
2.2	EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS	28
2.2.1	Temperatura do Ar	30
2.2.2	Disponibilidade de Água no Solo	30
2.2.3	Radiação Solar.....	31
2.3	ÉPOCAS DE SEMEADURA	32
2.4	ARRANJO DE PLANTAS	33
2.4.1	Arranjo de Plantas e Crescimento do Feijoeiro	34
2.4.2	Arranjo de Plantas e Desempenho Agrônômico do Feijoeiro.....	36
2.4.3	Arranjo de Plantas e Qualidade Tecnológica de Vagens	39
2.4.4	Arranjo de Plantas e Qualidade Fisiológica de Sementes	41
3	ARTIGO A: ARRANJOS DE PLANTAS E ÉPOCAS DE SEMEADURA NO CRESCIMENTO E TEOR DE PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS DE FEIJÃO-VAGEM DE HÁBITO DETERMINADO	44
3.1	RESUMO	44
3.2	ABSTRACT.....	45
3.3	INTRODUÇÃO.....	46
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	48
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
3.6	CONCLUSÕES.....	62

4	ARTIGO B: ARRANJOS DE PLANTAS E ÉPOCAS DE SEMEADURA NO DESEMPENHO PRODUTIVO DO FEIJÃO-VAGEM DE CRESCIMENTO DETERMINADO	64
4.1	RESUMO	64
4.2	ABSTRACT.....	65
4.3	INTRODUÇÃO.....	66
4.4	MATERIAL E MÉTODOS	68
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
4.6	CONCLUSÕES.....	83
5	ARTIGO C: ARRANJOS DE PLANTAS E ÉPOCAS DE SEMEADURA NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE FEIJÃO-VAGEM DE CRESCIMENTO DETERMINADO	84
5.1	RESUMO	84
5.2	ABSTRACT.....	85
5.3	INTRODUÇÃO.....	86
5.4	MATERIAL E MÉTODOS	87
5.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	90
5.6	CONCLUSÕES.....	97
6	CONCLUSÕES GERAIS	98
	 REFERÊNCIAS	 99
	 APÊNDICES	 118
	APÊNDICE A - Modelos matemáticos de resposta da área foliar total do feijão vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,45 m em cultivo de outono-inverno. Londrina, 2019	119
	APÊNDICE B - Modelos matemáticos de resposta da área foliar total do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,90 m em cultivo de outono-inverno. Londrina, 2019	120

APÊNDICE C - Modelos matemáticos de resposta do índice de área foliar do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,45 m em cultivo de outono-inverno. Londrina, 2019	121
APÊNDICE D - Modelos matemáticos de resposta do índice de área foliar do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,90 m em cultivo de outono-inverno. Londrina, 2019	122
APÊNDICE E - Modelos matemáticos de resposta da razão de peso foliar do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,45 m em cultivo de outono-inverno. Londrina, 2019	123
APÊNDICE F - Modelos matemáticos de resposta da razão de peso foliar do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,90 m em cultivo de outono-inverno. Londrina, 2019	124
APÊNDICE G - Modelos matemáticos de resposta da taxa de crescimento relativo do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,45 m em cultivo de outono-inverno. Londrina, 2019	125
APÊNDICE H - Modelos matemáticos de resposta da taxa de crescimento relativo do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,90 m em cultivo de outono-inverno. Londrina, 2019	126
APÊNDICE I - Modelos matemáticos de resposta da taxa de crescimento absoluto das vagens do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,45 m em cultivo de outono-inverno. Londrina, 2019	127
APÊNDICE J - Modelos matemáticos de resposta da taxa de crescimento absoluto das vagens do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,90 m em cultivo de outono-inverno. Londrina, 2019	128

APÊNDICE K - Modelos de partição de matéria seca do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,45 m em cultivo de outono-inverno. Londrina, 2019.....	129
APÊNDICE L - Modelos de partição de matéria seca do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,90 m em cultivo de outono-inverno. Londrina, 2019.....	130
APÊNDICE M - Modelos matemáticos de resposta da área foliar total do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,45 m em cultivo de verão-outono. Londrina, 2019	131
APÊNDICE N - Modelos matemáticos de resposta da área foliar total do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,90 m em cultivo de verão-outono. Londrina, 2019	132
APÊNDICE O - Modelos matemáticos de resposta do índice de área foliar do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,45 m em cultivo de verão-outono. Londrina, 2019	133
APÊNDICE P - Modelos matemáticos de resposta do índice de área foliar do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,90 m em cultivo de verão-outono. Londrina, 2019	134
APÊNDICE Q - Modelos matemáticos de resposta da razão de peso foliar do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,45 m em cultivo de verão-outono. Londrina, 2019	135
APÊNDICE R - Modelos matemáticos de resposta da razão de peso foliar do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,90 m em cultivo de verão-outono. Londrina, 2019.....	136

APÊNDICE S - Modelos matemáticos de resposta da taxa de crescimento relativo do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,45 m em cultivo de verão-outono. Londrina, 2019.....	137
APÊNDICE T - Modelos matemáticos de resposta da taxa de crescimento relativo do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,90 m em cultivo de verão-outono. Londrina, 2019.....	138
APÊNDICE U - Modelos matemáticos de resposta da taxa de crescimento absoluto das vagens do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,45 m em cultivo de verão-outono. Londrina, 2019.....	139
APÊNDICE V - Modelos matemáticos de resposta da taxa de crescimento absoluto das vagens do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,90 m em cultivo de verão-outono. Londrina, 2019.....	140
APÊNDICE W - Modelos de partição de matéria seca do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,45 m em cultivo de verão-outono. Londrina, 2019.....	141
APÊNDICE X - Modelos de partição de matéria seca do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,90 m em cultivo de verão-outono. Londrina, 2019.....	142

1 INTRODUÇÃO

O feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa versátil, de ciclo rápido, que pode ser cultivada de forma solteira ou em consórcios com outras hortaliças, em cultivo protegido ou a pleno sol, com ou sem o uso de estruturas de tutoramento. A cultura também é uma alternativa para aproveitamento da área disponível nos pequenos períodos de entressafra de outras olerícolas, da adubação residual e de estruturas de tutoramento instaladas para a condução de outras hortaliças. Em termos nutricionais, as vagens da leguminosa constituem fonte de fibras, proteínas, vitaminas e minerais. As sementes desta hortaliça também apresentam concentração significativa de proteínas.

O feijão-vagem pertence a mesma espécie do feijão comum. O que os diferencia, principalmente, é o destino do produto colhido. No feijão comum, objetiva-se a colheita de sementes e grãos, portanto, colhe-se a vagem madura. No feijão-vagem, realiza-se a colheita de vagens imaturas, que são consumidas *in natura*. Por apresentarem maior rendimento, os produtores de feijão-vagem preferem utilizar cultivares de crescimento indeterminado. No entanto, cultivares de crescimento determinado dispensam o tutoramento das plantas, concentram florescimento e produção em curto período de tempo, o que facilita e reduz a quantidade de tratos culturais empregados, e possibilitam a realização de uma única colheita. Deste modo, a utilização de cultivares de crescimento determinado pode reduzir os custos de produção das vagens e, em consequência, melhorar a renda do produtor.

Tradicionalmente, o *Phaseolus vulgaris* L. pode ser cultivado durante todo o ano, em diferentes épocas de semeadura, caracterizadas pela ação, com intensidades diferenciadas, dos elementos meteorológicos sobre o feijão. Estes elementos podem atuar de forma isolada ou combinada sobre os estádios vegetativos e assim, alterar o crescimento e o desenvolvimento da cultura; bem como afetar decisivamente os estádios de florescimento e frutificação, com efeitos sobre a produção e a qualidade das vagens e sementes.

Além das condições ambientais, os estádios vegetativos e reprodutivos do *Phaseolus vulgaris* L. são influenciados pelo arranjo espacial de plantas. Tal arranjo resulta da combinação entre o espaçamento entre linhas e a densidade de plantas, visando encontrar o modo adequado de distribuição das plantas na lavoura. A taxa de semeadura, ou seja, a quantidade de sementes utilizadas por área, em função do arranjo adotado, determina as relações de competição entre as plantas e define, em associação a outros fatores, o seu potencial individual de rendimento. Em arranjo adequado, o rendimento e a qualidade da produção do feijão-vagem são favorecidos, em função do melhor aproveitamento dos recursos

ambientais disponíveis para cada planta. Os custos de produção também são influenciados pelo arranjo, uma vez que o rendimento de vagens pode se manter estável com a utilização de menos plantas por área, em decorrência da capacidade da espécie em ocupar os espaços vazios decorrentes de falhas na emergência de plântulas, e/ou morte de plantas, além dos benefícios a sanidade da cultura.

Para o feijão-vagem de crescimento determinado são escassas as recomendações de espaçamento entre linhas e densidade de plantas, seja em uma ou mais épocas de cultivo. Considerando a possibilidade de se encontrar uma população ou faixa populacional no qual o rendimento e a qualidade das vagens e sementes podem ser otimizados, e os custos de produção reduzidos, em função da ação isolada ou da interação entre o arranjo espacial de plantas e a época de semeadura, objetivou-se com este estudo avaliar o desempenho agrônômico, a qualidade tecnológica de vagens e a qualidade fisiológica de sementes de feijão-vagem de crescimento determinado em resposta a diferentes arranjos de plantas e épocas de semeadura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 FEIJÃO-VAGEM

2.1.1 Origem e Domesticação

A origem e a diversificação primária do gênero *Phaseolus* ocorreram nas Américas (VAVILOV, 1931). Encontram-se populações silvestres de feijão desde o norte do México até o norte da Argentina, em altitudes entre 500 e 2.000 metros (DEBOUCK, 1986), distribuídas em regiões a partir de 52° N, estendendo-se até 32° S. No Brasil, plantas silvestres de feijão não crescem naturalmente (DEBOUCK, 1991).

A hipótese de o feijoeiro ter sido domesticado na Mesoamérica, e posteriormente disseminado para a América do Sul, foi proposta considerando que formas silvestres de feijão encontradas no México foram associadas a espécies domesticadas a cerca de 7.000 a.C. Por outro lado, indícios arqueológicos de cerca de 10.000 a.C. são indicativos de que o feijão teria sido domesticado na América do Sul e transportado para a América do Norte (SILBERNAGEL, 1996; ZIMMERMANN; TEIXEIRA, 1996; VIEIRA; BORÉM; RAMALHO, 1999).

A aceitação da origem americana da espécie ocorreu no final do século XIX, baseada em um grande número de amostras encontradas desde o sudoeste dos EUA, passando pela América Central, se estendendo pela região Andina da América do Sul até o Norte da Argentina e Chile; e datadas de quase 10.000 anos. Estes achados arqueológicos encontrados em regiões secas da América Central e dos Andes, constituem-se de restos de plantas sem traço característico do ancestral silvestre. Este fato sugere que o feijoeiro foi domesticado em regiões de maior umidade, e introduzido em regiões mais secas (GEPTS; DEBOUCK, 1991).

Estudos sugerem que a domesticação do feijão resultou de eventos consecutivos ocorridos na América Central e no Sul dos Andes, que levaram à formação dos centros Mesoamericano e Andino. Dentro destes centros, a evolução da espécie levou a mudanças morfológicas, fisiológicas e genéticas do feijão (GEPTS; DEBOUCK, 1991; SINGH et al., 1991). Ainda, um terceiro centro de origem é proposto na região da Colômbia (DEBOUCK, 1986; GEPTS; DEBOUCK, 1991). A ampla área de ocorrência do feijão é um dos fatores que permitiu o surgimento de diversas raças locais, dificultando a localização exata dos centros de domesticação da cultura (FREITAS, 2006).

Em termos gênicos, o feijão está inserido nos centros primário, secundário, terciário e quaternário (DEBOUCK, 1999). O primário agrupa populações cultivadas e silvestres, com híbridos férteis e sem impedimento para o cruzamento entre eles (GEPTS; BLISS, 1986; TORO; TOHME; DEBOUCK, 1990). O secundário compreende as espécies *P. coccineus*, *P. costaricensis* e *P. polyanthus*, que se inter cruzam facilmente, e também se reproduzem em cruzamentos com *P. vulgaris*. O terciário é constituído por *P. acutifolius* e *P. parvifolius*, que podem ser cruzadas com geração de progênes completamente férteis. Já as espécies *P. filiformis*, *P. angustissimus* e *P. lunatus* são do centro quaternário, nos quais seus inter cruzamentos, e seus cruzamentos com *P. vulgaris*, não produzem descendentes viáveis (SINGH, 2001).

Pesquisas moleculares com o gene *Phs* identificaram ao menos dez tipos de faseolinas em plantas domesticadas e silvestres, com alta correlação entre o tipo de faseolina encontrada e o local de origem do feijoeiro (GEPTS et al., 1986). Freitas et al. (2003) relataram que as faseolinas M, S, B, CH e I pertencem a amostras oriundas do México, Colômbia, Equador e Norte do Peru, enquanto as do tipo C, H, T, P e J encontram-se em materiais cultivados no Sul do Peru e na Argentina. Os autores concluíram que o fator cultural teria influenciado significativamente a relação entre faseolina e local de origem, pois as migrações humanas fizeram com que espécies e variedades, a princípio isoladas por grandes distâncias, ficassem próximas, o que aumentou a chance de fluxo gênico.

Quanto a origem do feijão-vagem, Andrade et al. (2016) estudaram a divergência genética entre 40 e 32 acessos de feijão-vagem de crescimento determinado e indeterminado respectivamente, por meio de marcadores moleculares AFLP. As análises de agrupamento UPGMA, PCoA e bayesiana revelaram que o feijão-vagem de crescimento determinado tem sua origem associada a região Andina; e os de crescimento indeterminado, à região Mesoamericana. A análise bayesiana constatou acessos intermediários entre os dois grupos, o que sugere uma introgressão gênica entre as duas regiões.

2.1.2 Características Gerais

As espécies do gênero *Phaseolus* estão amplamente difundidas ao longo dos continentes. São cultivadas em regiões tropicais e subtropicais, mas também se desenvolvem em regiões temperadas (MUÑOZ; GIRALDO; SOTO, 1993). O gênero pertence à subtribo Phaseolinae, tribo Phaseoleae, subfamília Papilionoideae e família Leguminosae, e é

composto por 55 espécies (DEBOUCK, 1991). Dentre estas, cinco foram domesticadas: *P. vulgaris*, *P. lunatus*, *P. coccineus*, *P. acutifolius*, *P. polyanthus* (DEBOUCK, 1986).

Também pertencente à espécie *Phaseolus vulgaris* L., o feijão-vagem é uma olerícola caracterizada pela colheita e consumo de vagens imaturas (HAESBAERT et al., 2011). A espécie é uma fabácea anual diplóide, de caule herbáceo, e haste angulosa com pêlos simples. Desta haste, são emitidos os ramos laterais. As raízes são superficiais, pivotantes, e com capacidade de fixar o nitrogênio pela nodulação formada em decorrência da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* (VIEIRA; BORÉM; RAMALHO, 1999).

As folhas são compostas de três folíolos, nos quais dois se posicionam lateralmente, e um ocorre em posição central. As flores são heteroclamídeas, zigomorfas e pentâmeras (SILBERNAGEL, 1996; VIEIRA, 1988; ZIMMERMANN; TEIXEIRA, 1996). Morfologicamente, as flores do *Phaseolus vulgaris* L. são hermafroditas e auto férteis, pois o estigma e as anteras se encontram protegidos pelas pétalas, e a polinização ocorre no momento da abertura da flor (KUROZAWA, 2007). Essa conformação floral confere a espécie à predominância de autogamia, com taxa de fecundação cruzada que varia de 0 a 9%. Os frutos são vagens que apresentam polpa espessa e formato afilado, dentro das quais se desenvolvem as sementes (FILGUEIRA, 2003).

A seção transversal das vagens classifica as cultivares nos grupos holandesa, macarrão, manteiga e de metro. A vagem holandesa apresenta seção elíptica, perfil longitudinal reto, ápice abrupto com dente apical reto marginal e coloração verde-escura. Também com seção elíptica, a vagem do grupo macarrão tem perfil longitudinal semiarqueado, ápice abrupto com dente apical semiarqueado marginal e coloração verde clara. Vagens do grupo manteiga tem seção achatada, perfil longitudinal semiarqueado, presença de fio nas fendas longitudinais entre as duas metades do fruto, ápice abrupto com dente apical arqueado marginal e coloração verde esbranquiçada. As vagens de metro atingem até 90 cm de comprimento, apresentam seção circular, perfil longitudinal semiarqueado, ápice afilado e coloração verde intensa (NORMAS DE CLASSIFICAÇÃO, 2012).

O ponto ideal de colheita das vagens ocorre concomitantemente ao seu máximo desenvolvimento, mas antes que se tornem fibrosas e com sementes desenvolvidas. Na prática, conhece-se esse ponto na medida em que as vagens apresentam suas pontas facilmente quebráveis ao serem envergadas. De modo geral, vagens do tipo macarrão são mais consumidas e, em consequência, apresentam maior importância econômica. Tais vagens atingem ponto comercial entre 15 a 18 cm de comprimento e 0,8 cm de diâmetro médio, com pequenas variações (FILGUEIRA, 2003).

2.1.3 Fenologia

A utilização de uma escala fenológica é fundamental para a definição adequada do momento, da escolha, do modo e da intensidade dos tratamentos culturais a serem empregados em uma cultura (BLEIHOLDER et al., 1991). Assim, é recomendável o uso de chaves fenológicas descritivas pautadas em mudanças morfológicas e fisiológicas ocorridas sequencialmente durante o ciclo das culturas, objetivando aumentar a eficiência do uso de insumos, defensivos e água, e favorecer estratégias de manejo e de tomada de decisão, visando rendimentos satisfatórios e lucrativos (DOURADO NETO; FANCELLI, 2000).

As mudanças morfológicas e fisiológicas de uma planta de feijão servem como base para identificação dos seus estádios de desenvolvimento. No entanto, os conceitos de crescimento e desenvolvimento são fundamentais para um melhor entendimento de como a planta de feijão se desenvolve.

O crescimento é um fenômeno quantitativo, mensurado por parâmetros como altura de planta, número de nós, índice de área foliar, acúmulo de massa seca, dentre outros. É um conceito relacionado à divisão e expansão das células localizadas nos pontos de crescimento das plantas, e que no total, promove incremento de massa da planta. O desenvolvimento é um fenômeno qualitativo que envolve diferenciação celular, e resulta em mudanças funcionais e morfológicas das células. A mudança da fase vegetativa para a reprodutiva, marcada pelo aparecimento dos botões florais, representa o processo de desenvolvimento de uma planta de feijão. O desenvolvimento vegetativo começa quando as sementes apresentam condições para germinar e se encerra com o aparecimento dos botões florais, no caso de cultivares de crescimento determinado, ou dos primeiros racemos, nas cultivares de crescimento indeterminado (FERNANDEZ; GEPTS; LÓPEZ, 1986).

A fase vegetativa inicia-se na etapa V_0 , denominada germinação. Esta fase se encerra quando o hipocótilo se desenvolve e chega ao nível do solo. A etapa V_1 corresponde à emergência das plântulas, quando as folhas primárias começam a se desenvolver. Já o início da etapa V_2 ocorre quando as bordas das folhas primárias unifoliadas não mais se tocam. Nesta fase, elas apresentam seu máximo desenvolvimento, e se posicionam de forma horizontal. Ainda, é nesta etapa que os cotilédones perdem sua função e murcham, e o primeiro trifólio tem seu desenvolvimento iniciado. A etapa V_3 é iniciada quando o primeiro trifólio se encontra completamente expandido. Em V_4 , o terceiro trifólio encontra-se completamente aberto, e há o desenvolvimento das primeiras hastes secundárias, originadas das gemas axilares dos nós inferiores (FERNANDEZ; GEPTS; LÓPEZ, 1986).

A etapa R₅ é a primeira fase reprodutiva do feijoeiro. Corresponde à pré-floração. Inicia-se quando 50% das plantas de uma lavoura apresentam ao menos um botão floral (cultivares de crescimento determinado) ou um racemo (cultivares de crescimento indeterminado). A etapa R₆ corresponde a fase de floração da cultura. Inicia-se com a abertura da primeira flor e termina com a exposição da primeira vagem em início de desenvolvimento. Em R₇, as vagens estão formadas. A etapa R₈, ou comumente conhecida como fase de enchimento de vagens, começa após a primeira vagem ter atingido seu comprimento máximo. O fim desta etapa é determinado pela mudança da cor dos grãos, de verde para a cor característica do genótipo. A etapa R₉ é a última da fase reprodutiva, e corresponde à maturação das vagens. Nesta etapa, as vagens perdem coloração, e ocorre o amarelecimento e a queda das folhas. Posteriormente, a planta seca na sua totalidade. Há ainda redução do teor de umidade das sementes (FERNANDEZ; GEPTS; LÓPEZ, 1986).

A duração dos estádios fenológicos da cultura do feijão pode ser afetada por alguns fatores, destacando-se o genótipo, as condições climáticas e o manejo da cultura (DOURADO NETO; FANCELLI, 2000).

2.1.4 Hábitos de Crescimento

Para o feijoeiro, o hábito de florescimento é determinante para classificar o seu hábito de crescimento. Nas plantas de hábito determinado, uma inflorescência se abre no ápice da haste principal, e, posteriormente, outras se abrem nas hastes laterais, ou seja, o florescimento ocorre do ápice para base, no qual, o aparecimento da primeira flor, determina o final do crescimento das plantas. Nas plantas de hábito indeterminado, a abertura da primeira inflorescência ocorre na base das plantas, e segue nas inflorescências superiores. Assim, o florescimento ocorre da base para o ápice, e a planta continua o seu crescimento após a abertura da primeira flor (SANTOS; GAVILANES, 2006).

Quanto ao tipo de crescimento, as cultivares são classificadas em Ia, Ib, IIa, IIb, IIIa, IIIb, IVa e IVb. O tipo I inclui as de hábito de crescimento determinado ou arbustivo, que possuem menos e mais curtos internódios dentre todos os tipos (Ia). Aquelas com maior número e internódios mais longos tendem a acamar (Ib). Ambas possuem menor tolerância à falta de água, menor capacidade de compensação produtiva, e concentram suas vagens no terço médio do caule (DOURADO NETO; FANCELLI, 2000).

Cultivares de porte ereto com crescimento indeterminado estão incluídas no tipo IIa, enquanto que IIb corresponde às semitrepadoras. Ambas possuem mais de 12 nós na

haste principal, maior número de hastes laterais, média tolerância à falta de água e boa compensação de vagens, que se concentram nos terços médio e inferior da planta. As do tipo IIIa são prostradas ou semitrepadoras, com tendência arbustiva em ambientes limitantes ao seu crescimento. Já as IIIb são prostradas ou trepadoras, e possuem menor número de hastes laterais. Plantas do tipo III são mais desenvolvidas, possuem maior número de nós, maior comprimento dos internódios, alta capacidade de compensação de vagens, rusticidade e elevado potencial produtivo (DOURADO NETO; FANCELLI, 2000).

O hábito de crescimento IV é o das plantas exclusivamente trepadoras, que necessitam de tutoramento para expressarem sua máxima produtividade. Apresentam haste principal entre 20 e 30 nós, e podem alcançar mais de dois metros de comprimento. Quando apresentam vagens distribuídas por toda a planta são classificadas em IVa; enquanto IVb correspondem aquelas em que as vagens se concentram na parte superior da planta (SANTOS; GAVILANES, 2006).

A produção de feijão-vagem no Brasil caracteriza-se pela utilização de cultivares de crescimento indeterminado, pois atingem maiores produções (QUEIROGA et al., 2003). Contudo, são mais exigentes em mão-de-obra, pois necessitam de tutoramento, e, por terem maior ciclo, estão sujeitas a ataques de pragas e doenças durante um maior período. Estes fatores podem contribuir para a elevação dos seus custos de produção (BRANDÃO, 2001).

Contudo, mesmo com produção inferior, cultivares de crescimento determinado dispensam o tutoramento das plantas, apresentam menor ciclo, o que favorece um maior número de colheitas por ano (FERNANDEZ; GEPTS; LÓPEZ, 1986), concentram florescimento e produção em curto período de tempo, e possibilitam a realização de uma única colheita (MOREIRA et al., 2009). A ação isolada ou combinada destes fatores pode contribuir para redução dos custos de produção das vagens, e aumentar a liquidez do produtor (PEIXOTO et al., 1993; PEIXOTO et al., 1997; FILGUEIRA, 2003).

Em média, a colheita das vagens das cultivares de crescimento determinado se inicia entre 50 a 55 dias após a semeadura. Para as cultivares de crescimento indeterminado, o mesmo período ocorre entre 60 a 70 dias após a semeadura. No Brasil, a colheita das vagens é realizada de forma manual, o que torna a operação onerosa e de baixa eficiência operacional. A produtividade de vagens por área é variável, e pode superar 20 Mg ha⁻¹ para cultivares de crescimento indeterminado, e a metade desse rendimento para as de crescimento determinado (FILGUEIRA, 2003).

2.1.5 Produção e Importância Econômica

A produção mundial de feijão-vagem é de 1,87 milhões de t ano⁻¹, produzidas em cerca de 190 mil hectares, que em média, apresentam produtividade de 9,8 toneladas. Deste montante, 1,03 milhões de toneladas são produzidas nas Américas, nas quais cerca de 8% são provenientes da América do Sul. No mundo, entre 2007 e 2017, a área colhida da cultura foi reduzida em cerca de 20%, e a produção total apresentou queda de cerca de 8%. Em contrapartida, houve incremento de 14% no rendimento de vagens por hectare. Os Estados Unidos, seguido da França, Marrocos, México e Filipinas são os maiores produtores mundiais da olerícola (FAO, 2017).

No Brasil, os dados são incipientes. Segundo a Conab (2015), os dados mais atuais sobre a cultura no Brasil evidenciaram a movimentação de cerca de 180 milhões de reais considerando a produção e a comercialização de vagens no país. Segundo Miklas (2003), a renda gerada com a produção do feijão-vagem no Brasil é influenciada pela menor quantidade de recursos financeiros direcionados aos seus produtores, o que compromete a eficiência dos tratamentos culturais necessários à melhoria da produtividade, e expõe as vagens a estresses bióticos e abióticos. Por outro lado, é comum observar melhoria do rendimento com a utilização de produtos fitossanitários, o que nem sempre implica em aumento da renda, pois o número de aplicações pode variar em função do ano, e assim, aumentar o custo de produção da olerícola.

O feijão-vagem constitui-se uma alternativa para diversificação da produção na entressafra de outras olerícolas, tanto em ambientes protegidos como a pleno sol, pois aproveita as estruturas de tutoramento e a adubação residual da cultura anterior, e serve para quebrar o ciclo de algumas doenças (SANTOS et al., 2012).

No Paraná, a produção de feijão-vagem é de aproximadamente 20 mil toneladas, das quais 61% são oriundas de áreas com menos de 50 hectares, com uso de mão-de-obra familiar. A produtividade média de vagens no Estado é de 12,3 Mg ha⁻¹, com destaque para os municípios de Cafezal do Sul, Curitiba, São Jorge do Ivaí, Nova Londrina e Sulina (PARANÁ, 2013).

Dados econômicos da Companhia Nacional de Abastecimento (2016) e da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado do Paraná (2016) revelaram que os preços médios pagos pelos quilos da vagem e do grão foram de R\$ 2,48 e R\$ 3,01, respectivamente. A relação entre os preços evidenciou que o valor recebido pela olerícola equivale a 82% do valor recebido pelo grão. Quando se considera que o feijão-vagem é

cultivado em áreas menores que o feijão comum, e possivelmente, com menores custos de produção, esta relação demonstra a rentabilidade do cultivo do *Phaseolus vulgaris* L. destinado a produção de vagens (FILGUEIRA, 2003).

2.2 EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS

Os elementos climáticos são fundamentais para a produção agrícola, e decisivos no cultivo das hortaliças (ARAÚJO, 2014). Seu conhecimento auxilia no planejamento agrícola, e na obtenção de produtividade, rentabilidade e diminuição de perdas (PEREIRA et al., 2014). O crescimento e o desenvolvimento vegetal são influenciados pela temperatura do ar e do solo, bem como pela disponibilidade de água no solo, radiação solar e fotoperíodo (WUTKE et al., 2000). No entanto, para o feijoeiro, se destacam a temperatura e umidade do ar, a necessidade de água e a radiação solar (PEREIRA et al., 2014).

2.2.1 Temperatura do Ar

A temperatura afeta o desenvolvimento do feijoeiro em diferentes estádios fenológicos (BRASIL, 2015). Segundo Pereira et al. (2014), o florescimento e a frutificação, determinantes no desempenho agrônômico, são diretamente impactados pelas variações de temperatura.

Segundo Vieira, Paula Júnior e Borém (2006) a faixa térmica ideal para o cultivo encontra-se de 17,5 a 25 °C. De acordo com Aidar, Kluthcouski e Stone (2002), temperaturas diurnas e/ ou noturnas elevadas, nos estádios R₅ ou R₆, ocasionam quedas no rendimento, devido à redução do número de vagens por planta. Em altas temperaturas ocorre abscisão dos órgãos reprodutivos, e em temperaturas acima de 35 °C não há formação de vagens (VIEIRA; PAULA JÚNIOR; BORÉM, 2006).

Para Mariot (2000), a abscisão floral ocorre em função da esterilização do grão de pólen e do aumento da síntese do etileno. O etileno aumenta a produção e o transporte de celulases junto a região do pedúnculo floral, o que promove a sua queda. Redução de ciclo, aumento na atividade respiratória, redução na taxa de assimilação de gás carbônico e aumento de biomassa também são ocasionados pelo aumento da temperatura (SHONNARD; GEPTS, 1994). Em condições de alta temperatura e umidade relativa do ar há aumento na incidência de doenças durante os estádios vegetativos e reprodutivos, o que afeta de forma negativa o rendimento final da cultura (VIEIRA; PAULA JÚNIOR; BORÉM,

2006).

A associação entre temperatura e umidade relativa do ar também regula a demanda evaporativa atmosférica do feijoeiro, que, em termos práticos, resulta no aumento da transpiração da planta em condições de alta temperatura e baixa umidade relativa do ar. Em consequência, há absorção de água pelas raízes em função da necessidade de reposição da água perdida por transpiração. A magnitude dessa absorção têm relação direta com a intensidade da transpiração da planta, e determina a manutenção da temperatura, as trocas gasosas e a quantidade de nutrientes que são absorvidos pelas plantas. O déficit hídrico se instala quando não há água disponível no solo para absorção pelas raízes, porém há perda de água por transpiração em função da elevada demanda atmosférica (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007).

Baixas temperaturas também afetam as fases vegetativa e reprodutiva do feijoeiro. Se ocorrerem após a semeadura, aumentam o tempo para ocorrência da germinação e emergência das plântulas, o que pode influenciar o estabelecimento do estande e a produtividade (VIEIRA; PAULA JÚNIOR; BORÉM, 2006). Quando ocorrem durante o crescimento vegetativo, reduzem a altura das plantas e o comprimento dos ramos, com diminuição do número de vagens por planta (PORTES, 1996).

Temperaturas inferiores a 15 °C inviabilizam o funcionamento normal dos órgãos reprodutivos, e, quando se encontram entre 2 e 10 °C, reduzem a produção de biomassa e retardam o desenvolvimento das plantas, devido à alterações no seu metabolismo (FILGUEIRA, 2003). A espécie é intolerante à geada, em qualquer estágio de desenvolvimento (MARIOT, 2000).

2.2.2 Disponibilidade de Água no Solo

A água é o principal componente para o desenvolvimento vegetal, responsável por processos básicos como fotossíntese, translocação de nutrientes e fotoassimilados, respiração e transpiração (VIEIRA; PAULA JÚNIOR, BORÉM, 2006).

Estima-se que o consumo hídrico do feijão seja de 300 a 600 mm durante o seu ciclo, com consumo médio diário de 3 a 4 mm, e necessidade de disponibilidade hídrica mensal de 100 mm (MARCO et al., 2012). No entanto, o requerimento de água é variável em função dos seus estádios de desenvolvimento (NÓBREGA et al., 2001). Segundo Matzenauer, Maluf e Bueno (1998), da germinação (V_0) até a emissão das folhas primárias (V_2), o feijão consome cerca de 30,0 mm de água. Entre V_2 a R_5 (pré-floração) e R_5 a R_8

(enchimento de vagens), o feijão necessita, respectivamente, de 75,0 e 83,0 mm de água.

O feijoeiro apresenta sensibilidade ao déficit e ao excesso de água no solo (ARAÚJO, 2014). Entre a semeadura e a emissão do quarto trifólio, a falta de água ocasiona prejuízo na germinação, na emergência e na sobrevivência das plantas, o que resulta em reduzido estande, e em menor rendimento (VIEIRA et al., 1998). Na fase vegetativa, diminui o crescimento e a área assimilatória, e ocasiona menor tamanho e número de vagens. Durante a floração, provoca abortamento das flores, com redução do número de vagens por planta (GUIMARÃES, 1996). De acordo com Fancelli e Dourado Neto (1997), a fase do pré-florescimento é uma das mais críticas em relação à baixa disponibilidade de água, pois o consumo da planta pode ser superior a $5,0 \text{ mm dia}^{-1}$ em condições de calor intenso e reduzida umidade relativa do ar.

A deficiência hídrica é sentida quando a taxa de evapotranspiração é maior que a taxa de absorção de água pelas raízes. Como o feijoeiro apresenta grande porção do seu sistema radicular distribuído nas camadas mais superficiais, estiagens ou longos intervalos entre as irrigações, podem reduzir o conteúdo de água destas camadas. Altas temperaturas associadas a baixa umidade relativa do ar levam ao aumento da transpiração e intensificam a demanda de água pela planta. Em caso de déficit hídrico no solo, o número de vagens e o enchimento de grãos são comprometidos (VIEIRA; PAULA JÚNIOR, BORÉM, 2006).

O excesso de água do solo também traz danos à cultura, em função da drenagem deficiente ou excesso de irrigação, o que resulta em redução do oxigênio no solo e prejuízo à germinação, e ao desenvolvimento do sistema radicular. Além disso, aumenta a incidência de patógenos que afetam as raízes, com redução da sobrevivência das plantas. Quando ocorrente nas etapas de florescimento e frutificação, pode levar à redução de 48 a 68% da produção, devido a queda das estruturas florais (VIEIRA; PAULA JÚNIOR; BORÉM, 2006).

2.2.3 Radiação Solar

A faixa de comprimento de onda entre 400 e 700 nanômetros constitui a energia radiante fotossinteticamente ativa e representa entre 46 e 50% da radiação global (BARNI et al., 1995). A taxa fotossintética depende da distribuição da radiação solar nos diferentes estratos do dossel, e do total absorvido em cada estrato. O feijão, se exposto a menor quantidade de radiação solar, como em condições de dia curto, apresenta aumento no índice de área foliar, com o objetivo de interceptar maior quantidade de energia luminosa.

Em condições de alta radiação solar, os índices de área foliar são menores. Porém, isso não significa que haverá um aumento no rendimento da cultura, pois a produção está diretamente relacionada à eficiência fotossintética da cultivar (SILVANDO; STEINMETZ, 2008).

A maior ou menor quantidade de radiação solar incidente sobre as plantas afeta a quantidade de energia convertida, e conseqüentemente a quantidade de massa seca produzida. Segundo Barni (1994) os índices de área foliar, bem como outros fatores físicos e biológicos determinam a absorção da radiação incidente.

2.3 ÉPOCAS DE SEMEADURA

Na literatura, não há uma recomendação específica das épocas de semeadura a serem adotadas para o cultivo do feijão-vagem determinado. Autores como Vidal et al. (2007) e Gomes et al. (2016) adotaram a designação proposta por Araújo e Ferreira (2006). Os autores consideraram que, pelos meses em que ocorrem as semeaduras, o *Phaseolus vulgaris* L. está presente no campo durante todo ano. Assim, eles identificaram a necessidade e definiram as épocas de semeadura com base nas datas de semeadura e colheita. Desta forma, determinou-se os cultivos de primavera-verão, verão-outono, outono-inverno e inverno-primavera.

As épocas de semeadura são caracterizadas por apresentarem condições meteorológicas distintas que, quando favoráveis, contribuem para o crescimento e desenvolvimento adequado da espécie; no entanto, quando desfavoráveis, podem limitar a produtividade do feijoeiro (SIMIDU et al., 2010).

Quanto ao desempenho agrônômico do feijão-vagem de crescimento determinado, são escassos os relatos na literatura que o avaliaram em diferentes épocas de semeadura. Os estudos encontrados restringiram-se a Peixoto et al. (1997) e Vidal et al. (2007), e ambos observaram melhorias no número de vagens por planta e a produtividade do feijão-vagem no outono-inverno em comparação a primavera-verão, devido a menor pressão de pragas e menor estresse decorrente do calor.

Para o feijão comum, estudos demonstraram que a época de outono-inverno favoreceu a produção de grãos, em relação aos cultivos de primavera-verão e verão-outono, como os relatados por Arf, Sá e Guerreiro Neto (1993), em trabalho realizado com cultivo de feijão de grãos em maio, junho e julho, observaram a obtenção de maiores produtividades frente às outras épocas de semeadura. Teixeira et al. (2000) em Lavras-MG, Paula Júnior et al. (2008) na Região Central do Brasil, Martins et al. (2009) em Uberlândia-MG, Pereira et al.

(2010) em diversos municípios do Estado de Goiás e em Planaltina-DF, bem como Simidu et al. (2010) em Selvíria-MS, também observaram maiores produtividades de grãos no cultivo do feijão no outono-inverno. Os autores atribuíram esse desempenho à redução da temperatura e à menor incidência de pragas e doenças.

Em contrapartida, Ribeiro et al. (2004) verificaram superioridade no desempenho produtivo do feijão comum na safra das águas em comparação a safra da seca, e não em relação à safra de outono-inverno, em estudo realizado em Santa Maria-RS. Em contrapartida, em estudo sobre estabilidade de linhagens e cultivares de feijão comum nos municípios paulistas de Capão Bonito, Monte Alegre do Sul, Votuporanga, Ribeirão Preto, Pindorama e Taquarituba, Carbonell et al. (2007) relataram que todas as épocas de semeadura são favoráveis para produção de grãos do feijoeiro.

Quanto à qualidade tecnológica das vagens, não há relatos na literatura que compararam o efeito de diferentes épocas de semeadura. Para o feijão comum, Beebe, Gonzalez e Rengifo (2000) observaram interação significativa entre genótipo e ambiente para os teores de ferro e de zinco, na avaliação de 29 genótipos cultivados em três ambientes e em todas as épocas de semeadura na Colômbia, e constataram que algumas cultivares, independente do local ou da época de cultivo, mantiveram superioridade no acúmulo destes minerais nos grãos. Os autores concluíram que locais e épocas de semeadura distintos interferem na translocação dos nutrientes necessários para a formação e qualidade nutricional dos grãos e, conseqüentemente, nos teores dos minerais em seus tecidos.

Quanto à qualidade fisiológica de sementes de feijão-vagem, não foram encontrados relatos na literatura que a avaliasse em decorrência a diferentes épocas de semeadura. Para o feijão-comum, Carvalho, Arf e Sá (1998) realizaram um estudo em Selvíria-MS com 14 genótipos em maio e junho, e concluíram que a semeadura na primeira quinzena de maio foi favorável a produção de sementes de alta qualidade fisiológica. Também em Selvíria-MS, Simidu (2009) avaliou duas cultivares de feijão carioca e uma do grupo preto, em junho e julho de 2007, e em abril e maio de 2008. A autora concluiu que, em ambos os anos, a segunda época de cultivo reduziu a qualidade fisiológica das sementes, e atribuiu esse resultado às temperaturas acima de 25 °C que ocorreram no período, associada à quantidade reduzida de palhada na superfície do solo. Deste modo, houve alta incidência de radiação no solo, e em conseqüência aumento na evaporação e redução da quantidade de água do solo, ocasionando redução do vigor das sementes.

2.4 ARRANJO DE PLANTAS

O potencial produtivo pode ser definido como o rendimento obtido em ambiente no qual a cultura está adaptada, sem limitação de água e nutrientes, e com insetos, doenças, plantas daninhas e demais estresses controlados. No entanto, o ambiente impõe restrições para que o genótipo expresse o seu potencial agrônomo. Assim, são importantes os estudos que avaliam os limites de produtividade das culturas em função de modificações do ambiente de produção, com reflexos sobre o manejo das culturas (EVANS, 1993).

A obtenção de altos rendimentos implica em maximização da área de interceptação da radiação, utilização eficiente da energia interceptada pela fotossíntese e distribuição dos assimilados para formação de folhas, caules, raízes e de estruturas reprodutivas (LOOMIS; AMTHOR, 1999).

O rendimento é dependente da fotossíntese e da respiração do dossel, e ambos, dependem da interceptação da radiação solar. Por sua vez, a referida interceptação é afetada pelo índice de área foliar, ângulo da folha, interceptação por outras partes da planta, distribuição das folhas na planta, distribuição das plantas no campo, características de absorção de luz pela folha e pela quantidade de radiação incidente, que, dentre os fatores mencionados, é o único não afetado pelo arranjo espacial de plantas (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001).

O arranjo espacial de plantas resulta de diferentes combinações de espaçamento entre linhas e densidades de plantas, visando encontrar o modo mais adequado de distribuição das plantas na área. Deste modo, o arranjo de plantas influencia na eficiência da semeadura, pois está diretamente relacionada à quantidade de sementes utilizadas para o estabelecimento do estande de plantas no campo (ASSIS et al., 2014).

Para o *Phaseolus vulgaris* L., o arranjo de plantas tem significativa correlação com o hábito de crescimento e com a altura de planta. Cultivares de crescimento determinado sofrem menor competição nas maiores densidades, em relação às de crescimento indeterminado, que apresentam menor adaptação ao adensamento populacional (SANTOS; GAVILANES, 2006). Deste modo, a utilização de uma, ou de faixa de população ideal de plantas por área, favorece o crescimento das plantas, bem como a produtividade e a qualidade da produção (MORAIS et al., 2001).

Fatores como penetração de luz no dossel, disponibilidade de água e nutrientes, mecanização em operações de manejo fitossanitário, nutricional e colheita, época de semeadura, bem como o nível de investimento e tecnologia adotados no campo também

estão relacionados com o número de plantas por área, e devem ser considerados no planejamento do cultivo. Se erroneamente dimensionado na semeadura, o arranjo espacial de plantas pode comprometer as fases posteriores de desenvolvimento do feijoeiro (SILVA et al., 2008).

2.4.1 Arranjo de Plantas e Crescimento do Feijoeiro

O crescimento e o desenvolvimento das plantas de feijão dependem das características da cultivar e das condições de cultivo. Dentre as mudanças que podem ser realizadas nas condições em que o feijoeiro cresce, a escolha do arranjo de plantas representa uma prática na qual se busca distribuir a população de maneira adequada, visando à otimização dos recursos da área de produção (JADOSKI et al., 2000).

Teixeira et al. (2000) não encontraram efeito significativo da densidade populacional sobre a altura de plantas da leguminosa. Em contrapartida, Valério, Andrade e Ferreira (1999) verificaram relação direta entre incremento de população e aumento da altura das plantas. Os autores atribuíram esse desempenho a menor fotodegradação da auxina nas maiores populações, e, conseqüentemente, um equilíbrio dos hormônios auxina e giberelina que favoreceu o crescimento dos internódios. Também há estudos que registraram relação inversa entre população e altura de plantas, em função da maior competição por água e nutrientes (SOUZA et al., 2002; 2004).

Zabot et al. (2004) observaram que, com o aumento da densidade de semeadura, houve maior acúmulo de massa seca nas plantas do feijão comum BR Ipagro 44[®], cultivar Guapo Brilhante de crescimento indeterminado. Os autores evidenciaram a capacidade de compensação da cultivar, ao verificarem que, à medida que o ciclo da cultura avançou, diminuíram as diferenças no acúmulo de massa seca, o que demonstra que as menores populações conseguiram aproveitar melhor os espaços.

Allig (2013) estudou duas cultivares de feijão-vagem de crescimento indeterminado, submetendo-as as densidades 1, 2 3 plantas por cova, durante os meses de setembro de 2011 a março de 2012, nas Filipinas. A autora não observou efeito significativo do adensamento sobre o desempenho das características dias para florescimento, dias para maturação das sementes e número de ramos laterais por planta. A autora atribuiu o resultado às diferenças genéticas entre as cultivares.

Al-Suhaibani, El-Hendawy e Schmidhalter (2013), submeteram duas variedades de feijão-fava (*Vicia faba* L.) às densidades de 4, 6, 8, 10 e 12 plantas por parcela,

durante as épocas de inverno de 2011 e 2012, em estudo realizado no Egito. Os autores verificaram que a taxa de crescimento relativo e a taxa de assimilação líquida foram superiores nas densidades de 6 e 8 plantas por parcela, em ambos os anos. Para a característica período de permanência da área foliar, os autores constataram que as maiores médias ocorreram nas densidades de 4 e 8 plantas por parcela. Os autores também avaliaram outros parâmetros de crescimento da cultura, aos 70 e 100 dias após a semeadura. Considerando a média entre os anos de cultivo e variedades, houve decréscimo na altura de planta e no índice de área foliar na menor população testada. Já na maior densidade, houve redução do número de ramos, da massa seca total das plantas e na área foliar das plantas.

Tuarira e Moses (2014) avaliaram o crescimento do feijão-vagem de crescimento determinado no Zimbábue, testando os espaçamentos de 40x40, 35x35, 30x30 e 25x25 cm (entre linhas x entre plantas) em parcelas quadradas, além dos espaçamentos entre linhas de 40 e 50 cm (parcelas retangulares), com variações nos espaçamentos entre plantas. Em todas as parcelas, foram alocadas as populações de 125.000, 163.265, 222.222 e 320.000 plantas ha⁻¹. Os autores observaram efeito significativo da população sobre a altura e número de ramos por planta, e indicaram que a população de 222.222 plantas ha⁻¹, em arranjo quadrado, favorece o crescimento da cultura.

No Egito, Seif et al. (2016) avaliaram o feijão-vagem de crescimento determinado nas densidades de 22 e 33 plantas por m², e observaram que o índice de área foliar e a massa seca das plantas foram superiores com a utilização de 22 plantas por m². Abul-Soud et al. (2018), em estudos realizados no Egito, avaliaram a cultivar de feijão-vagem de crescimento determinado Alhamma[®], nos outonos de 2016/2017 e 2017/2018, nos espaçamentos de 20, 30 e 40 cm entre plantas, distribuídas em linhas com 1 e 2 metros de comprimento. Os autores verificaram que, independente dos anos e da extensão da linha, houve aumento da massa fresca e seca das plantas.

Doaa, Abeer e Ramadan (2019) avaliaram a resposta do feijão-vagem de crescimento determinado a variações na densidade de plantas, em estudo realizado no Egito, nas estações chuvosas de 2017 e 2018. Os autores submeteram a cultivar Polista[®] às densidades de 20, 30, 40 e 60 plantas por m². As características altura, número de ramos e de folhas, área foliar, massa fresca e seca das plantas de feijão-vagem foram superiores na densidade de 40 plantas m², em ambas as estações avaliadas.

2.4.2 Arranjo de Plantas e Desempenho Agronômico do Feijoeiro

O arranjo espacial de plantas mais comum considera 40 a 50 cm de espaçamento entre linhas, com 10 a 12 plantas por metro linear. No entanto, estudos com feijão comum relataram populações de 200 a 240 mil plantas ha^{-1} como adequadas para obtenção dos máximos rendimentos. Para chegar a estas populações, podem ser empregados espaçamentos que variam de 20 a 70 cm entre linhas, com densidades de 4 a 14 plantas por metro linear (SILVA et al., 2008).

O feijoeiro pode produzir satisfatoriamente numa faixa populacional que varia de 100 a 400 mil plantas ha^{-1} , em decorrência da sua plasticidade fenotípica. Essa plasticidade está relacionada com a habilidade das plantas em alterar a sua morfologia para compensar a produção (SOUZA et al., 2002). Todavia, em função das condições de cultivo, populações abaixo de 185 mil plantas ha^{-1} podem restringir a capacidade de compensação das plantas, conseqüentemente, a produtividade (STONE; SILVEIRA, 2008).

Faria e Krantz (1982) avaliaram os espaçamentos de 30, 40, 50 e 60 cm entre linhas, e as densidades de semeadura de 10, 15 e 20 plantas m^{-1} , em ensaios conduzidos no Estado do Paraná com as cultivares de feijão comum Goiano Precoce[®] (crescimento determinado), Aroana[®] e Carioca[®] (crescimento indeterminado). Para Goiano Precoce, as maiores produtividades de grãos foram alcançadas nos espaçamentos de 40 e 50 cm, independente da densidade de semeadura. Para a Aroana, a maior produtividade foi obtida no espaçamento de 50 cm, enquanto que, para Carioca, o espaçamento entre fileiras de 40 cm foi o que rendeu a maior produtividade de grãos. A maior média de produtividade foi verificada com a cultivar Carioca. Os autores atribuíram esse desempenho ao hábito de crescimento das plantas.

Arf et al. (1996) estudaram variações no espaçamento entre plantas e entre linhas com a cultivar de feijão comum Ouro[®], de crescimento indeterminado, e verificaram aumento no número de vagens e de sementes por planta, nas parcelas onde foram alocadas as menores densidades de plantas. No entanto, o maior rendimento foi obtido com a maior densidade populacional (16 plantas m^{-1}).

Estudos realizados no Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) com a combinação entre espaçamento entre linhas e densidade de semeadura mostraram efeitos significativos para ambos os fatores. Os ensaios mais produtivos foram os semeados com os espaçamentos de 30 e 40 cm, com densidade aproximada de 10 plantas de feijão por metro linear (LOLLATO, 1997).

Silva, Lima e Menezes (2007) encontraram melhoria no número de vagens por planta e no rendimento de grãos da cultivar de feijão Pérola, de hábito indeterminado,

com uma população de 260 mil plantas ha⁻¹. Com a mesma cultivar, Teixeira et al. (2012) encontraram aumento de produtividade com o incremento de plantas na linha de semeadura. Em contrapartida, Santos et al. (2014) não verificaram incremento na produtividade do feijoeiro comum, em estudo com cultivares de diferentes hábitos de crescimento.

Para o feijão-vagem de crescimento determinado, o efeito de diferentes arranjos espaciais de plantas foi relatado por Abubaker (2008), em estudo realizado na Jordânia, no qual foi avaliado o espaçamento de 30 cm entre linhas, associado aos espaçamentos entre plantas na linha de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 cm. Neste estudo, os maiores rendimentos de vagens ocorreram nos espaçamentos de 20 e 30 cm entre plantas. Também foi observado que o espaçamento de 10 cm entre plantas na linha foi um dos que menos produziu legumes.

Allig (2013) submeteu duas cultivares de feijão-vagem de crescimento indeterminado às densidades 1, 2 3 plantas por cova, entre setembro de 2011 a março de 2012, em Filipinas. A autora não encontrou efeito significativo da densidade de semeadura sobre o número de vagens por planta, número de sementes por vagem e a massa de 1000 sementes por parcela. No entanto, observou que a produção total de sementes por parcela foi superior com o uso de 3 plantas por cova, seguido das covas em que foram semeadas duas e uma planta. O autor atribuiu o resultado ao maior número de plantas por área.

Al-Suhaibani, El-Hendawy e Schmidhalter (2013) avaliaram durante os cultivos de inverno de 2011 e 2012 no Egito, a resposta de duas variedades de feijão-fava (*Vicia faba* L.) às densidades de 4, 6, 8, 10 e 12 plantas por parcela. Os autores observaram que o desempenho das características número de vagens e sementes na haste principal e nos ramos laterais, a massa de vagens na haste principal e nos ramos laterais, número total de vagens e de sementes por planta, e a massa total de vagens por planta, considerando ambas as épocas e variedades, decresceu gradualmente com o incremento da população de plantas. No entanto, a produção de sementes por hectare foi significativamente aumentada nas densidades de 10 e 12 plantas por parcela.

Elhag e Hussein (2014) avaliaram a cultivar de feijão-vagem New Star 2052[®], de crescimento determinado, no Sudão, combinando os espaçamentos entre linhas de 10, 15 e 20 cm com 2 e 3 plantas por cova. Os autores observaram que o uso de 3 plantas por cova, associado ao espaçamento médio de 15 cm entre linhas, proporcionou máxima produção de vagens por área em decorrência das melhores condições das plantas em aproveitar os recursos ambientais.

Getachew et al. (2014) estudaram a interação entre o espaçamento entre linhas e entre plantas, época de semeadura e variedade de feijão-vagem de crescimento determinado, na Etiópia. Os autores avaliaram os espaçamentos de 30, 40 e 50 cm entre linhas, combinados com os espaçamentos de 7, 10 e 15 cm entre plantas, e verificaram significância entre o espaçamento e a época de semeadura sobre o desempenho das características massa seca e número de vagens por planta, além da produção de vagens comerciais. Os autores concluíram que o espaçamento de 40 cm entre linhas associado ao espaçamento de 7 cm entre plantas favorecem a produção e a qualidade das vagens comerciais, e atribuíram os resultados a menor competição entre as plantas nesta combinação de espaçamentos.

Tuarira e Moses (2014) avaliaram o feijão-vagem de crescimento determinado no Zimbábue, em parcelas quadradas com iguais espaçamentos entre linhas e entre plantas, que corresponderam a 40x40, 35x35, 30x30 e 25x25 cm. Também testaram parcelas retangulares, utilizando os espaçamentos entre linhas de 40 e 50 cm, com outras variações nos espaçamentos entre plantas. Em todas as parcelas, foram alocadas as populações de 125.000, 163.265, 222.222 e 320.000 plantas ha⁻¹. Os autores observaram efeito significativo da população sobre o número de sementes por vagem e produtividade de sementes, e indicaram que a população de 222.222 plantas ha⁻¹, em arranjo quadrado, favorece o desempenho produtivo do feijão-vagem.

Sahariar et al. (2015) em estudo realizado com um genótipo de feijão-vagem de crescimento determinado em Bangladesh, reportaram maior rendimento de vagens (6,97 Mg ha⁻¹) quando o material foi submetido ao espaçamento de 15 cm entre plantas (maior adensamento populacional por área), e o menor rendimento (3,94 Mg ha⁻¹) no espaçamento de 25 cm entre elas. Em ambos os casos, o espaçamento entre linhas foi de 30 cm.

Seif et al. (2016) avaliaram o feijão-vagem de crescimento determinado nas densidades de 22 e 33 plantas por m², e observaram maior rendimento de sementes com a utilização da maior densidade de plantas. Em contrapartida, a massa de sementes por planta foram superiores com a utilização de 22 plantas por m².

Abul-Soud et al. (2018) avaliaram no Egito, e em duas épocas consecutivas de outono, o efeito da combinação entre os espaçamentos de 20, 30 e 40 cm entre plantas, distribuídas em linhas com 1 e 2 metros de extensão, sobre a cultivar Alhamma[®] de feijão-vagem de crescimento determinado. Os autores encontraram respostas variadas de rendimento da cultura. O número de vagens por planta foi favorecido no espaçamento de 40 cm entre plantas (menor população) distribuídas em 1 metro linear. Em contrapartida, observaram

maior massa média de vagem quando foi utilizado o espaçamento entre plantas de 30 cm, associado à linha de 2 metros de comprimento. Em termos de rendimento, a maior produção de vagens por planta foi obtida com o uso de 1 metro linear, no qual as plantas foram espaçadas 40 cm entre si. No entanto, a produção de vagens por m² foi favorecida com a utilização de 2 metros de linha de cultivo, nas quais as plantas foram espaçadas 30 e 40 cm entre si. As características de produção apresentaram desempenho semelhante em ambas às épocas avaliadas.

Doaa, Abeer e Ramadan (2019) estudaram no Egito a cultivar de feijão-vagem determinado Polista[®], nas estações chuvosas de 2017 e 2018. Os autores verificaram que a densidade de 40 plantas m² proporcionou as maiores médias de diâmetro e massa de vagem, em ambas as épocas. Os autores observaram também que o aumento de 40 para 60 plantas m² favoreceu o desempenho, em ambas as épocas, das características número e produção de vagens por planta. Em geral, os autores concluíram que em ambas as épocas, os componentes de rendimento tiveram redução de desempenho em função do adensamento populacional, no entanto, a produção total por área aumentou com o incremento da população.

Filgueira (2003) recomenda um espaçamento de 15 cm entre plantas e 50 cm entre linhas. Para Pereira et al. (2003), as recomendações são de 7 a 15 cm entre plantas e de 45 a 90 cm entre linhas. Contudo, para cada cultivar, há uma faixa ótima de população, na qual as plantas aproveitam o máximo de radiação, água e nutrientes, o que proporciona melhoria do rendimento da cultura. Na literatura, não há indicação da população ideal, bem como dos limites mínimo e máximo do número de plantas por área que podem ser utilizados para benefício do crescimento, produtividade e qualidade da colheita de feijão-vagem de crescimento determinado, seja em uma ou mais épocas de semeadura.

2.4.3 Arranjo de Plantas e Qualidade Tecnológica de Vagens

A qualidade tecnológica de um produto vegetal pode ser analisada sob os aspectos culinário, comercial e nutricional (VIEIRA; BORÉM; RAMALHO, 1999). Do ponto de vista nutricional, Mosley (1972) submeteu a cultivar de feijão-vagem determinado Gallatin-50[®] em Oregon, Estados Unidos, aos espaçamentos entre linhas de 13, 25 e 38 cm, associados as densidades de 2,62; 3,20; 4,11; 5,76 e 9,60 plantas a cada 0,09 m². O autor não encontrou efeito significativo do espaçamento entre linhas, porém, reportou efeito isolado da população de plantas sobre a concentração de proteína bruta, no qual o adensamento reduziu os teores proteicos nas folhas e vagens.

Brathwaite (1982) avaliou a composição química de vagens imaturas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) nas densidades de 63, 74, 88, 111, 148, 222 e 444 mil plantas ha⁻¹ no Caribe, distribuídas em espaçamento fixo de 45 cm entre linhas, e não observou significância sobre os teores de proteína e fibra bruta.

Abubaker (2008) observou que o aumento da distância entre plantas na linha incrementou os teores de nitrogênio, fósforo, potássio e proteína bruta nas vagens da cultivar de feijão-vagem determinado Bronco[®], em estudo realizado na Jordânia. Neste estudo foi utilizado 30 cm de espaçamento entre linhas, e 10, 20, 30, 40, 50 e 60 cm de espaçamento entre plantas. O autor atribuiu o resultado a menor competição por nutrientes em função do menor número de plantas por área.

Yadav, Patel e Yadav (2014) estudaram o efeito da variação do espaçamento entre linhas sobre o acúmulo de proteína nas vagens imaturas da leguminosa guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) na Índia. Os autores avaliaram os espaçamentos 30, 45 e 60 cm entre linhas, associado ao espaçamento fixo de 15 cm entre plantas, e não observaram efeito significativo no acúmulo de proteína das vagens em função das mudanças no espaçamento.

Abul-Soud et al. (2018) estudaram no Egito a resposta do feijão-vagem de crescimento determinado, cultivar Alhamma[®], a diferentes populações de plantas, obtidas pela combinação entre o comprimento (1 e 2 metros) e a distância entre as plantas na linha de cultivo (20, 30 e 40 cm), nos outonos de 2016/2017 e 2017/2018. Os autores observaram interação entre as fontes de variação, e reportaram maior porcentagem de fibra na vagem, em ambas as épocas, na população de 5 plantas m⁻¹, obtidas pelo espaçamento de 20 cm entre plantas, distribuídas em 1 metro de linha. Nas demais combinações, os autores não observaram diferença quanto ao acúmulo de fibra.

Doaa, Abeer e Ramadan (2019) avaliaram a cultivar de feijão-vagem determinado Polista[®], em duas estações chuvosas no Egito, nas densidades de 20, 30, 40 e 60 plantas m². Os autores verificaram que o incremento da população aumentou a concentração de vitamina C, o teor de sólidos solúveis e a porcentagem de fibra das vagens.

2.4.4 Arranjo de Plantas e Qualidade Fisiológica de Sementes

A qualidade da semente é definida como o somatório dos atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários que afetam a sua capacidade de originar plantas de alta capacidade produtiva. A qualidade fisiológica é relacionada com a capacidade da

semente em desempenhar suas funções vitais, caracterizadas pela sua longevidade, germinação e vigor. Geralmente, os efeitos sobre a qualidade fisiológica correspondem ao decréscimo na porcentagem de germinação das sementes, aumento de plântulas anormais e redução do vigor das plântulas (TOLEDO et al., 2009).

Carvalho, Arf e Sá (1998) avaliaram o efeito dos espaçamentos entre linhas de 0,45 e 0,60 m sobre a qualidade fisiológica de sementes de 14 cultivares de feijão comum semeados no ano de 1995. No ano seguinte, avaliaram a qualidade fisiológica das sementes das mesmas cultivares; no entanto, submetidas à três espaçamentos entre linhas (0,30, 0,45 e 0,60 m). Os autores observaram que os espaçamentos de 0,30 e 0,45 m entre linhas produziram sementes de melhor qualidade fisiológica. Segundo os autores, a redução do espaçamento entre linhas diminuiu o contato das vagens com o solo e assim, também foi menor a deterioração das sementes, em função do menor ataque, proliferação e propagação de doenças e pragas nas vagens, o que conferiu sementes de melhor qualidade fisiológica em relação ao espaçamento de 0,60 m, principalmente com relação a porcentagem de germinação.

Costa et al. (2008) submeteram a cultivar de feijão comum Pérola às densidades de 200.000, 240.000 e 300.000 plantas ha⁻¹, no município de Selvíria, MS. O estudo reportou melhores resultados para o teste de envelhecimento acelerado, e, conseqüentemente, maior vigor para as sementes produzidas nas menores densidades de plantas, ou seja, a qualidade fisiológica das sementes foi superior a medida em que se reduziu o número de plantas por área. Os autores atribuíram os resultados à menor competição entre as raízes nas menores densidades. Deste modo, as plantas translocaram mais assimilados para as sementes, que, conseqüentemente, apresentaram maior massa e vigor.

Silva et al. (2014) estudaram os espaçamentos entre linhas de 0,40, 0,50 e 0,60 m entre linhas na qualidade fisiológica de sementes das cultivares de feijão comum Pérola[®] (hábito de crescimento tipo II) e Juriti[®] (hábito de crescimento tipo III), também no município de Selvíria, MS. Eles concluíram que a qualidade fisiológica das sementes, independente do hábito de semeadura, não foi afetada pelos espaçamentos entre linhas, pois os dados de primeira contagem de germinação e porcentagem de germinação mantiveram-se acima de 90%, e atenderam aos padrões mínimos para que pudessem ser comercializadas.

Amaro et al. (2014) em estudo realizado no município de Janaúba-MG, submeteram duas cultivares de feijão do grupo vermelho (Ouro Vermelho[®] e Manteigão Vermelho[®]), uma do grupo preto (Ouro Negro[®]), e uma do grupo carioca (BRSMG Madrepérola[®]), todas com hábito de crescimento indeterminado, às densidades de 100.000,

200.000, 300.000, 400.000 e 500.000 plantas ha^{-1} e, posteriormente, avaliaram a qualidade fisiológica das sementes colhidas. Foram encontrados efeitos significativos das densidades de plantas sobre a porcentagem de germinação apenas para as cultivares Ouro Negro e Madrepérola, com destaque para a última cultivar, que apresentou comportamento quadrático e que, com o aumento da densidade de semeadura até 290.000 plantas ha^{-1} , houve incremento na germinação (próximo a 90%). A partir dessa densidade, houve redução nos valores da variável, com valores próximos a 80% na densidade de 500.000 plantas ha^{-1} . Os autores atribuíram este resultado a maior competição intraespecífica e ao maior acamamento observado pelo adensamento das plantas.

Ainda no estudo anterior, houve efeito significativo das densidades de plantas sobre o índice de velocidade de emergência das plântulas, também para a cultivar Madrepérola, no qual o aumento da densidade reduziu linearmente os valores da variável. Em contrapartida, não houve significância das densidades de plantas para os testes de emergência de plântulas e envelhecimento acelerado.

Para o feijão-vagem de crescimento determinado, Fonte et al. (2011) avaliaram a qualidade fisiológica das sementes obtidas de plantas submetidas aos espaçamentos entre linhas de 0,25 e 0,50 m, e as sementes, colhidas em quatro épocas. Neste estudo, foi utilizada a cultivar Alessa. Na última colheita (maturação fisiológica), os autores não verificaram efeito dos espaçamentos sobre as porcentagens de primeira contagem de germinação e germinação final das sementes, e atribuíram os resultados ao fato de que, na maturação fisiológica, as sementes apresentam seus máximos índices de vigor e germinação, e que no estudo, o efeito da época de colheita se sobrepôs ao dos espaçamentos em relação a qualidade fisiológica das sementes.

Allig (2013) avaliou a qualidade de sementes de duas cultivares de feijão-vagem de crescimento indeterminado, em Filipinas, produzidas em resposta às densidades 1, 2 e 3 plantas por cova, entre setembro de 2011 a março de 2012. A autora observou que a porcentagem e o índice de velocidade de germinação não foram influenciados pelas densidades de plantas. Em contrapartida, verificou que a porcentagem de sementes boas produzidas por parcela (autor considerou boas aquelas livres de danos, e com tamanho, forma e coloração uniformes) foi superior quando utilizou-se 1 planta por cova, enquanto a comparação entre as densidades de 2 e 3 plantas por cova não revelou diferença estatística quanto a produção de boas sementes. A autora atribuiu os resultados a menor interceptação da radiação solar em função do adensamento populacional.

Tuarira e Moses (2014) avaliaram a qualidade fisiológica de sementes de

feijão-vagem de crescimento determinado oriundas de 12 arranjos espaciais de plantas. Segundo os autores, a produção de sementes foi superior nas menores densidade de plantas (125.000 e 163.265 plantas ha⁻¹), devido a maior interceptação e aproveitamento da radiação. Os autores verificaram também que a porcentagem de germinação das sementes não foi influenciada pelos arranjos de plantas avaliados e ainda, que a velocidade de germinação das sementes foi superior na maior densidade populacional (320.000 plantas ha⁻¹).

3 ARTIGO A

ARRANJOS DE PLANTAS E ÉPOCAS DE SEMEADURA NO CRESCIMENTO E TEOR DE PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS DE FEIJÃO-VAGEM DE HÁBITO DETERMINADO

3.1 RESUMO

O feijão-vagem é uma hortaliça que pode ser cultivada como principal, ou utilizada em consórcios, bem como pode ser uma alternativa de cultivo na entressafra de outras hortaliças. Suas vagens apresentam qualidade nutricional, em decorrência dos seus teores de fibras, proteínas, vitaminas e minerais. As respostas das plantas no campo dependem das características do ambiente nas quais elas crescem. Assim, elas respondem de modo diferenciado quando as características do ambiente de produção são alteradas. Deste modo, objetivou-se com este estudo avaliar o crescimento e o teor de pigmentos fotossintéticos do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) de crescimento determinado em função de diferentes arranjos de plantas e épocas de semeadura. Foram conduzidos dois experimentos, que ocorreram nas épocas de outono-inverno e verão-outono, em Londrina-PR. Avaliou-se a cultivar Feltrin Macarrão Napoli[®], de hábito de crescimento determinado. Em cada época de semeadura conduziu-se um experimento independente, na qual a cultivar foi submetida a 10 arranjos de plantas, compostos da combinação de dois espaçamentos entre linhas (0,45 e 0,90 m) e cinco densidades de plantas (133.000, 177.000, 221.000, 265.000 e 309.000 plantas ha⁻¹). O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com três repetições. Foram avaliadas as características massa seca de folhas, massa seca total, área foliar, índice de área foliar, razão de peso foliar, área foliar específica e os pigmentos fotossintéticos clorofila a, b e carotenoides. Foram realizadas análises de variâncias individuais para cada época de semeadura e em seguida, realizou-se a análise conjunta dos experimentos. O arranjo de plantas e a época de semeadura influenciam de forma isolada, e em interação, o crescimento e o teor de pigmentos fotossintéticos do feijão-vagem de crescimento determinado. No verão-outono, o uso de 221.000 plantas ha⁻¹ favorece o acúmulo de massa seca total e área foliar do feijão-vagem em relação ao outono-inverno. No verão-outono, a densidade de 210.125 plantas ha⁻¹ proporciona máximo acúmulo de massa seca total, e a densidade de 216.402 plantas ha⁻¹ proporciona máxima área foliar do feijão-vagem. A densidade de 263.500 plantas ha⁻¹ proporciona máximo acúmulo de massa seca das folhas, e a densidade de 257.143 plantas ha⁻¹ proporciona máximo índice de área foliar do feijão-vagem. No outono-inverno, a área foliar específica é favorecida, o acúmulo de massa seca total das plantas não é influenciado pela densidade de plantas, e a área foliar da cultura é reduzida pelo adensamento populacional. No verão-outono, o acúmulo de massa seca das folhas, a razão de peso foliar, e os teores de clorofila a, b e carotenoides são favorecidos.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L. Densidade de plantas. Espaçamento entre linhas. Hortaliças.

PLANTS ARRANGMENTS AND SOWING SEASONS ON THE GROWTH AND PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS CONTENT OF BUSHING SNAP BEAN

3.2 ABSTRACT

The snap bean is a vegetable that can be grown as a main crop, or used in consortium, as well as an alternative for growing in the off-season of other vegetables. Their pods have nutritional quality, due to their fiber, protein, vitamins and minerals contents. The responses of plants in the field depend on the characteristics of the environment in which they grow. Thus, they respond differently when the characteristics of the production environment change. Thus, the objective of this study was to evaluate the growth and the photosynthetic pigment content of the bushing snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as a function of different plant arrangements and sowing seasons. Two experiments were conducted, which occurred in the autumn-winter and summer-autumn seasons, in Londrina-PR. It was evaluated the cultivar of bushing snap bean Feltrin Macarrão Napoli[®]. An independent experiment was carried out in each sowing season, in which the cultivar was submitted to 10 plant arrangements, composed of the combination of two row spacings (0.45 and 0.90 m) and five plant densities (133,000, 177,000, 221,000, 265,000 and 309,000 plants per ha). The experimental design was randomized blocks, with three replications. Were evaluated the characteristics leaf dry mass, total dry mass, leaf area, leaf area index, leaf weight ratio, specific leaf area and photosynthetic pigments chlorophyll a, b and carotenoids were. Individual variance analyzes were performed for each sowing season and then, the experiments were jointly analyzed. The plant arrangement and the sowing season influence, in isolation, and in interaction, the growth and photosynthetic pigment content of the bushing snap bean. In summer-autumn, the use of 221,000 plantas per ha favors the accumulation of total dry mass and leaf area of the snap bean compared to autumn-winter. In summer-autumn, the density of 210,125 plants per ha provides maximum total dry mass accumulation, and the density of 216,402 plants per ha provides the maximum leaf area of the snap bean. The density of 263,500 plants per ha provides maximum leaf dry mass accumulation, and the density of 257,143 plants per ha provides maximum leaf area index of the snap bean. In autumn-winter, the specific leaf area is favored, the plants total dry mass accumulation is not influenced by the plant density, and the leaf area of the crop is reduced by the population densification. In summer-autumn, the leaf dry mass accumulation, the leaf weight ratio, and the chlorophyll a, b and carotenoid contents are favored.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L. Plants density. Row spacing. Vegetables.

3.3 INTRODUÇÃO

O desempenho agrônômico das culturas agrícolas resulta da interação entre genótipo e ambiente. O ambiente de produção é caracterizado por fatores como disponibilidade de água, radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar, que agem sobre as plantas com intensidade diferenciada, tanto de forma isolada quanto combinada entre si. Deste modo, alterar a época de semeadura também altera a interação de tais fatores com as plantas, o que pode levar mudanças em seu crescimento, desenvolvimento e rendimento (SIMIDU et al., 2010).

Além dos fatores mencionados, o ambiente de produção pode ser modificado em função da ação humana. Dentre tais ações, o arranjo de plantas, que consiste no modo com que as plantas serão distribuídas no campo, corresponde a uma técnica de manejo de baixo custo e fácil adoção pelos produtores, pois está relacionada com a escolha da densidade de semeadura e do espaçamento entre as linhas de cultivo que, em interação, definem o número de plantas por área (OLIVEIRA et al., 1999).

A definição da população de plantas determina o grau de competição intraespecífica e interespecífica das plantas na linha e na entrelinha, principalmente por espaço, água, nutrientes e radiação solar (RAMBO et al., 2004). Excesso de plantas na linha limita o espaço para crescimento de raiz e parte aérea, reduz a quantidade de água e nutrientes absorvidos pelas raízes, bem como afeta a interceptação de radiação solar pelo dossel das plantas. Neste caso, a produção por planta é menor, porém, o rendimento em área total pode não ser afetado, em função do maior número de plantas (BEZERRA, 2005).

Em contrapartida, um menor número de plantas na linha aumenta a incidência e a competição entre a cultura de interesse e as plantas daninhas, reduz o aproveitamento em área total das plantas por espaço, água, nutrientes e radiação solar, embora possa ser observado aumento no rendimento por planta. No entanto, há uma faixa ótima de população nas quais as espécies agrícolas tem seu potencial de crescimento e rendimento maximizado, utilizando-se menos sementes por área, o que pode contribuir para redução de custos (BEZERRA, 2005; SOUZA et al., 2002).

Ainda, deve ser levado em conta que plantas da espécie *Phaseolus vulgaris* L. apresentam habilidade de alterar sua morfologia e arquitetura vegetal, chamada de plasticidade fenotípica, nas quais as plantas ocupam os espaços vazios que surgem em decorrência de falhas na semeadura ou de emergência, crescimento e desenvolvimento de plântulas, o que contribui para estabilidade ou aumento de rendimento. Esta habilidade pode

contribuir para maior eficiência da semeadura e da produção, com menor densidade de plantas na linha (SILVA et al., 2008).

De forma similar à população de plantas, o espaçamento entre linhas pode alterar o crescimento, desenvolvimento e rendimento vegetal. Quanto maior o espaçamento, maior a dificuldade do dossel em ocupar o espaço entre as linhas, o que acarreta em maior incidência de plantas daninhas, e redução da quantidade e sanidade da produção. Nestas condições, porém, a plasticidade fenotípica pode ser estimulada, o que favorece o desempenho produtivo de cada planta, mas não necessariamente por área. De forma contrária, quando se reduz o espaçamento entre linhas as plantas ficam mais próximas, e há maior aproveitamento dos recursos ambientais por área, principalmente em termos de radiação interceptada. No entanto, pode não ser constatado efeito benéfico sobre os parâmetros de crescimento e rendimento por planta, em função da maior competição intraespecífica em condições de espaçamento reduzido, e da maior possibilidade de ocorrência de doenças (BEZERRA, 2005).

Para o feijão comum, visando máximo desempenho agrônômico, recomenda-se a utilização de faixa populacional que varia de 185 a 400 mil plantas ha^{-1} , distribuídas em linhas espaçadas com 40 a 50 cm (STONE; SILVEIRA, 2008). No entanto, para o feijão-vagem de crescimento determinado, são escassos os estudos no Brasil sobre a resposta das plantas as modificações no arranjo espacial de plantas.

A análise de crescimento vegetal tem por finalidade verificar efeitos de alterações ambientais sobre as plantas, e assim, utilizada para observar mudanças nas respostas das plantas quando submetidas às diferentes épocas de semeadura e arranjos de plantas (CAIRO; OLIVEIRA; MESQUITA, 2008). Segundo Kvet et al. (1971) essa análise é utilizada para conhecer a adaptação ecológica das plantas a novos ambientes, e produz informações relacionadas ao seu rendimento final. A referida adaptação ecológica é mensurada por meio de variações morfológicas e de produção vegetal observadas ao longo do tempo (URCHEI; RODRIGUES; STONE, 2000), principalmente das características quantitativas de crescimento das plantas. De forma indireta, aspectos relacionados à fotossíntese, como o teor dos pigmentos fotossintéticos, também são modificados conforme a adaptação das plantas a mudanças no ambiente de produção, principalmente em função de variações na área, espessura e massa seca das folhas, principal órgão fotossintético vegetal. Deste modo, a eficiência fotossintética e o rendimento do feijão-vagem podem ser alterados. Considerando tanto o efeito isolado quanto combinado do arranjo de plantas e das épocas de cultivo, e que a avaliação do crescimento de plantas corresponde à análise primária do sucesso

da produção, objetivou-se com este estudo avaliar o crescimento e o teor de pigmentos fotossintéticos do feijão-vagem de crescimento determinado em diferentes arranjos de plantas e épocas de semeadura.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

Conduziu-se um estudo no outono-inverno (experimento I) e outro no verão-outono (experimento II), ambos no município de Londrina-PR, Brasil, e em Latossolo Vermelho eutroférico (SANTOS et al., 2018), nas coordenadas geográficas 23° 23' S, 51° 11' W e na altitude de 570 m. Na região, o clima é do tipo Cfa, com temperatura média do ar entre 21 a 22 °C, e precipitação pluvial média entre 1400 a 1600 mm (CAVIGLIONE et al., 2000). Os dados de precipitação pluvial e temperatura do ar, referentes aos períodos de condução experimental, seguem apresentados na Figura 1.

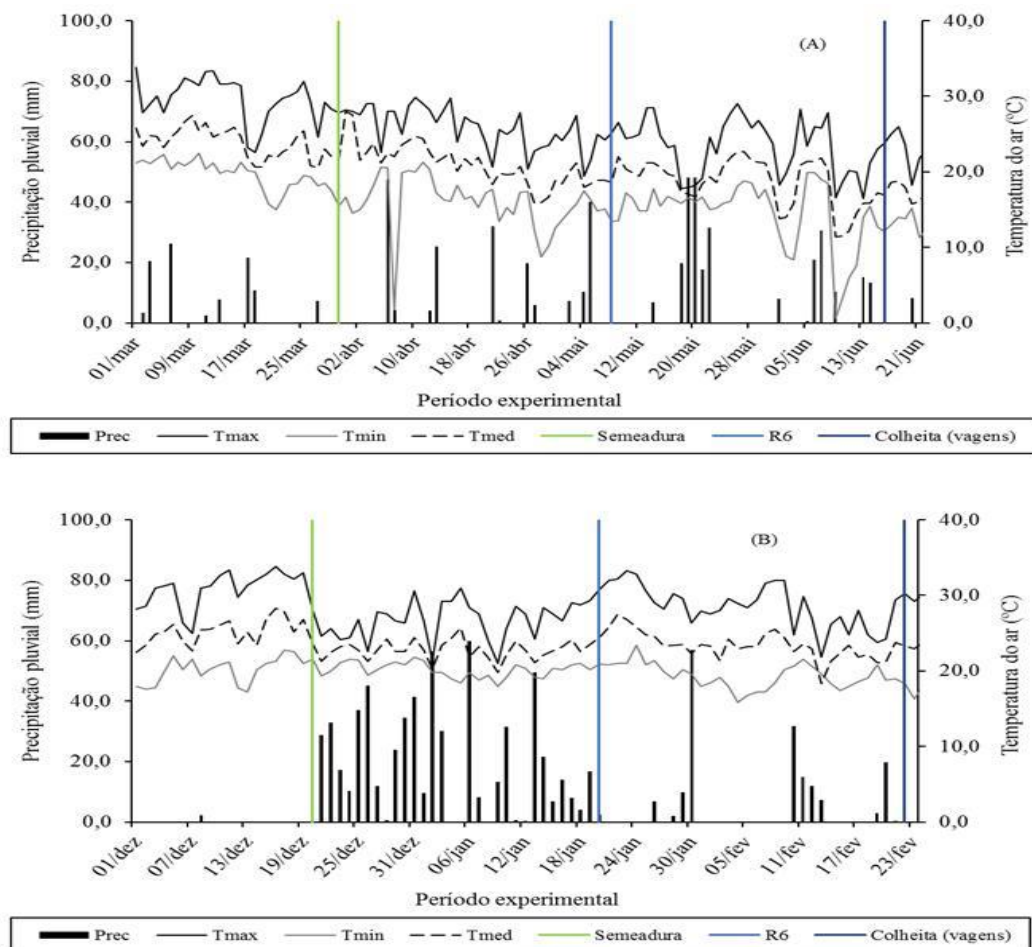
Avaliou-se a cultivar Feltrin Macarrão Napoli[®], de hábito de crescimento determinado e produção de vagens do tipo macarrão. Em média, as vagens comerciais atingem o ponto de colheita aos 60 dias após a semeadura. Segundo o obtentor, a cultivar apresenta características de tolerância à ferrugem (*Uromyces appendiculatus* Pers. Unger) e a antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum* Sacc. & Magn.).

Antes da instalação dos experimentos, foi realizada a análise química dos solos na profundidade de 0 a 20 cm, representada no experimento I por: pH (CaCl₂) 5,6; 25,28 g kg⁻¹ de massa orgânica; 3,97 cmol_c dm⁻³ de H⁺ + Al³⁺; 4,50 cmol_c dm⁻³ de Ca²⁺; 1,64 cmol_c dm⁻³ de Mg²⁺; 0,38 cmol_c dm⁻³ de K⁺; 3,30 mg dm⁻³ de P e 62,15% de saturação por bases; e no experimento II por: pH (CaCl₂) 5,3; 23,56 g kg⁻¹ de massa orgânica; 4,60 cmol_c dm⁻³ de H⁺ + Al³⁺; 3,62 cmol_c dm⁻³ de Ca²⁺; 1,56 cmol_c dm⁻³ de Mg²⁺; 0,44 cmol_c dm⁻³ de K⁺; 3,0 mg dm⁻³ de P e 54,99% de saturação por bases.

Com base na análise química dos solos, procedeu-se a adubação mineral de base e de cobertura conforme Parra (2003). Em ambos os experimentos, o solo foi preparado mecanicamente, por meio de uma aração, uma gradagem e um nivelamento. Posteriormente, com base na análise química dos solos, procedeu-se a adubação mineral no sulco de semeadura, e em cobertura, conforme as recomendações de Parra (2003). Para a adubação mineral no sulco de semeadura utilizou-se o formulado 10-15-15 (N-P₂O₅-K₂O) em ambos os experimentos. Aos 22 e 21 dias respectivamente, foram realizadas as adubações de cobertura com ureia (45% de N) nos experimentos I e II.

Os experimentos foram semeados manualmente. O primeiro foi cultivado em 30/03/2017, e o segundo em 20/12/2017. Em ambos, a cultivar Feltrin Macarrão Napoli[®] foi submetida a 10 arranjos de plantas (tratamentos). Em cada época de semeadura foi conduzido um experimento independente, em esquema fatorial 2x5, correspondentes a dois espaçamentos entre linhas (0,45 e 0,90 m) e cinco densidades de plantas (133.000, 177.000, 221.000, 265.000 e 309.000 plantas ha⁻¹). O delineamento experimental foi o de blocos completos ao acaso, com três repetições. Com o objetivo de padronizar a dimensão das áreas total e útil das unidades experimentais, as parcelas com linhas espaçadas 0,45 m foram compostas por seis fileiras de cinco metros de comprimento; enquanto que, no espaçamento de 0,90 m entre linhas, as parcelas foram compostas por três fileiras de igual comprimento.

Figura 3.1 - Precipitação pluvial (Prec), e temperaturas média (Tmed), máxima (Tmax) e mínima (Tmin) dos experimentos conduzidos no outono-inverno (A) e no verão-outono (B), no período compreendido entre semeadura e colheita das vagens. Londrina, 2019.



Fonte: Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR).

A área total e útil de cada parcela foi de 11,25 m² e 3,6 m² respectivamente. Nas parcelas com fileiras espaçadas 0,45 m, a exceção das duas fileiras centrais, utilizou-se as quatro linhas restantes para coleta das plantas destinadas a análise de crescimento. Nas parcelas com fileiras espaçadas 0,90 m, à exceção da linha central, considerou-se as duas linhas restantes para as avaliações de crescimento das plantas.

Para que as densidades de plantas desejadas fossem obtidas, utilizou-se um elevado número de sementes para implantação dos experimentos, e 14 dias após a semeadura, raleou-se o excesso e manteve-se, na linha de cultivo, um número de plantas equivalente a população final de plantas por hectare em cada tratamento.

A análise de crescimento das plantas, teve início aos 7 dias após o raleio (DAR), prosseguindo até a colheita das vagens. Ao longo deste período, o manejo fitossanitário consistiu, no outono-inverno, da aplicação do herbicida Amplo[®], seletivo para *Phaseolus vulgaris* L., aos 14 dias após a semeadura para o controle de plantas daninhas. Utilizou-se a dose de 24,0 g ha⁻¹ de bentazona e 1,12 g ha⁻¹ de imazamoxi. Não houve a necessidade do controle de pragas e doenças.

O experimento conduzido em verão-outono necessitou do controle químico de plantas daninhas aos 7 dias após a semeadura, por meio da mesma estratégia utilizada no outono-inverno. Também foram necessárias três aplicações de 0,6 g ha⁻¹ de tiametoxam e 0,42 g ha⁻¹ de lambda-cialotrina (inseticida Engeo Pleno[®]) para o controle da mosca branca (*Bemisia tabaci* Genn.), que ocorreram, respectivamente, aos 8, 22, 37 dias após a semeadura. Ainda, houve necessidade da aplicação de 4 g ha⁻¹ de imidacloprido e 0,5 g ha⁻¹ de beta-ciflutrina (inseticida Connect[®]) para o controle do percevejo marrom (*Euchistus heros* Fabr.), aos 58 dias após a semeadura. Quanto às doenças, houve necessidade da aplicação de 2,4 g ha⁻¹ de azoxistrobina (fungicida Amstar 250 WG[®]), aos 15 dias após a semeadura, para o manejo da mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola* Sacc.).

No outono-inverno, as avaliações de crescimento ocorreram nas plantas coletadas aos 56 DAR, e no verão-outono, aos 42 DAR. Coletou-se uma planta representativa (em condições semelhantes de competição) por parcela, totalizando-se três plantas por tratamento. As plantas foram cortadas na altura do solo, e separadas em caules, folhas, estruturas reprodutivas e vagens. Posteriormente, foram realizadas as seguintes determinações:

a) Massa seca das folhas (MSF): de cada planta foram retiradas as folhas, que seguiram para estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, até obtenção de massa

constante. Posteriormente, determinou-se a massa seca das amostras em balança centesimal de precisão.

b) Massa seca total (MST): determinada pela soma da massa seca das folhas com a massa seca das demais estruturas vegetativas e reprodutivas da parte aérea de cada planta, que foi colocada em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, até obtenção de massa constante. A massa seca das amostras foi determinada em balança centesimal de precisão.

c) Área foliar (AF): as folhas retiradas de cada planta foram escaneadas em aparelho mensurador de área foliar de alta resolução (0,1 mm²), modelo CI-203, marca CID[®], e os resultados expressos em cm².

d) Índice de área foliar (IAF): determinado pela razão entre a área foliar (AF) de cada planta, e a superfície do terreno ocupada por cada planta. Para determinar a superfície do terreno, dividiu-se a área de um hectare, em m², pelas populações de plantas avaliadas. Em sequência, os dados das superfícies foram transformados para cm². Os valores expressos de IAF são adimensionais (CAIRO; OLIVEIRA; MESQUITA, 2008).

e) Razão de peso foliar (RPF): resultante da razão entre massa seca de folhas e massa seca total da planta. Os valores expressos de RPF são adimensionais (CAIRO; OLIVEIRA; MESQUITA, 2008).

f) Área foliar específica (AFE): obtida pela razão entre área foliar e massa seca de folhas e os resultados expressos em cm² g⁻¹ (CAIRO; OLIVEIRA; MESQUITA, 2008).

g) Pigmentos fotossintéticos: no estágio de florescimento pleno (R₆), amostras de folhas completamente expandidas foram coletadas aleatoriamente nas parcelas experimentais. Em seguida, procedeu-se a homogeneização das amostras, das quais se retirou subamostras de 0,2 g de tecido foliar fresco, que foram acondicionadas em frascos com 10 ml de acetona 100% (v/v). Os frascos foram mantidos no escuro por 7 dias. Na sequência, os extratos foram filtrados e as leituras realizadas em espectrofotômetro de ultravioleta visível, modelo Biomate 3S, marca Thermo Scientific[®], nos comprimentos de onda de 663, 645 e 434 nm para clorofila a (CLA), b (CLB) e carotenoides (CAROT) respectivamente. Após as leituras, os teores de clorofila e carotenoides foram determinados com base nas equações propostas por Whitman et al. (1971):

Clorofila *a* = (11,24 x A663 - 2,04 x A665),

Clorofila *b* = (20,13 x A645 - 4,19 x A663),

Carotenoides = ((1000 x A434 - 1,90 x Clorofila *a* - 63,14 x Clorofila *b*)) / 214.

O fator A corresponde a absorvância de acordo com o comprimento de onda. Os resultados de CLA, CLB e carotenoides são expressos em miligrama de pigmento por miligrama de massa fresca vegetal (mg g^{-1}).

Depois de constatada a normalidade e homogeneidade de variâncias dos dados, foram realizadas análises de variância individuais para cada época de semeadura. Em seguida, depois de verificadas as magnitudes dos quadrados médios residuais em cada época, realizou-se a análise conjunta dos experimentos. Para os fatores época de semeadura e espaçamento entre linhas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Para o fator densidade de plantas, as médias foram submetidas à análise de regressão ($p < 0,05$).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características massa seca total (MST) e área foliar (AF) foram afetadas de forma significativa pela interação entre época de semeadura e densidade de plantas. Também resultou significativa a interação entre densidade de plantas e espaçamento entre linhas no teor de carotenoides (CAROT) das folhas. Foram observados efeitos isolados dos fatores época de semeadura e densidade de plantas no desempenho da variável massa seca de folhas (MSF); enquanto o fator época de semeadura, isoladamente, afetou a razão de peso foliar (RPF), área foliar específica (AFE) e os teores de clorofila a (CLA), b (CLB) e carotenoides (CAROT). A característica índice de área foliar (IAF) foi afetada somente pelo fator densidade de plantas (Tabela 3.1).

Durante o cultivo no outono-inverno e no verão-outono, a radiação solar global incidente foi, em média, de $11,68 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e $16,80 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ respectivamente (IAPAR, 2019). Também é importante ressaltar que, da semeadura à colheita das vagens, foram registradas no outono-inverno e verão-outono, respectivamente, precipitações pluviais de 468,2 e 781,8 mm. Destes totais, 43% (197 mm) e 79% (616,9 mm) incidiram sobre o feijão-vagem entre os períodos de semeadura e florescimento pleno (R_6), ao longo do outono-inverno e verão-outono respectivamente.

Desdobrando-se as épocas de semeadura em função das densidades de plantas constatou-se redução da MST e AF das plantas quando foi utilizada a densidade de 221.000 plantas ha^{-1} no outono-inverno (Tabela 3.2). Atribui-se a redução de desempenho da MST e da AF na densidade de 221.000 plantas ha^{-1} ao aumento da competição intraespecífica entre as plantas de feijão-vagem pelos recursos ambientais de produção, principalmente com relação ao aproveitamento da radiação. Em comparação ao verão-outono ($16,80 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$),

Tabela 3.1 - Valores de quadrado médio das características relacionadas ao crescimento e teor de pigmentos fotossintéticos das plantas de feijão-vagem de crescimento determinado em função da época de semeadura, densidade de plantas e espaçamento entre linhas. Londrina, 2019.

Fontes de variação	MSF ¹	MST	AF	IAF	RPF	AFE	CLA	CLB	CAROT
Bloco (Época)	1,80	17,33	96587,20	0,58	0,01	6216,58	4,72	60,89	3,94
Época (EP)	13,61 ^{**}	3,52 ^{ns}	14656,25 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,04 [*]	371127,33 ^{**}	3957,04 ^{**}	3246,64 ^{**}	1803,03 ^{**}
Densidade de plantas (DP)	3,99 [*]	40,52 [*]	199796,66 [*]	1,73 ^{**}	0,03 ^{ns}	12420,35 ^{ns}	0,94 ^{ns}	4,42 ^{ns}	0,99 ^{ns}
Espaçamento (ESP)	0,73 ^{ns}	8,56 ^{ns}	53132,91 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,00 ^{ns}	1811,70 ^{ns}	0,04 ^{ns}	26,91 ^{ns}	0,01 ^{ns}
EP x DP	1,12 ^{ns}	35,70 [*]	238550,50 [*]	0,80 ^{ns}	0,01 ^{ns}	10353,52 ^{ns}	0,69 ^{ns}	2,76 ^{ns}	1,74 ^{ns}
EP x ESP	2,17 ^{ns}	48,82 ^{ns}	68363,33 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,00 ^{ns}	76,61 ^{ns}	0,01 ^{ns}	28,54 ^{ns}	4,18 ^{ns}
DP x ESP	0,89 ^{ns}	12,14 ^{ns}	31778,50 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,02 ^{ns}	36243,37 ^{ns}	2,17 ^{ns}	16,64 ^{ns}	8,75 ^{**}
EP x DP x ESP	0,46 ^{ns}	15,46 ^{ns}	113303,20 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,01 ^{ns}	24518,34 ^{ns}	1,32 ^{ns}	20,22 ^{ns}	1,13 ^{ns}
Resíduo	1,41	13,11	68289,30	0,33	1,58	20188,30	5,58	8,86	1,06
CV (%)	45,81	41,49	36,12	36,76	30,44	47,16	10,53	23,55	6,78

¹MSF: massa seca das folhas; MST: massa seca total; AF: área foliar; IAF: índice de área foliar; RPF: razão de peso foliar; AFE: área foliar específica; CLA: clorofila a; CLB: clorofila b; CAROT: carotenoides. *Significativo a 5%; **Significativo a 1%.

Fonte: o próprio autor.

a quantidade de luz que incidiu sobre o dossel foi menor no outono-inverno ($11,68 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), e nesta condição, sugere-se que o adensamento populacional até $221.000 \text{ plantas ha}^{-1}$ potencializou a redução da interceptação da luz pelas plantas de feijão-vagem. Pereira et al. (2002) observaram menores taxas de acúmulo de fitomassa, de crescimento, de assimilação líquida e de estiolamento em condições de baixa intensidade luminosa da cultura da soja. Lacerda et al. (2010) também verificaram redução de massa seca do limbo, haste, raiz e total em plantas de feijão submetidas a ambiente protegido (telado que permitia a passagem de 50% da radiação incidente) em relação ao ambiente externo.

Tabela 3.2 - Desdobramento do fator densidade de plantas em função da época de semeadura, para as características massa seca total (MST) e área foliar (AF) de feijão-vagem de crescimento determinado. Londrina, 2019.

Densidade de plantas (mil plantas ha^{-1})	MST (g)		AF (cm^2)	
	Época de semeadura (EP)			
	Outono-inverno	Verão-outono	Outono-inverno	Verão-outono
133	10,50 A	6,36 A	931,67 A	551,23 B
177	9,67 A	11,32 A	739,41 A	844,22 A
221	8,14 B	13,28 A	598,23 B	941,70 A
265	6,95 A	7,94 A	654,77 A	849,59 A
309	7,16 A	5,95 A	531,68 A	425,32 A
Médias (EP)	8,48 A	8,97 A	691,15 A	722,41 A

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na linha, não diferem entre si na comparação entre épocas de semeadura para cada densidade de plantas avaliada.

Fonte: o próprio autor.

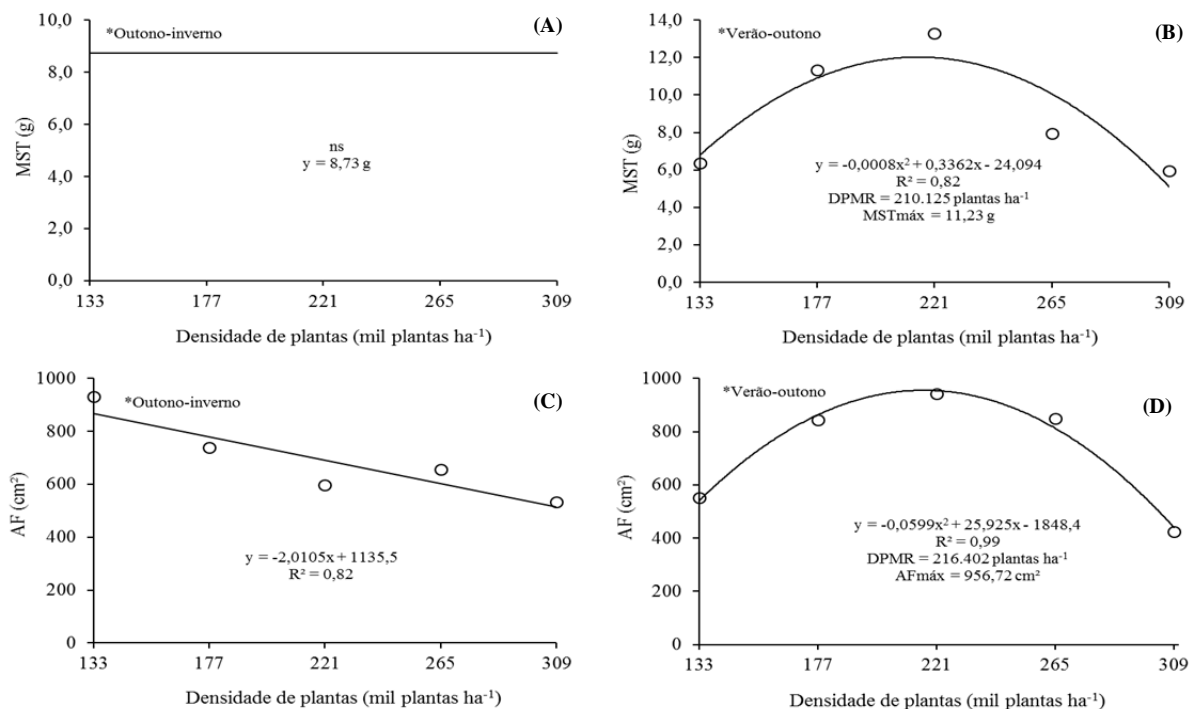
Observou-se no campo plantas mais altas no cultivo de outono-inverno (31,62 cm) em relação ao verão-outono (23,72 cm), o que indica que, com menor quantidade de radiação solar incidente, as plantas investiram mais energia no seu crescimento em altura, visando maior interceptação de luz para a fotossíntese, e menos energia para o crescimento das suas estruturas na densidade de $221.00 \text{ plantas ha}^{-1}$, o que explica as menores médias de MST e AF na semeadura de outono-inverno. Segundo Taiz e Zeiger (2009), plantas que crescem em ambientes com menor luminosidade tender a expandir-se longitudinalmente como resposta de aclimação da atividade fotossintética em ambientes com menos luz.

Na Tabela 3.2, também é possível observar a produção de folhas com maior área para interceptação de radiação na densidade de $133.000 \text{ plantas ha}^{-1}$, no cultivo de outono-inverno. De forma oposta ao observado para a densidade de $221.000 \text{ plantas ha}^{-1}$,

menos plantas por área precisam ser mais eficientes para aproveitar a menor radiação incidente no outono-inverno, o que pode explicar a maior produção de AF na menor população de plantas na referida época de semeadura. Resultado semelhante foi observado por Santos et al. (2011), que constataram maior área foliar em feijão-caupi sombreado. Segundo Martuscello et al. (2009), a expansão da área foliar é uma estratégia vegetal para maior exposição e aproveitamento das baixas intensidades luminosas pelas folhas.

Na Figura 3.2, é apresentado o desdobramento do fator densidade de plantas em função das épocas de semeadura. Para a MST, houve ajuste quadrático significativo quando as densidades populacionais foram avaliadas no verão-outono. Nesta época, observou-se que o máximo desempenho da variável (MST = 11,23 g) foi obtido com a utilização de 210.125 plantas ha⁻¹, com posterior decréscimo em função do adensamento.

Figura 3.2 - Desdobramento do fator época de semeadura em função da densidade de plantas, para as características massa seca total (MST – Figuras A e B) e área foliar (AF – Figuras C e D) de feijão-vagem de crescimento determinado. Londrina, 2019.



*DPMR: Densidade de plantas de máxima resposta; MSTmáx: massa seca total máxima; AFmáx: área foliar máxima. *ns: não significativo.

Fonte: o próprio autor.

No outono-inverno, a alteração das densidades de plantas não foi relevante, nas quais as plantas apresentaram acúmulo médio de 8,73 g de MST. Além de diferenças na

quantidade de radiação incidente, diferenças de ciclo observadas entre as épocas de semeadura podem estar associadas ao acúmulo de MST das plantas de feijão-vagem de acordo com a densidade populacional. No verão-outono, a maior temperatura média contribuiu para antecipação do ciclo (colheita de vagens em 42 DAR). Deste modo, a densidade que melhor distribui as plantas proporciona melhor aproveitamento dos recursos de produção no menor tempo disponível para isso, como ocorreu com a densidade intermediária de 210.125 plantas ha⁻¹ no verão-outono.

Em contrapartida, o crescimento e desenvolvimento mais lento das plantas no outono-inverno (colheita de vagens em 56 DAR), independente da densidade, permitiu com que as plantas consumissem os recursos de produção por mais tempo, fazendo com que a produção e alocação de massa seca nas diferentes estruturas da planta fossem semelhantes, minimizando o efeito da densidade de plantas sobre o acúmulo de MST.

Seif et al. (2016) reportaram redução de massa seca total de plantas de feijão-vagem de crescimento determinado nas safras de verão de 2013 e 2014, no Egito (estação quente e seca, com semeadura realizada em março), em função do aumento da densidade de 22 para 33 plantas por m⁻². Em feijão comum, Zabot et al. (2004) observaram tendência crescente de acúmulo de massa seca na faixa de população situada entre 200 e 500.000 plantas ha⁻¹, e atribuíram esse resultado a capacidade da cultivar avaliada em se adaptar ao adensamento. Silva et al. (2012) verificaram em cultivo de verão-outono que na densidade de 300.000 plantas ha⁻¹ houve maior acúmulo de massa seca total do feijoeiro, dentro da faixa de população situada entre 200 e 400 mil plantas por hectare; enquanto El-Atabany (2015) constatou redução da massa seca total em função do aumento da população de plantas. Em feijão-caupi, Qasem e Biftu (2010) e Bezerra et al. (2014) relataram redução da massa seca de plantas em função do adensamento populacional, nos quais os últimos autores avaliaram a cultura na safra de inverno-primavera. De modo geral, os autores atribuíram a redução da MST ao aumento da competição e do autossombreamento em função do incremento da população. Segundo Bezerra (2005), além das diferenças entre espécies e genótipos, variações de hábito de crescimento e de ciclo, isoladas ou em interação com população de plantas, são determinantes para o aproveitamento dos fatores de produção.

Ainda na Figura 3.2, observou-se redução linear da AF, na medida em que houve incremento da população de plantas no outono-inverno. Este resultado pode ser explicado pela ação combinada entre o aumento da competição vegetal, em função do incremento populacional, o que resulta em menos espaço na linha para extensão lateral das folhas e maior autossombreamento entre as plantas na linha, reduzindo a eficiência da

interceptação da menor quantidade de radiação incidente desta época. Estes resultados concordam com os obtidos por Seif et al. (2016), que constataram redução da área foliar de feijão-vagem de crescimento determinado quando 33 ao invés de 22 plantas m^{-2} .

No verão-outono, houve ajuste quadrático significativo da AF em função do adensamento populacional, com área foliar máxima de 956,72 cm^2 , obtida com a utilização de 216.402 plantas ha^{-1} (Figura 3.2). Do mesmo modo que a MST, com menor ciclo no verão-outono, a densidade que melhor distribui a população na área favoreceu o aproveitamento dos recursos de produção, refletindo em folhas com maior superfície.

Neste estudo, constatou-se que o teor de carotenoides das folhas de feijão-vagem foi modificado por alterações na densidade de plantas e no espaçamento entre linhas (Tabela 3.3). Os valores de carotenoides encontrados concordam com os obtidos por Aliu et al. (2014), que reportaram uma faixa média situada entre 0,95 a 17,23 $mg g^{-1}$ de massa seca foliar, após caracterizarem 47 acessos de *Phaseolus vulgaris* (feijão comum) oriundos de diferentes regiões do Kosovo, em estudo sobre diversidade genética com a cultura.

Os carotenoides são pigmentos acessórios que se acumulam nos cloroplastos e atuam nas reações e na estabilização do sistema de membranas fotossintéticas, principalmente na captação de energia luminosa, em auxílio à clorofila, e também como um agente fotoprotetor responsável por dissipar o excesso de energia absorvida pelo aparato fotossintético, e assim, impedir danos oxidativos às membranas celulares (CARDOSO, 1997).

Tabela 3.3 - Desdobramento do fator densidade de plantas em função do espaçamento entre linhas, para a característica teor de carotenoides (CAROT) em folhas de feijão-vagem de crescimento determinado. Londrina, 2019.

Densidade de plantas (mil plantas ha^{-1})	Espaçamento entre linhas (m)	
	0,45	0,90
133	16,00 A	13,93 B
177	14,86 A	15,51 A
221	15,37 A	14,51 A
265	14,04 B	16,54 A
309	15,71 A	15,58 A

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na linha, não diferem entre si na comparação entre espaçamento entre linhas para cada densidade de plantas avaliada.

Fonte: o próprio autor.

Na Tabela 3.3, observou-se que na densidade de 133.000 plantas ha^{-1} houve incremento no teor de carotenoides nas folhas, cujas plantas foram cultivadas em linhas

espaçadas 0,45 m. Este resultado pode ser explicado pela maior radiação potencialmente estressante (radiação ultravioleta) sobre as plantas em baixas densidades (TAIZ; ZEIGER, 2009), o que leva a produção de compostos que podem causar danos oxidativos às células vegetais, e, em resposta, houve aumento da produção de carotenoides que apresentam ação antioxidante (DELGADO-VARGAS; JIMÉNEZ; PAREDES-LÓPES, 2000). Na mesma tabela, também foi possível observar que o adensamento populacional a partir de 177.000 plantas ha⁻¹, em ambos os espaçamentos, não ocasionou diferença estatística entre os tratamentos, levando à estabilização no acúmulo de carotenoides das folhas do feijão-vagem.

Neste estudo, avaliou-se a mesma população em todos os arranjos de plantas. Assim, para que a mesma população fosse mantida em todos os tratamentos, dobrou-se o número de plantas por metro linear nas linhas espaçadas 0,90 m, pois neste espaçamento as parcelas apresentavam metade do número de linhas em relação às parcelas com linhas espaçadas 0,45 m. Em condições de maior densidade, há maior proximidade e assim, maior competição pela radiação entre as plantas na linha, ocasionando menor interceptação de luz por planta. Deste modo, sugere-se que os carotenoides possam ter atuado não com a foto proteção das membranas, mas como um pigmento que visou interceptar e aproveitar mais a radiação incidente. Assim, é possível que na busca por aumentar a sua eficiência fotossintética em função do aumento da competição, as plantas de feijão-vagem cultivadas em linhas espaçadas 0,90 m aumentaram a produção de carotenoides nas folhas, o que explica a estabilização na produção destes, em ambos os espaçamentos testados. De acordo com Engel e Poggiani (1991), as espécies vegetais podem incrementar a produção de pigmentos fotossintéticos em condições de menor luminosidade do ambiente, de modo a favorecer a maior captação de radiação solar pelas plantas. Segundo Britton (1993), a intensidade da luz no ambiente é um dos fatores que regula a biossíntese de carotenoides nas plantas.

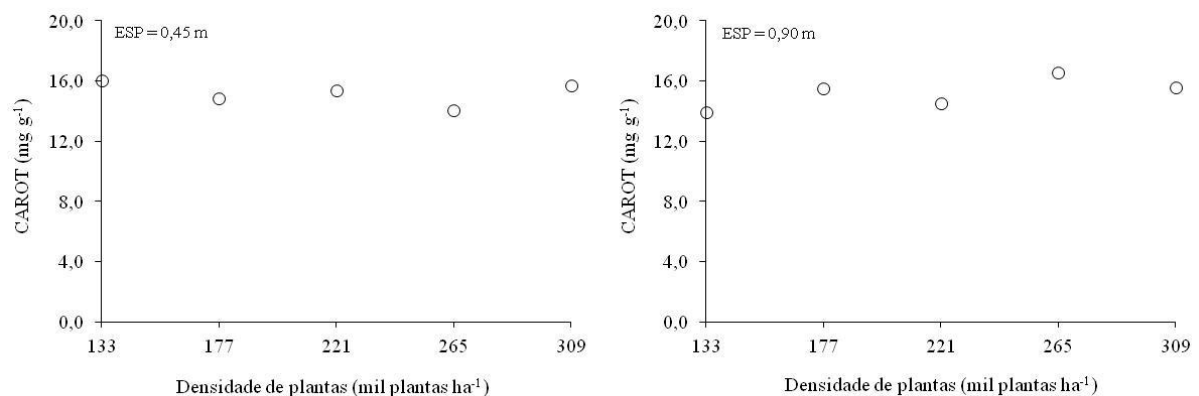
Cabe ressaltar que o ajuste dos teores de carotenoides nas folhas pode representar uma estratégia adaptativa das plantas de feijão-vagem ao sombreamento entre as plantas causado pelo adensamento populacional. No entanto, tal estratégia não necessariamente está relacionada com melhorias nos parâmetros de crescimento e rendimento do feijão-vagem, uma vez que o desempenho agrônômico é função de diversos outros fatores relacionados ao ambiente de cultivo, em efeito isolado ou em interações.

Segundo Boardman (1977), plantas sombreadas aumentam a produção de pigmentos capturadores de luz, visando absorver a quantidade limitada de radiação que chega até as suas folhas. Ainda segundo o autor, os cloroplastos, local onde são produzidos os pigmentos, se rearranjam em condições de sombra para maximizar a absorção da luz.

Na Figura 3.3, é apresentado o desdobramento do fator densidade de plantas em função do espaçamento entre linhas. Apesar do aumento da população de plantas interferir no acúmulo de carotenoides, não houve ajuste satisfatório dos dados a nenhum modelo matemático testado, em ambos os espaçamentos avaliados. Estes resultados demonstraram que não houve um padrão para o acúmulo de carotenoides em folhas de feijão-vagem, e assim, não foi possível neste estudo estabelecer o espaçamento entre linhas e a densidade de plantas ótima para máxima produção de carotenoides na cultivar avaliada.

Peil, Albuquerque Neto e Rombaldi (2014) avaliaram o crescimento, produção e qualidade de frutos de tomate cereja em resposta a densidade de plantio em cultivo em substrato. Em frutos do genótipo Cereja Vermelha, os autores observaram incremento linear de carotenoides em função do adensamento populacional. Em contrapartida, não verificaram efeito do incremento de população no acúmulo de carotenoides em frutos de tomate cereja do genótipo Flavor Top. Os autores atribuíram estes resultados ao tamanho dos frutos, ou seja, há efeito de diluição ou concentração de carotenoides nos tecidos de frutos de diferentes tamanhos.

Figura 3.3 - Desdobramento do fator densidade de plantas em função do espaçamento entre linhas, para a característica teor de carotenoides (CAROT) em folhas de feijão-vagem de crescimento determinado. Londrina, 2019.



*ESP: Espaçamento entre linhas.

Fonte: o próprio autor.

Neste estudo, não foi observada relação entre os parâmetros de crescimento avaliados e o acúmulo de carotenoides em folhas de feijão-vagem, bem como não houve efeito isolado da densidade de plantas sobre a referida característica. Ribas (2017) avaliou o teor de carotenoides em folhas de pepino em função do sistema de cultivo consorciado e

solteiro, e da redução da densidade de plantas em 15, 30 e 45% em relação à população original. O autor não observou influência das fontes da variação, e nem da sua interação, sobre o teor de carotenoides das folhas de pepino. Segundo Britton (1993), o mecanismo que regula a biossíntese de carotenoides nos vegetais é complexo, e tem seu funcionamento alterado pelas condições ambientais e de crescimento das plantas, espécie vegetal, genótipo, tipo e idade do tecido vegetal avaliado.

Comparando-se as épocas de semeaduras, é possível estabelecer uma relação entre as características MSF, RPF e AFE. Observou-se maior MSF e RPF no cultivo de verão-outono (Tabela 3.4). Como já mencionado, a quantidade de radiação solar que incidiu sobre as plantas na referida época foi maior. Com mais luz, as células do parênquima paliçádico tendem a ser mais alongadas, e apresentarem paredes celulares mais espessas, o que contribui para que elas tenham maior massa em relação à área que apresentam. Com maior MSF, maior também a RPF no verão-outono. Como a RPF resulta da divisão entre MSF por MST, o aumento da MSF levou ao aumento da RPF, uma vez que não houve diferença estatística para MST em função das épocas de semeadura avaliadas. Quanto a AFE, a menor quantidade de radiação solar incidente no outono-inverno fez com que as folhas aumentassem a sua superfície para interceptação de radiação, em detrimento ao crescimento das células do parênquima paliçádico. Como a AFE relaciona a área foliar em função da massa seca alocada na folha, observou-se maior AFE no outono-inverno, uma vez que as folhas apresentavam maior área e menor massa seca (CAIRO; OLIVEIRA; MESQUITA, 2008).

Ainda na comparação entre as épocas de semeadura, a produção de CLA, CLB e CAROT foi maior no verão-outono. Sugere-se que a maior quantidade de radiação incidente na referida época favoreceu a atividade fotossintética em resposta a maior produção de pigmentos fotossintéticos. Segundo Kluge, Tezotto-Uliana e Silva (2015), em temperaturas semelhantes, o aumento da intensidade luminosa aumenta a taxa fotossintética vegetal. Aguiar (2018) encontrou resultado semelhante ao deste estudo, ao estudar a competição por solo+luz e por luz apenas entre feijão comum e milho em cultivo consorciado e solteiro (apenas da leguminosa - testemunha). O autor encontrou maiores teores de clorofilas a e b em feijão solteiro em ambas as formas de competição avaliadas, evidenciando que a maior quantidade de radiação incidente aumentou a produção de pigmentos na espécie. Fan et al. (2018) em estudo com a cultura da soja em consórcio com milho e cultivo solteiro (apenas soja) também reportaram maiores teores de clorofilas a, b, e carotenoides em folhas de soja em cultivo solteiro, ou seja, nas plantas que receberam maior quantidade de radiação solar.

Na Tabela 3.4, é possível estabelecer a relação entre maior MSF, RPF e menor AFE, com o aumento dos teores dos pigmentos fotossintéticos nas folhas de plantas cultivadas no verão-outono. Estes resultados podem ser explicados em função das folhas com parênquima mais desenvolvido apresentarem maior quantidade e células vegetais mais desenvolvidas, e que possuem cloroplastos para armazenamento dos pigmentos fotossintéticos. Fan et al. (2018) observaram parênquimas paliçádicos mais desenvolvidos em folhas de soja que receberam maior quantidade de radiação.

Tabela 3.4 - Massa seca das folhas (MSF), razão de peso foliar (RPF) área foliar específica (AFE), teor de clorofila a (CLA), b (CLB) e carotenoides (CAROT) em folhas de feijão-vagem de crescimento determinado em função da época de semeadura. Londrina, 2019.

Épocas de semeadura	MSF (g)	RPF	AFE (cm ⁻² g ⁻¹)	CLA (mg g ⁻¹)	CLB (mg g ⁻¹)	CAROT (mg g ⁻¹)
Outono-inverno	2,12 b	0,26 b	379,96 a	14,31 b	5,29 b	9,72 b
Verão-outono	3,08 a	0,32 a	222,67 b	30,55 a	19,99 a	20,69 a

*Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

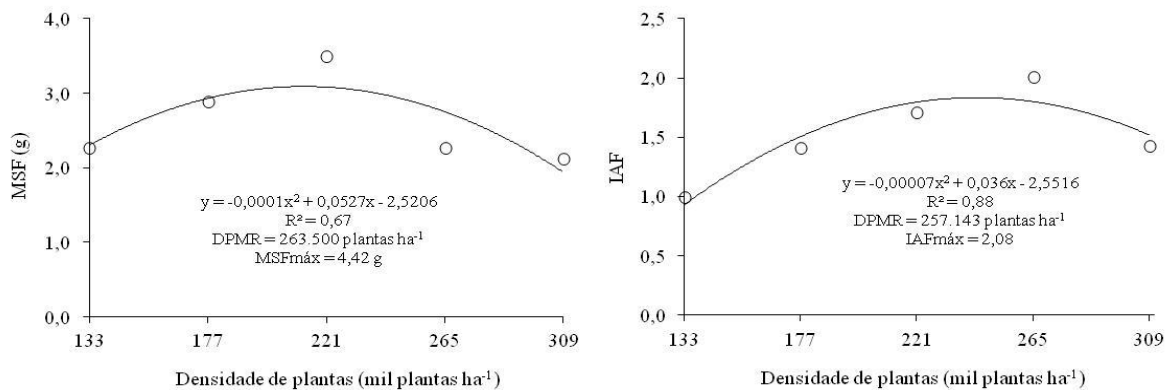
Fonte: o próprio autor.

Na Figura 3.4, observa-se ajuste quadrático dos dados de MSF e IAF em função da densidade de plantas. As máximas MSF e IAF foram obtidas nas densidades de 263.500 e 257.143 plantas ha⁻¹ respectivamente. Deste modo, é possível inferir que até a obtenção do ponto de inflexão, o aumento da população é benéfico, pois permite as plantas aproveitarem melhor os espaços e recursos de produção na linha de semeadura. Após as densidades ótimas, houve redução de desempenho da MSF e IAF em função do aumento do número de plantas por área, provavelmente em decorrência da maior competição entre as plantas. Com maior competição, é provável que tenham ocorrido mudanças na translocação de carboidratos, na qual as folhas passam a não serem mais o dreno metabólico prioritário da planta de feijão-vagem. Adicionalmente, a redução do IAF após a densidade ótima pode ser atribuída ao menor espaço lateral que as plantas encontraram para o desenvolvimento das suas folhas.

Krinski et al. (2001) realizaram um trabalho semelhante ao deste estudo, ao avaliar a distribuição de 270.000 plantas ha⁻¹ de um genótipo de feijão comum de crescimento indeterminado nos espaçamentos de 30, 40, 50 e 60 cm entre linhas (densidades de 8,1; 10,8; 13,5 e 16,2 plantas m⁻²). O autor encontrou tendência quadrática de ajuste dos dados de MSF, conforme também reportado neste estudo.

Jadoski et al. (2000) e Zabot et al. (2004) avaliaram o IAF de genótipos de feijão comum de crescimento indeterminado em função do adensamento populacional. Os dois estudos reportaram acréscimo linear, e justificaram o resultado em função da melhor distribuição das plantas e maior eficiência no aproveitamento dos recursos de produção, como também é possível que tenha ocorrido neste estudo até a observação do ponto de inflexão.

Figura 3.4 - Massa seca das folhas (MSF) e índice de área foliar (IAF) de feijão-vagem de crescimento determinado em função da densidade de plantas. Londrina, 2019.



*DPMR: Densidade de plantas de máxima resposta; MSFmáx: Massa seca das folhas máxima; IAFmáx: Índice de área foliar máxima.

Fonte: o próprio autor.

Este estudo mostrou que quando se modifica a distribuição das plantas na área de cultivo, também se modifica o crescimento do feijão-vagem de crescimento determinado, pois as relações de competição intraespecífica entre as plantas, bem como a influência das condições ambientais, são alteradas em função do arranjo de plantas adotado e da época de semeadura.

3.6 CONCLUSÕES

O arranjo de plantas e a época de semeadura influenciam de forma isolada, e em interação, o crescimento e o teor de pigmentos fotossintéticos do feijão-vagem de crescimento determinado.

No verão-outono, o uso de 221.000 plantas ha⁻¹ favorece o acúmulo de massa seca total e a área foliar do feijão-vagem em relação ao outono-inverno.

No verão-outono, a densidade de 210.125 proporciona máximo acúmulo de massa seca total, e a densidade de 216.402 plantas ha^{-1} proporciona máxima área foliar do feijão-vagem.

A densidade de 263.500 plantas ha^{-1} proporciona máximo acúmulo de massa seca das folhas, e a densidade de 257.143 plantas ha^{-1} proporciona máximo índice de área foliar do feijão-vagem.

No outono-inverno, a área foliar específica é favorecida, o acúmulo de massa seca total das plantas não é influenciado pela densidade de plantas, e a área foliar da cultura é reduzida pelo adensamento populacional.

No verão-outono, o acúmulo de massa seca das folhas, a razão de peso foliar, e os teores de clorofila a, b e carotenoides são favorecidos.

4 ARTIGO B

ARRANJOS DE PLANTAS E ÉPOCAS DE SEMEADURA NO DESEMPENHO PRODUTIVO DE FEIJÃO-VAGEM DE CRESCIMENTO DETERMINADO

4.1 RESUMO

O feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma hortaliça com importância econômica e social no Brasil, especialmente para os agricultores familiares paranaenses, responsáveis pela maioria da produção de vagens *in natura* do Estado do Paraná. Considerando que as plantas apresentam variação de resposta frente a alterações no ambiente na qual elas crescem, objetivou-se com este estudo avaliar o desempenho produtivo do feijão-vagem de crescimento determinado em resposta a diferentes arranjos de plantas e épocas de semeadura. Foram conduzidos dois experimentos independentes. O primeiro ocorreu no outono-inverno e o segundo no verão-outono, em Londrina-PR. Em ambos, o delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 2x5, com três repetições. Os fatores corresponderam a dois espaçamentos entre linhas (0,45 e 0,90 m) e cinco densidades de plantas (133, 177, 221, 265 e 309 mil plantas ha⁻¹). Avaliou-se as características dias para florescimento, altura de planta, número de vagens por planta, massa média de vagem, rendimento de vagens e teor de proteína e fibra bruta das vagens. Foram conduzidas análises de variância individuais para cada experimento e, depois de constatadas as magnitudes dos quadrados médios residuais, realizou-se a análise conjunta dos dados. A comparação das médias dos fatores época de semeadura e espaçamento entre linhas foi realizada pelo teste F (p<0,05), enquanto as médias do fator densidade de plantas foram submetidas à análise de regressão (p<0,05). O desempenho produtivo do feijão-vagem de crescimento determinado é influenciado pelo efeito isolado, e pela interação, dos fatores época de semeadura, densidade de plantas e espaçamento entre linhas. O rendimento de vagens é superior com o uso de 221.000 plantas ha⁻¹ no outono-inverno, independente do espaçamento utilizado. A densidade de 177.000 plantas ha⁻¹, associada ao espaçamento de 0,45 m entre linhas, proporciona maior acúmulo de proteína bruta nas vagens no verão-outono. A densidade de 221.000 plantas ha⁻¹, associada ao espaçamento de 0,45 m entre linhas, proporciona maior acúmulo de proteína bruta das vagens no outono-inverno. As densidades de 133, 177, 265 e 309.000 plantas ha⁻¹, associadas ao espaçamento de 0,90 m entre linhas, proporcionam maior acúmulo de proteína bruta das vagens no outono-inverno. No outono-inverno, as plantas de feijão-vagem apresentam maior ciclo, altura, número de vagens, massa média de vagem, teor de proteína e fibra bruta nas vagens e rendimento de vagens. A utilização do espaçamento de 0,45 m entre linhas aumenta o número de vagens por planta, a massa média de vagem e o rendimento de vagens.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L. Espaçamento entre linhas. Densidade de plantas. Estações de cultivo. Rendimento de vagens.

PLANTS ARRANGMENTS AND SOWING SEASONS ON THE PRODUCTIVE PERFORMANCE OF BUSHING SNAP BEAN

4.2 ABSTRACT

The snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a vegetable with economic and social importance in Brazil, especially for family farmers in Parana, responsible for most of the production of fresh pods in the state of Parana. Considering that plants have a variation in response to changes in the environment in which they grow, this study aimed to evaluate the productive performance of bushing snap bean in response to different plant arrangements and sowing seasons. Two independent experiments were conducted. The first occurred in autumn-winter and the second in summer-autumn, in Londrina-PR. In both, the experimental design was a randomized complete block, in a 2x5 factorial scheme, with three replications. The factors corresponded to two row spacings (0.45 and 0.90 m) and five plant densities (133, 177, 221, 265 and 309 thousand plants per ha). Were evaluated the characteristics days to flowering, plant height, number of pods per plant, average pod mass, pod yield and protein and crude fiber content of the pods. Individual analysis of variance for each experiment were conducted and, after finding the magnitudes of the residual mean squares, the joint analysis of the data was performed. The comparison of the means of the factors sowing season and row spacing was performed by the F test ($p < 0.05$), while the means of the factor plant density were subjected to regression analysis ($p < 0.05$). The productive performance of the bushing snap bean is influenced by the isolated effect, and the interaction, of the factors sowing season, plant density and row spacing. The yield of pods is higher with the use of 221,000 plants per ha in autumn-winter, regardless of the spacing used. The density of 177,000 plants per ha, associated with 0.45 m row spacing, provides higher accumulation of crude protein in the pods of summer-autumn. The density of 221,000 plants per ha, associated with 0.45 m row spacing, provides higher accumulation of crude protein in the pods of autumn-winter. The densities of 133, 177, 265 and 309,000 plants per ha, associated with the 0.90 m row spacing, provides higher pod protein accumulation in autumn-winter. In autumn-winter, the snap bean plants present higher cycle, height, number of pods, average pod mass, protein and crude fiber content in pods and pod yield. The use of 0.45 m row spacing increases the number of pods per plant, the average pod mass and the pod yield.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L. Row spacing. Plants density. Growing seasons. Pod yield.

4.3 INTRODUÇÃO

O feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma olerícola pertencente a mesma espécie do feijão comum, cuja as vagens são colhidas imaturas. No mundo, são produzidas 23,5 milhões de toneladas de vagens, das quais 325 mil toneladas são oriundas do continente americano. Deste montante, a América do Sul participa com 36% da produção (FAO, 2017). No Brasil, seus dados de produção são incipientes. Em termos econômicos, o último levantamento mostrou que a produção e comercialização de vagens no país movimentaram cerca de 180 milhões de reais (CONAB, 2015).

Por apresentarem maior produção, os olericultores preferem utilizar cultivares de feijão-vagem de crescimento indeterminado. Em contrapartida, cultivares de crescimento determinado dispensam o uso de tutoramento, apresentam menor ciclo, concentram florescimento e produção em curto período de tempo, e possibilitam a realização de uma única colheita. Estas características permitem reduzir a quantidade de tratamentos culturais empregados, e podem representar redução dos custos de produção de vagem (MOREIRA et al., 2009).

Assim como o feijão comum, o feijão-vagem pode ser cultivado ao longo do ano (ARAÚJO; FERREIRA, 2006). Segundo Barros et al. (2003), as épocas de semeadura caracterizam-se por condições ambientais distintas que se combinam, e que podem alterar as características agrônomicas e a produção das culturas. Condições ambientais adequadas favorecem o crescimento, desenvolvimento e produção das plantas; no entanto, quando inadequadas, podem limitar o seu rendimento (SIMIDU et al., 2010).

Para o feijão-vagem, a interação entre temperatura e umidade relativa do ar, bem como quantidade e distribuição da precipitação pluvial influenciam decisivamente os estádios de florescimento e frutificação, e conseqüentemente, o seu desempenho produtivo (TSUKAGUCHI et al., 2005).

Em termos de demanda hídrica, o feijoeiro consome de 300 a 600 mm de água ao longo do seu ciclo, com faixa térmica ideal situada entre 17 a 25 °C (BARBOSA; GONZAGA, 2012). A distribuição irregular da precipitação pluvial, principalmente nos estádios reprodutivos, pode comprometer o rendimento da cultura. Temperaturas acima de 35 °C ocasionam queda das estruturas reprodutivas; enquanto baixas temperaturas podem diminuir o crescimento e desenvolvimento das plantas (CARVALHO et al., 2014). Já a umidade relativa do ar interfere na demanda evaporativa atmosférica. O aumento dessa demanda (resultante da menor umidade relativa do ar em função da maior temperatura) eleva

a transpiração e, em consequência, aumenta a demanda de água pela leguminosa. Deste modo, a baixa disponibilidade de água no solo pode reduzir o desempenho agrônomo da cultura (GOMIDE; ALBUQUERQUE, 2008).

Além da influência do clima e tempo, o desempenho agrônomo do *Phaseolus vulgaris* L. é afetado pelo modo com que as plantas são distribuídas na área de cultivo. A distribuição das plantas resulta da combinação entre os fatores espaçamento entre linhas e densidade de plantas, com o objetivo de identificar o arranjo populacional que aumente o rendimento da cultura. Ainda, a escolha do espaçamento entre linhas e da densidade de plantas, na definição do arranjo espacial de plantas mais adequado, representa uma prática cultural de baixo custo e fácil adoção pelos agricultores (OLIVEIRA et al., 1999).

O arranjo espacial afeta a intensidade da competição entre as plantas, e assim, altera a quantidade (RAMBO et al., 2004) e a eficiência de cada planta em utilizar os recursos ambientais de produção (BEZERRA, 2005), como a radiação solar, água e nutrientes. Ainda, o manejo de pragas, doenças e plantas daninhas pode ser modificado pelo arranjo de plantas (SILVA et al., 2008). Estas mudanças podem alterar o desempenho agrônomo do feijoeiro, por meio de mudanças na quantidade e na qualidade da sua produção.

Na literatura, estudos indicaram que a população ideal para o feijão se encontra na faixa de 200 a 240 mil plantas por hectare, visando máximos rendimentos. No entanto, o arranjo populacional mais utilizado para a cultura considera espaçamentos de 40 a 50 cm entre linhas, utilizando densidades que variam de 185 a 400 mil plantas por hectare (SOUZA et al., 2002; STONE; SILVEIRA, 2008). A ampla possibilidade de variação do número de plantas por área se deve à plasticidade fenotípica que a espécie apresenta, relacionada com a capacidade do feijão em alterar a sua morfologia para ocupar os espaços vazios, principalmente nas menores densidades de plantas, objetivando manter, ou mesmo aumentar o seu rendimento por planta (COSTA et al., 1983; SILVA et al., 2008). O hábito de crescimento das cultivares também deve ser considerado na adoção do arranjo de plantas do feijão. Cultivares de crescimento determinado apresentam porte ereto e assim, menor competição intraespecífica em função do adensamento populacional (SANTOS; GAVILANES, 2006).

Para o feijão-vagem de crescimento determinado, são poucos os estudos sobre a resposta da cultura em função da modificação do arranjo espacial de plantas. Dentre eles, Abubaker (2008) relatou que o adensamento de plantas reduziu o rendimento de vagens. Em contrapartida, Sahariar et al. (2015) reportou que a aproximação das plantas na linha de

semeadura resultou em incremento na produção de vagens por hectare. Adicionalmente, deve-se considerar que para um mesmo arranjo espacial de plantas, há possibilidade de variação na produção da cultura em função das diferentes condições meteorológicas das épocas de semeadura.

Considerando que o feijão-vagem de crescimento determinado pode ser afetado tanto pelos efeitos isolados de arranjos de plantas e das épocas de semeadura, quanto pela interação entre eles, objetivou-se com este estudo avaliar o desempenho produtivo do feijão-vagem de crescimento determinado em resposta a diferentes arranjos de plantas e épocas de semeadura.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

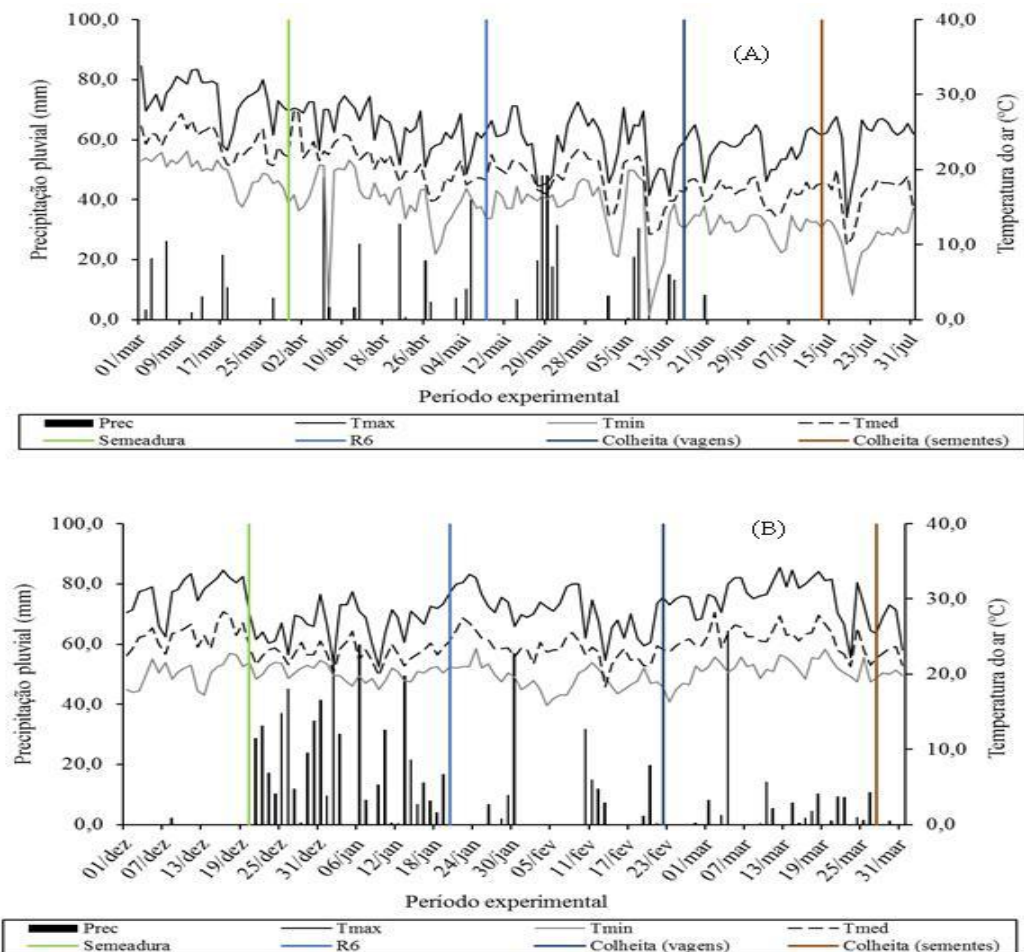
Os estudos foram conduzidos em Londrina-PR, em Latossolo Vermelho eutroférico (SANTOS et al., 2018), em área experimental localizada em 23° 23' S, 51° 11' W e altitude de 570 m. O clima da região é do tipo Cfa (CAVIGLIONE et al., 2000). Os dados meteorológicos referentes aos períodos experimentais seguem apresentados na Figura 4.1.

Foi avaliada a cultivar Feltrin Macarrão Napoli[®], de hábito de crescimento determinado e produção de vagens do tipo macarrão. A cultivar possui, em média, ciclo de 60 dias da semeadura a colheita das vagens imaturas, e apresenta características de tolerância à ferrugem (*Uromyces appendiculatus* Pers. Unger) e a antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum* Sacc. & Magn.).

As análises químicas dos solos, na profundidade de 0 a 20 cm, foram realizadas antes da instalação dos experimentos. No experimento I, as características químicas do solo foram representadas por: pH (CaCl₂) 5,6; 25,28 g kg⁻¹ de massa orgânica; 3,97 cmol_c dm⁻³ de H⁺ + Al³⁺; 4,50 cmol_c dm⁻³ de Ca²⁺; 1,64 cmol_c dm⁻³ de Mg²⁺; 0,38 cmol_c dm⁻³ de K⁺; 3,30 mg dm⁻³ de P e 62,15% de saturação por bases. No experimento II, as características químicas do solo foram: pH (CaCl₂) 5,3; 23,56 g kg⁻¹ de massa orgânica; 4,60 cmol_c dm⁻³ de H⁺ + Al³⁺; 3,62 cmol_c dm⁻³ de Ca²⁺; 1,56 cmol_c dm⁻³ de Mg²⁺; 0,44 cmol_c dm⁻³ de K⁺; 3,0 mg dm⁻³ de P e 54,99% de saturação por bases.

Os solos experimentais foram preparados mecanicamente, por meio de uma aração e uma gradagem, e em seguida, a área foi nivelada. Em ambos os experimentos, a adubação mineral no sulco de semeadura foi realizada conforme Parra (2003), utilizando-se o formulado 10-15-15 (N-P₂O₅-K₂O). Posteriormente, aos 22 (experimento I) e 21 (experimento II) dias após a semeadura, procedeu-se a adubação mineral em cobertura com ureia (45% N).

Figura 4.1 - Precipitação pluvial, e temperaturas média, máxima e mínima dos experimentos conduzidos no outono-inverno (A) e no verão-outono (B), no período compreendido entre semeadura e colheita das sementes. Londrina, 2019.



Fonte: Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR).

Os experimentos foram semeados manualmente em 30/03/2017 (experimento I), e 20/12/2017 (experimento II). Em ambos, a cultivar Feltrin Macarrão Napoli[®] foi submetida a 10 arranjos de plantas (tratamentos). Em cada época de semeadura foi conduzido um experimento independente, em esquema fatorial 2x5, correspondentes a dois espaçamentos entre linhas (0,45 e 0,90 m) e cinco densidades de plantas (133.000, 177.000, 221.000, 265.000 e 309.000 plantas ha⁻¹). O delineamento experimental foi o de blocos completos ao acaso, com três repetições.

Com o objetivo de padronizar o tamanho das áreas total e útil das unidades experimentais, as parcelas com linhas espaçadas 0,45 m foram compostas por seis fileiras de cinco metros de comprimento; enquanto que, no espaçamento de 0,90 m entre linhas, as parcelas foram compostas por três fileiras de igual comprimento. A área total e útil de cada

parcela foi de 11,25 m² e 3,6 m² respectivamente. Nas parcelas com fileiras espaçadas 0,45 m, considerou-se as duas fileiras centrais para as avaliações, descartando-se 0,5 m das suas extremidades. Nas parcelas com 0,90 m de espaçamento entre fileiras, considerou-se a fileira central para as avaliações, também se descartando 0,5 m das suas extremidades.

No outono-inverno, foi necessário o controle químico de plantas daninhas aos 14 dias após a semeadura, com a aplicação de 24,0 g ha⁻¹ de bentazona e 1,12 g ha⁻¹ de imazamoxi (herbicida Amplo[®]). O herbicida utilizado apresenta seletividade para plantas da espécie *Phaseolus vulgaris* L., e realiza o controle, em pós-emergência, de infestantes de folhas largas e estreitas. Não houve a necessidade do controle de pragas e doenças.

No verão-outono, o controle químico de plantas daninhas foi realizado aos 7 dias após a semeadura, por meio da mesma estratégia utilizada no outono-inverno. Foram necessárias três aplicações de 0,6 g ha⁻¹ de tiametoxam e 0,42 g ha⁻¹ de lambda-cialotrina (inseticida Engeo Pleno[®]) para o controle da mosca branca (*Bemisia tabaci* Genn.), que ocorreram, respectivamente, aos 8, 22, 37 dias após a semeadura. Também foi necessária a aplicação de 4 g ha⁻¹ de imidacloprido e 0,5 g ha⁻¹ de beta-ciflutrina (inseticida Connect[®]) para o controle do percevejo marrom (*Euchistus heros* Fabr.), aos 58 dias após a semeadura. Quanto às doenças, houve necessidade da aplicação de 2,4 g ha⁻¹ de azoxistrobina (fungicida Amstar 250 WG[®]), aos 15 dias após a semeadura, para o controle da mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola* Sacc.).

No outono-inverno, as plantas atingiram ponto de colheita das vagens aos 78 dias após a semeadura e, no verão-outono, aos 64 dias. Para a determinação dos componentes de produção, e do rendimento de vagens, colheram-se manualmente todas as plantas de 0,9 m² da área útil das parcelas. Posteriormente, procederam-se as seguintes determinações:

a) Dias para florescimento (DPF): expresso em número de dias desde a semeadura até a antese de cerca de 50% das plantas da parcela.

b) Altura de planta (AP): mediu-se a distância, em centímetros, da base ao ápice da haste principal de 10 plantas representativas da área útil de cada parcela.

c) Número de vagens por planta (NVP): determinado pela razão entre o número de vagens e o número de plantas por parcela.

d) Massa média de vagem (MMV): determinada pela razão entre a massa e o número de vagens produzidas por parcela, e o resultados expressos em gramas.

e) Rendimento de vagens (RV): determinado pela massa das vagens produzidas por parcela, e os resultados transformados e expressos em Mg ha⁻¹.

Após a colheita, foram retiradas amostras de vagens frescas de cada tratamento, que seguiram para secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 50 °C, até obtenção de massa constante. Em seguida, as amostras foram moídas e peneiradas em malha com dois milímetros de abertura, a fim de retirar o material grosseiro e uniformizar o tamanho das partículas. Em seguida, as amostras foram enviadas o laboratório, e a sua qualidade tecnológica determinada pelas seguintes avaliações:

f) teor de fibra bruta das vagens (TFBV): determinado conforme metodologia da AOCS Ba 6-84 (2009), e os resultados expressos em porcentagem;

g) teor de proteína bruta das vagens (TPBV): determinado conforme metodologia de Kjeldahl. Este método é baseado na decomposição das proteínas e outros compostos nitrogenados na presença de H₂SO₄ concentrado a quente. Os valores de nitrogênio total encontrados nas amostras foram multiplicados pelo fator de conversão em proteína bruta, equivalente a 6,25 (AOAC, 2012). Os resultados de TPBV foram expressos em porcentagem.

Após a constatação da normalidade e homogeneidade de variâncias dos dados, foram realizadas análises de variância individuais para cada época de semeadura e, depois de verificadas a magnitude dos quadrados médios residuais procedeu-se a análise conjunta dos experimentos. Para os fatores época de semeadura e espaçamento entre linhas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Para o fator densidade de plantas, as médias foram submetidas à análise de regressão ($p < 0,05$).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre as características relacionadas à produção de vagens, as variáveis RV e TPBV responderam à interação entre a época de semeadura, densidade de plantas e espaçamento entre linhas. O NVP respondeu de forma isolada às três fontes de variação avaliadas. Para a MMV, houve efeito isolado dos fatores época de semeadura e espaçamento entre linhas. As variáveis DPF, AP e TFBV responderam de modo significativo apenas à época de semeadura (Tabela 4.1).

Neste estudo, é possível observar que o RV foi alterado quando o feijão-vagem foi submetido a diferentes condições de crescimento. Na comparação entre épocas de semeadura, o uso de 177.000 plantas ha⁻¹ distribuídas tanto em linhas espaçadas 0,45 m, quanto 0,90 m, não alterou o RV. Nesta população, sugere-se que as plantas de feijão-vagem foram melhor distribuídas na linha de semeadura, e potencializaram o aproveitamento dos recursos de produção. Com o adensamento para 221.000 plantas ha⁻¹, o RV foi superior no

Tabela 4.1 - Valores de quadrado médio das características relacionadas ao desempenho agrônômico e à qualidade tecnológica de vagens de feijão-vagem de crescimento determinado em função da época de semeadura, densidade de plantas e espaçamento entre linhas. Londrina, 2019.

Fontes de variação	Características ¹						
	DPF	AP	NVP	MMV	RV	TPBV	TFBV
	Quadrado Médio						
Bloco (Época)	1,07	15,68	1,48	0,61	0,16	2,20	10,56
Época (EP)	1075,27**	937,67**	25,93**	1,56*	53,20**	32,73**	37,79**
Densidade de plantas (DP)	0,31 ^{ns}	37,12 ^{ns}	8,10*	0,18 ^{ns}	4,17*	9,11**	2,82 ^{ns}
Espaçamento (ESP)	0,60 ^{ns}	49,92 ^{ns}	24,86**	4,47**	60,28**	21,77**	0,58 ^{ns}
EP x DP	1,06 ^{ns}	14,63 ^{ns}	5,59 ^{ns}	0,66 ^{ns}	6,12**	9,34**	0,49 ^{ns}
EP x ESP	0,60 ^{ns}	38,23 ^{ns}	2,04 ^{ns}	0,32 ^{ns}	3,50 ^{ns}	39,44**	0,68 ^{ns}
DP x ESP	0,23 ^{ns}	17,60 ^{ns}	1,17 ^{ns}	0,26 ^{ns}	1,92 ^{ns}	9,41**	0,31 ^{ns}
EP x DP x ESP	0,48 ^{ns}	44,85 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,36 ^{ns}	5,12**	6,40*	1,64 ^{ns}
Resíduo	0,44	49,87	2,81	0,24	1,36	1,93	2,03
CV (%)	1,87	25,52	28,23	13,76	25,00	6,42	10,27

¹DPF: dias para florescimento; AP: altura de planta; NVP: número de vagens por planta; MMV: massa média de vagem; RV: rendimento de vagens; TPBV: teor de proteína bruta nas vagens; TFBV: teor de fibra bruta nas vagens.

*Significativo a 5%. **Significativo a 1%. Ns: não significativo.

Fonte: o próprio autor.

cultivo de outono-inverno, independente do espaçamento utilizado. A maior adaptação das plantas C_3 a ambientes com menos luz pode explicar o menor RV do feijão-vagem quando se utilizou a mesma densidade no verão-outono. Nas demais combinações entre densidades e espaçamentos, não foi possível observar um padrão de resposta quanto ao RV do feijão-vagem (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Desdobramento do fator densidade de plantas em função da época de semeadura e do espaçamento entre linhas, para a característica rendimento de vagens (RV) de feijão-vagem de crescimento determinado. Londrina, 2019.

Densidade de plantas (mil plantas ha ⁻¹)	RV (Mg ha ⁻¹)			
	Época de semeadura (EP)			
	Outono-inverno		Verão-outono	
	Espaçamento entre linhas (m)			
	0,45	0,90	0,45	0,90
133	5,51 AA	3,81 AA	2,76 AB	2,50 AA
177	6,41 AA	3,79 BA	6,49 AA	3,73 BA
221	8,90 AA	4,54 BA	3,56 AB	2,14 AB
265	5,40 AA	5,38 AA	5,66 AA	2,68 BB
309	8,05 AA	4,31 BA	3,97 AB	3,77 AA
Médias (EP)	5,61 A		3,73 B	
Médias (ESP (m))	0,45		0,90	
	5,67 A		3,67 B	

*Médias comparadas por mesma letra itálica maiúscula, na linha, não diferem para mesma densidade de plantas e para o mesmo espaçamento entre linhas na comparação entre épocas de semeadura, pelo teste de Tukey a 5%.

*Médias comparadas por mesma letra maiúscula, na linha, não diferem para a mesma densidade de plantas e para a mesma época de semeadura na comparação entre espaçamento entre linhas, pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: o próprio autor.

Comparando-se os espaçamentos dentro de cada época de semeadura (Tabela 4.2), observou-se redução do RV na medida em que a densidade de plantas foi aumentada, e quando foram utilizadas linhas espaçadas 0,90 m em relação ao espaçamento de 0,45 m, em cultivo de outono-inverno. Isto pode ser explicado pelo adensamento de plantas por área, ocasionando o sombreamento mútuo entre as plantas na linha, o que intensificou a competição entre elas por radiação e pelos demais recursos de produção. É possível que a radiação tenha sido um dos fatores determinantes para redução do RV, uma vez que a menor interceptação de radiação reduz a fotossíntese bruta das plantas. No cultivo de verão-outono, a variação do RV não seguiu a mesma tendência observada no outono-inverno.

Na comparação entre os espaçamentos, o RV foi superior com o uso de 0,45 m de espaçamento (5,67 Mg ha⁻¹) em relação ao de 0,90 m (3,67 Mg ha⁻¹). Comparando-se

apenas as épocas de semeadura, o RV foi superior quando o feijão-vagem foi cultivado no outono-inverno ($5,61 \text{ Mg ha}^{-1}$) (Tabela 4.2). Plantas C_3 possuem baixo ponto de compensação luminoso, ou seja, apresentam alta eficiência fotossintética em ambientes com menor quantidade de radiação disponível, e são capazes de modificar suas características fotossintéticas e morfológicas, além de apresentarem baixas taxas respiratórias e gastos de energia em ambientes com baixa irradiância (SALISBURY; ROSS, 1985), o que explica o maior o RV do feijão-vagem no outono-inverno.

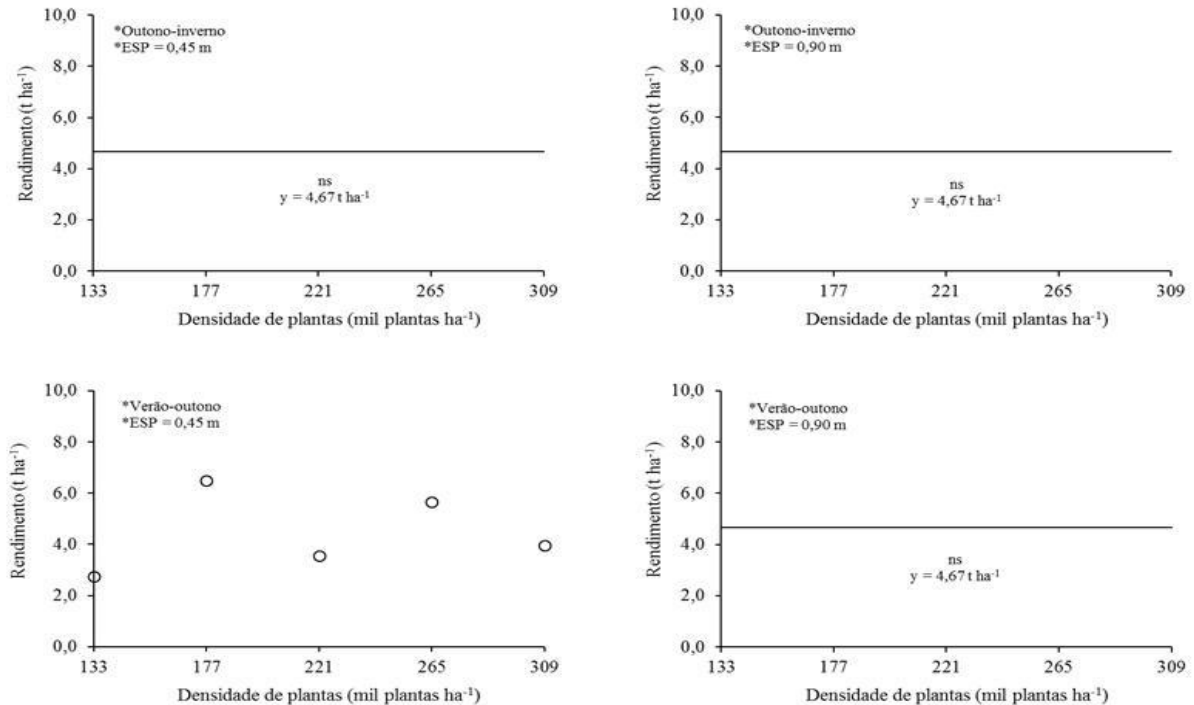
No outono-inverno, a radiação solar global observada foi menor ($11,68 \text{ MJ m}^{-2}$ contra $16,80 \text{ MJ m}^{-2}$ no verão-outono), e houve melhor distribuição da precipitação pluvial (43% até R_6 e 57% do R_6 à colheita) em relação ao verão-outono (79% até R_6 e 21% do R_6 à colheita). É importante ressaltar que, independente da época de semeadura, a quantidade e a distribuição da precipitação pluvial não foram fatores limitantes para o desempenho agrônômico do feijão-vagem, uma vez que a demanda hídrica mínima do *Phaseolus vulgaris* é estimada em 300 mm (DOURADO NETO; FANCELLI, 2000).

Houve resposta significativa do RV em função da densidade de plantas somente no verão-outono, quando foi utilizado 0,45 m de espaçamento entre linhas. Este resultado evidenciou que neste ambiente o adensamento associado às condições ambientais do verão-outono causou a variabilidade do RV do feijão-vagem. No entanto, não houve ajuste dos dados da característica aos modelos matemáticos testados (Figura 4.2).

As parcelas com linhas espaçadas 0,45 m continham seis linhas ao invés de três, que constituíram as parcelas com 0,90 m de espaçamento entre linhas. Deste modo, sugere-se que a resposta significativa do RV ao adensamento no cultivo de verão-outono, quando foi utilizado 0,45 m de espaçamento, pode ser atribuída ao maior espaço que as plantas tinham para crescer na linha de semeadura, e aproveitamento mais eficiente da água, radiação e nutrientes.

Abubaker (2008) estudou o efeito da densidade de plantas sobre o rendimento do feijão-vagem, em cultivo de inverno-primavera. Ele reportou ajuste quadrático do rendimento de vagens, quando foram utilizados os espaçamentos de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 cm entre plantas, distribuídas em linhas espaçadas 30 cm entre si em todas as populações testadas. Guimarães et al. (2017) estudaram o rendimento do feijão de metro (*Vigna unguiculata* var. *sesquipedalis*) em função de sistemas de tutoramento e espaçamento de plantio, em cultivo de inverno-primavera. Os autores reportaram ajustes linear e quadrático do rendimento de vagens em resposta as fontes de variação testadas.

Figura 4.2 - Desdobramento dos fatores época de semeadura e espaçamento entre linhas em função da densidade de plantas, para a característica rendimento de vagens (RV) de feijão-vagem de crescimento determinado. Londrina, 2019.



*ESP: espaçamento entre linhas

Fonte: o próprio autor.

Neste estudo, a ausência de resposta significativa do RV da cultura em função do efeito isolado, ou da interação entre as fontes de variação avaliadas, pode ser explicada pelo efeito de compensação entre os componentes de rendimento número e massa de vagens por planta, determinantes para o RV do feijão-vagem, que manteve estável a produção nestes ambientes. Este efeito de compensação, conhecido como plasticidade fenotípica, também foi reportado por Santos et al. (2014) para explicar a ausência de significância da produtividade de grãos do feijoeiro comum frente a mudanças na população de plantas e espaçamento entre linhas.

O TPBV também respondeu de forma significativa à interação entre a época de semeadura, espaçamento entre linhas e densidade de plantas. Na Tabela 4.3, nota-se que o acúmulo de proteína bruta nas vagens variou em função do arranjo de plantas adotado, evidenciando que a alteração no modo com que as plantas são distribuídas na área interfere nas suas relações de competição intraespecífica, e em consequência, em parâmetros relacionados ao desempenho agrônomo da cultura. No entanto, não foi possível constatar

uma tendência de acúmulo de proteína em resposta a significância da interação tripla entre as fontes de variação.

A utilização de 177.000 plantas ha^{-1} , associado ao espaçamento de 0,45 m entre linhas, proporcionou maior acúmulo de proteína no feijão-vagem cultivado no verão-outono. Em contrapartida, o uso de 221.000 plantas ha^{-1} , associado ao mesmo espaçamento, ocasionou maior acúmulo de proteína nas vagens no outono-inverno. Nas demais populações, o acúmulo de proteína não variou quando foi utilizado 0,45 m de espaçamento, independente da densidade e época avaliada. Já o cultivo do feijão-vagem no outono-inverno, utilizando-se 0,90 m de espaçamento entre linhas, favoreceu o acúmulo de proteínas em relação ao verão-outono, em três das cinco densidades avaliadas (133 265 e 309.000 plantas ha^{-1}). Nas demais populações submetidas a 0,90 m de espaçamento, não houve diferença significativa na comparação entre as épocas de semeadura (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 - Desdobramento do fator densidade de plantas em função da época de semeadura e do espaçamento entre linhas, para a característica teor de proteína bruta das vagens (TPBV) de feijão-vagem de crescimento determinado. Londrina, 2019.

Densidade de plantas (mil plantas ha^{-1})	TPBV (%)			
	Época de semeadura (EP)			
	Outono-inverno		Verão-outono	
	Espaçamento entre linhas (m)			
	0,45	0,90	0,45	0,90
133	18,09 BA	24,75 AA	20,28 AA	21,40 AB
177	17,90 BB	22,24 AA	21,58 AA	20,60 AA
221	24,93 AA	23,50 AA	21,55 AB	21,31 AA
265	22,10 BA	25,58 AA	21,12 AA	19,75 AB
309	21,82 AA	22,91 AA	21,04 AA	20,43 AB
Médias (EP)	22,38 A		20,91 B	

*Médias comparadas por mesma letra itálica maiúscula, na linha, não diferem para mesma densidade de plantas e para o mesmo espaçamento entre linhas na comparação entre épocas de semeadura, pelo teste de Tukey a 5%.

*Médias comparadas por mesma letra maiúscula, na linha, não diferem para a mesma densidade de plantas e para a mesma época de semeadura na comparação entre espaçamento entre linhas, pelo teste de Tukey a 5%.

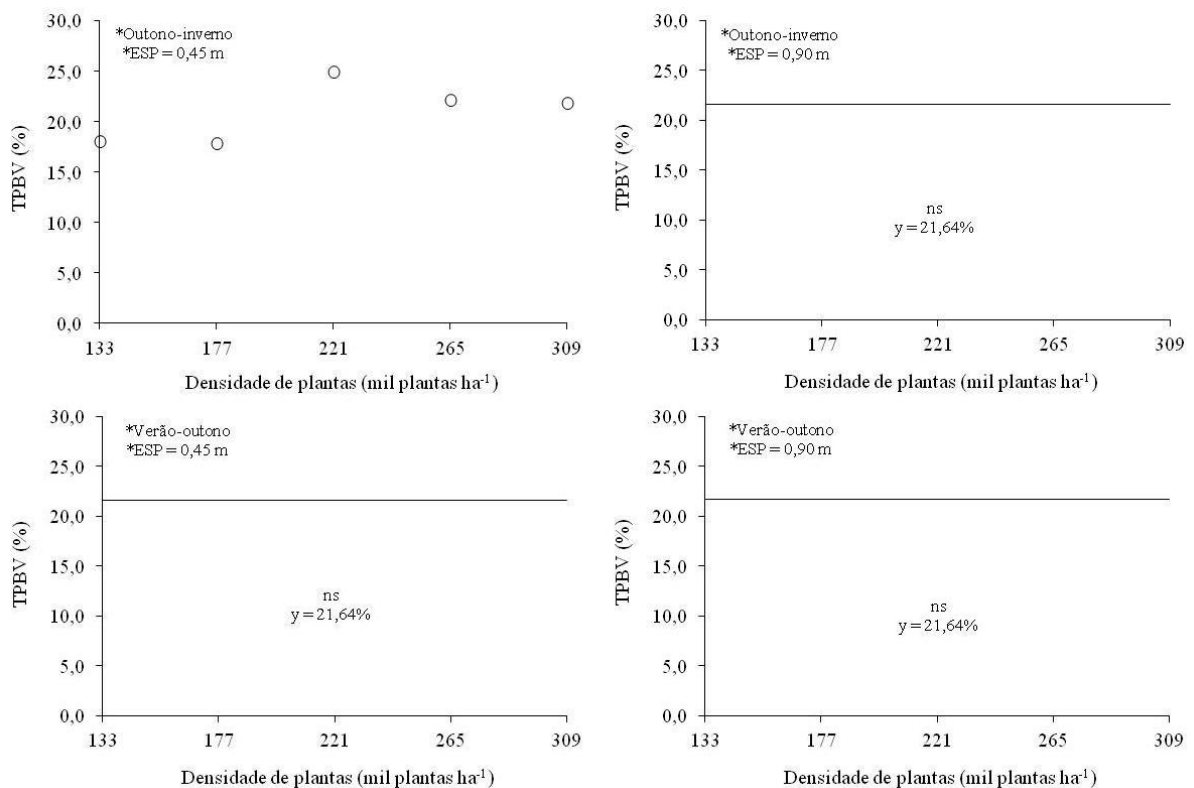
Fonte: o próprio autor.

Comparando-se a variação no espaçamento entre linhas dentro de cada época, o cultivo do feijão-vagem em linhas espaçadas 0,90 m no outono-inverno, com o uso de 133, 177 e 265.000 plantas ha^{-1} , favoreceu o desempenho da característica TPBV (Tabela 4.3). No verão-outono, não houve diferença no acúmulo de proteína nas vagens, independente da densidade e espaçamento utilizado. Comparando-se somente as épocas de semeadura, o

feijão-vagem cultivado em outono-inverno apresentou maior TBPV, independente do arranjo de plantas adotado (Tabela 4.3). Em geral, verificou-se que o cultivo de outono-inverno, associado ao uso de 0,90 m de espaçamento entre linhas, foi o ambiente que mais contribuiu para estabilidade no acúmulo de proteína bruta das vagens, seja na comparação entre épocas de semeadura de plantas submetidas ao mesmo espaçamento, ou na comparação entre os espaçamentos dentro do cultivo de outono-inverno, independente da densidade de plantas utilizada (Tabela 4.3).

Na Figura 4.3, é apresentado o desdobramento dos fatores época de semeadura e espaçamento entre linhas em função da densidade de plantas. O TBPV respondeu de modo significativo apenas no ambiente caracterizado pelo adensamento populacional em cultivo de outono-inverno, com uso de 0,45 m de espaçamento entre linhas. Nas demais condições de avaliação, o TBPV não foi alterado.

Figura 4.3 - Desdobramento dos fatores época de semeadura e espaçamento entre linhas em função da densidade de plantas, para a característica teor de proteína bruta das vagens (TPBV) de feijão-vagem de crescimento determinado. Londrina, 2019.



*ESP: espaçamento entre linhas.

Fonte: o próprio autor.

Em geral, foram constatadas vagens com maior teor de proteína bruta quando a cultura foi submetida à maior competição intraespecífica em cultivo de outono-inverno, principalmente com a utilização de 0,90 m de espaçamento entre linhas. É importante ressaltar que a densidade de plantas em linhas espaçadas 0,90 m foi duplicada em relação às linhas espaçadas 0,45 m, para que uma mesma população fosse avaliada, o que aumentou a competição intraespecífica entre as plantas na linha de semeadura, o que favoreceu a interceptação da menor radiação incidente da referida época, porém, à custa do maior sombreamento entre as plantas na linha. Nesta condição, supõe-se que, tanto a temperatura, quanto a quantidade de radiação que atingiu o interior do dossel foram menores, contribuindo para maior acúmulo de proteína bruta nas vagens. Segundo Lajolo et al. (1996), a variação no acúmulo de proteína das plantas depende do genótipo, local, época de cultivo e condições climáticas, principalmente temperatura e precipitação pluvial, ou seja, é função da interação entre o genótipo com as características do ambiente no qual ele cresce. Os maiores teores de proteína encontrados em vagens produzidas no espaçamento de 0,90 m também podem estar associados a um efeito de diluição, uma vez que o RV neste espaçamento foi menor, e assim, houve maior concentração proteica nos seus tecidos.

Especificamente sobre as épocas de semeadura, constatou-se menor temperatura média do ar ao longo do ciclo no outono-inverno, com possibilidade de ter sido ainda menor no interior do dossel da população de plantas, em função do sombreamento causado pelo adensamento populacional, seja pela distribuição das plantas de cada população em linhas espaçadas 0,90 m, ou pelo aumento da população de plantas por área.

No período que compreendeu o florescimento pleno (R_6) e a colheita de vagens, a média máxima de temperatura foi de 23,5 °C no outono-inverno, e de 28,6 °C no verão-outono. Sugere-se que em menor temperatura há menor degradação de proteínas, o que contribuiu para sua maior concentração nas vagens produzidas no outono-inverno. Albrecht et al. (2008) reportaram resultados semelhantes aos deste estudo, ao relatarem menores concentrações de proteína bruta em soja submetida a locais e épocas com temperaturas mais elevadas. Segundo Buratto et al. (2009), altas temperaturas causam distúrbios bioquímicos na fisiologia vegetal, interferindo de modo negativo na biossíntese de proteínas.

Ainda em comparação ao verão-outono, houve maior regularidade na distribuição das chuvas no outono-inverno. Segundo Meurer (2004), o N_2 fixado é majoritariamente convertido para nitrato (NO_3^-), que representa a principal forma de nitrogênio encontrada no solo, pois apresentam solubilidade elevada em condições de água disponível. Deste modo, é provável que a absorção de compostos nitrogenados do solo foi

favorecida em função da maior regularidade na disponibilidade de água para o sistema radicular do feijão-vagem, o que influenciou positivamente o acúmulo de proteína bruta das vagens. Pípolo (2002) e Rangel et al. (2004) afirmam que a concentração de proteínas pode variar em função da distribuição das chuvas, somado ao efeito da temperatura do ar.

Na comparação entre épocas de semeadura, as plantas cultivadas no outono-inverno apresentaram menor precocidade, porém, maior AP, NVP, MMV e TFBV em relação às plantas cultivadas no verão-outono (Tabela 4.4). No outono-inverno, também foram observadas correlações positivas fortes das características NVP e MMV com o RV, que também foi superior no outono-inverno. Estas correlações evidenciam a relevância da quantidade e da massa dos legumes para o rendimento do feijão-vagem.

O desempenho agrônômico superior do feijão-vagem no outono-inverno pode ser explicado pelo seu metabolismo fotossintético C₃ (FERREIRA et al., 2006), que confere a cultura alta eficiência fotossintética em ambientes com menor luminosidade, como ocorreu no outono-inverno. Na referida época, também houve maior regularidade na distribuição da precipitação pluvial entre as fases vegetativas e reprodutivas, bem como temperaturas mais amenas no período reprodutivo, o que possivelmente contribuiu para maior retenção floral e maior NVP, MMV e RV (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 - Dias para florescimento (DPF), altura de planta (AP), número de vagens por planta (NVP), massa média de vagem (MMV) e teor de fibra bruta nas vagens (TFBV) de feijão-vagem de crescimento determinado em função das épocas de semeadura. Londrina, 2019.

Época de semeadura	DPF	AP (cm)	NVP	MMV (g)	TFBV (%)
Outono-inverno	39,67 b	31,62 a	6,60 a	3,69 a	14,68 a
Verão-outono	31,20 a	23,72 b	5,28 b	3,37 b	13,09 b

*Médias comparadas por mesma letra minúscula, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: o próprio autor.

A menor temperatura média e luminosidade no outono-inverno também explicam, respectivamente, a necessidade de um período maior para o florescimento (DPF) do feijão-vagem, bem como o seu maior crescimento em altura (AP). Segundo Didonet e Silva (2004), a duração das fases fenológicas do *Phaseolus vulgaris* é fortemente influenciada pela temperatura do ar, pois depende da quantidade diária de graus-dia acumulada pelas plantas. Como a temperatura foi menor no outono-inverno, menor o acúmulo térmico diário, e mais lento foi o desenvolvimento fenológico da cultura. Quanto a AP, Taiz e Zeiger (2009)

afirmam que plantas que crescem em ambientes com menor radiação tendem a crescer longitudinalmente, na busca por adaptar a sua atividade fotossintética a esta condição.

Verificou-se também no outono-inverno que as vagens produzidas apresentaram maior teor de fibra bruta (14,68%) em relação ao verão-outono (13,09%). Oliveira et al. (2001) também analisaram o teor de fibra bruta em vagens secas de feijão-vagem, e relataram teores em torno de 20%. Os resultados disponíveis na literatura demonstram elevada variabilidade do teor de fibra bruta em vagens de feijão-vagem, que varia desde teores inferiores a 1% até aproximadamente 26% (MARIGUELE et al., 2008; VILELA et al., 2009; KRAUSE; RODRIGUES; LEAL, 2012).

Além da metodologia empregada, o momento de colheita afeta significativamente a quantidade de fibra bruta acumulada nas vagens do feijão-vagem (BRANDÃO, 2001). Na literatura, não há uma definição clara da quantidade ideal que deve estar presente na vagem. Sabe-se que menores teores fibra bruta aumentam a qualidade da vagem para consumo *in natura*, no entanto, é indesejada a redução acentuada dos teores de fibra, uma vez que a sua ação benéfica no organismo de quem a consome é reduzida (LONDERO; RIBEIRO; CARGNELUTTI FILHO, 2008).

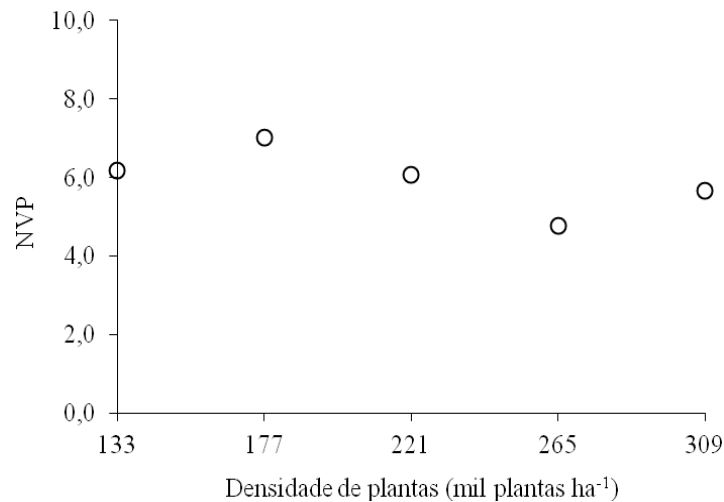
Neste estudo, as vagens foram colhidas aos 40 e 34 dias após a antese no outono-inverno e no verão-outono respectivamente. No outono-inverno, a menor temperatura média reduziu o acúmulo térmico diário das plantas, o que aumentou o período necessário para o desenvolvimento e colheita das vagens. Supõe-se que com maior ciclo, maior também o período para acúmulo e/ou remobilização de fotoassimilados para os drenos da planta, o que contribuiu para que elas acumulassem maior quantidade de carboidratos, inclusive dos que constituem a fibra bruta.

A variação na densidade de plantas por área também afetou de forma significativa o NVP (Figura 4.4), porém, não foi observado ajuste satisfatório dos dados a nenhum modelo matemático testado. Independente do ajuste é possível observar uma tendência de maior NVP na densidade de 177.000 plantas ha⁻¹, com posterior decréscimo até 265.000 plantas ha⁻¹. No entanto, nas condições de maior adensamento populacional (309.000 plantas ha⁻¹), na qual as relações de competição entre as plantas foram intensificadas, e na qual se esperava uma redução ainda mais drástica na produção de vagens por planta, verificou-se um acréscimo no NVP.

O número de vagens por planta é o primeiro componente de rendimento a ser definido na fase reprodutiva do *Phaseolus vulgaris*, e geralmente tem seu desempenho

reduzido pelo incremento populacional devido ao ambiente de competição (GUIMARÃES et al., 2019), como ocorreu neste estudo entre as densidades de 177 a 265.000 plantas ha^{-1} .

Figura 4.4 - Número de vagens por planta (NVP) de feijão-vagem de crescimento determinado em função da densidade de plantas. Londrina, 2019.



Fonte: o próprio autor.

Em contrapartida, na densidade de 309.000 plantas ha^{-1} sugere-se que o aumento na produção de vagens por planta, ainda que com menor tamanho e massa unitária, pode ser explicada por um estímulo à produção e retenção de estruturas reprodutivas, nas quais as plantas buscaram perpetuar a espécie em condições de possíveis estresses abióticos causados pela elevada competição entre as plantas. Segundo Gaspar et al. (2002), as plantas podem se aclimatar a ambientes estressantes por meio de ajustes morfológicos, anatômicos, fisiológicos e bioquímicos.

A alteração no espaçamento entre linhas também afetou o NVP, além da MMV (Tabela 4.5). Verificou-se desempenho superior das características com o uso de 0,45 m de espaçamento entre linhas, como também foi observado maior RV quando foi utilizado o mesmo espaçamento. Supõe-se que as plantas foram bem distribuídas na linha de semeadura com o uso de 0,45 m de espaçamento entre linhas, e aproveitaram os recursos de produção, o que beneficiou o NVP e a MMV. Babaeian, Javaheri e Asgharzade (2012) reportaram resultado semelhante ao deste estudo, ao constatarem maior número de vagens por planta em feijão comum, com o uso de 0,50 m de espaçamento entre linhas em comparação aos espaçamentos de 0,40 e 0,30 m entre linhas.

Tabela 4.5 - Número de vagens por planta (NVP) e massa média de vagem (MMV) de feijão-vagem de crescimento determinado em função do espaçamento entre linhas. Londrina, 2019.

Espaçamento entre linhas (m)	NVP	MMV (g)
0,45	6,58 a	3,80 a
0,90	5,30 b	3,26 b

*Médias comparadas por mesma letra minúscula, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Os autores atribuíram o fato a melhor arquitetura das plantas nesta condição, o que as permitiu melhor aproveitar os recursos de produção. Também de forma semelhante a este estudo, Teasdale e Frank (1983) avaliaram o feijão-vagem de crescimento determinado nos espaçamentos de 15, 25, 36, 41 e 91 cm entre linhas, e relataram 23% de aumento no rendimento de vagens na faixa de espaçamento entre 15 e 46 cm em relação ao espaçamento de 91 cm entre linhas. Ghadiri e Bayat (2004) também observaram redução do rendimento de grãos do feijão comum quando o espaçamento entre linhas foi aumentado de 0,45 para 0,75 m.

O obtentor recomenda que a cultivar Feltrin Macarrão Napoli seja cultivada manualmente em covas ou sulcos de semeadura, considerando que o feijão-vagem é utilizado como cultura principal ou de entressafra dentro dos sistemas de produção de hortaliças, que geralmente são conduzidos em áreas de menor extensão. No entanto, estes resultados demonstram que esta cultivar pode ser utilizada em sistemas de produção que exigem cultivares adaptadas parcialmente ou totalmente à mecanização, buscando-se aproveitar ou ajustar a regulagem do espaçamento entre as linhas de semeadura das mesmas semeadoras destinadas ao cultivo de grãos, tais como feijão comum, soja e milho, bem como otimizar o tempo despendido nas operações de semeadura e colheita. Segundo Bezerra et al. (2008), pesquisas que busquem melhorias técnicas e econômicas dos sistemas de produção são fundamentais, pois permite que culturas tradicionalmente cultivadas por pequenos produtores de menor nível tecnológico possam também ser utilizadas por produtores de maior porte, aumentando a sua expressão em área cultivada e rendimento.

4.6 CONCLUSÕES

O desempenho produtivo do feijão-vagem de crescimento determinado é influenciado pelo efeito isolado, e pela interação, dos fatores época de semeadura, densidade de plantas e espaçamento entre linhas.

O rendimento de vagens é superior com o uso de 221.000 plantas ha⁻¹ no outono-inverno, independente do espaçamento utilizado.

A densidade de 177.000 plantas ha⁻¹, associada ao espaçamento de 0,45 m entre linhas, proporciona maior acúmulo de proteína bruta nas vagens no verão-outono.

A densidade de 221.000 plantas ha⁻¹, associada ao espaçamento de 0,45 m entre linhas, proporciona maior acúmulo de proteína bruta das vagens no outono-inverno.

As densidades de 133, 177, 265 e 309.000 plantas ha⁻¹, associadas ao espaçamento de 0,90 m entre linhas, proporcionam maior acúmulo de proteína bruta das vagens no outono-inverno.

No outono-inverno, as plantas de feijão-vagem apresentam maior ciclo, altura, número de vagens, massa média de vagem, teor de proteína e fibra bruta nas vagens e rendimento de vagens.

A utilização do espaçamento de 0,45 m entre linhas aumenta o número de vagens por planta, a massa média de vagem e o rendimento de vagens.

5 ARTIGO C

ARRANJOS DE PLANTAS E ÉPOCAS DE SEMEADURA NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE FEIJÃO-VAGEM DE CRESCIMENTO DETERMINADO

5.1 RESUMO

A qualidade das sementes pode ser alterada quando as culturas são submetidas a diferentes épocas de semeadura e arranjos de plantas. Independente do tipo de crescimento são escassas as informações sobre os efeitos isolados, ou em interação, de mudanças na época de cultivo, e na distribuição das plantas por área, sobre a qualidade fisiológica das sementes de feijão-vagem. Objetivou-se com este estudo avaliar a qualidade fisiológica das sementes de feijão-vagem de crescimento determinado em função de diferentes arranjos de plantas e épocas de semeadura. Foram avaliadas sementes da cultivar Feltrin Macarrão Napoli[®], produzidas nas épocas de outono-inverno e verão-outono. Em ambas as épocas foram conduzidos experimentos independentes em esquema fatorial 2x5. Os fatores corresponderam a dois espaçamentos entre linhas (0,45 e 0,90 m) e cinco densidades de plantas (133, 177, 221, 265 e 309 mil plantas ha⁻¹). Após a colheita, avaliou-se a primeira contagem de germinação (PCG), germinação (GERM), massa seca de parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e total (MST), comprimento de parte aérea (CPA), raiz (CR) e total (CT), índice de velocidade de emergência (IVE), emergência de plântulas em campo (PEC) e condutividade elétrica (CE). Os dados atenderam a normalidade e homogeneidade de variâncias. Posteriormente, realizou-se a análise de componentes principais. Adicionalmente, para associação dos tratamentos na análise de componentes principais, foi realizado o agrupamento UPGMA, com base na matriz de distância euclidiana média padronizada. A qualidade fisiológica de sementes de feijão-vagem de crescimento determinado é favorecida no outono-inverno. As densidades de 133, 177 e 221 mil plantas ha⁻¹ distribuídas em linhas espaçadas 0,45 m favorecem as características CPA, CR, CT, MSR, IVE e PEC. As densidades de 265 e 309 mil plantas ha⁻¹ distribuídas em linhas espaçadas 0,45 m, e as densidades de 133, 177, 221 e 265 mil plantas ha⁻¹ distribuídas em linhas espaçadas 0,90 m favorecem a PCG, GERM, MSPA E MST.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L. Densidade de plantas. Estações de cultivo. Vigor. Germinação.

PLANTS ARRANGMENTS AND SOWING TIMES IN THE PHYSIOLOGICAL SEEDS QUALITY OF BUSHING SNAP BEAN

5.2 ABSTRACT

Seed quality may change when crops are subjected to different sowing times and plant arrangements. Regardless of the type of growth, there is little information on the isolated, or interacting effects, of changes in the sowing time, and on the distribution of plants per area, on the physiological quality of snap bean seeds. The objective of this study was to evaluate the physiological quality of the bushing snap bean in different plant arrangements and sowing seasons. Were evaluated seeds of the cultivar Feltrin Macarrão Napoli[®], produced in the fall-winter and summer-fall epochs. In both epochs were conducted independent experiments in a 2x5 factorial scheme. The factors corresponded to two row spacings (0.45 and 0.90 m) and five plant densities (133, 177, 221, 265 and 309 thousand plants ha⁻¹). After harvest, the first germination count (FGC), germination (GERM), shoot dry matter (DMS), root (DMR) and total (DMT), shoot length (LS), root (LR) and total (LT), emergency speed index (ESI), field seedling emergence (FSE) and electrical conductivity (EC). The data met the normality and homogeneity of variances. Posteriorly, the principal component analysis was performed. Additionally, to associate the treatments in the principal component analysis, the UPGMA grouping was performed, based on the standardized average euclidean distance matrix. The densities of 133, 177 and 221 thousand plants per ha distributed in 0.45 m spaced lines favor the characteristics CPA, CR, CT, MSR, IVE and PEC. The densities of 265 and 309 thousand plants per ha distributed in 0.45 m spaced lines, and densities of 133, 177, 221 and 265 thousand plants per ha distributed in 0.90 m spaced lines favor PCG, GERM, MSPA E MST.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L. Plant density. Growing seasons. Vigor. Germination.

5.3 INTRODUÇÃO

Na agricultura, a qualidade das sementes depende do fator genético, das condições ambientais e do manejo das plantas no campo (MAY et al., 2012). Deste modo, podem ser detectadas diferenças de qualidade fisiológica em sementes produzidas em épocas de semeadura distintas. No entanto, o efeito das condições ambientais pode ter intensidade variada em função das técnicas de manejo as quais as plantas são submetidas. Dentre tais técnicas, a definição do arranjo espacial de plantas na área de cultivo, em função da escolha do espaçamento entre linhas e da densidade de plantas, corresponde a uma prática cultural de baixo custo e fácil implantação pelos agricultores (OLIVEIRA et al., 1999).

Segundo Coimbra e Nakagawa (2006), as condições climáticas variam no decorrer do ano, o que justifica a avaliação das culturas em diferentes épocas de semeadura. Deste modo, podem ser identificadas diferenças na qualidade fisiológica das sementes oriundas de épocas distintas, considerando que elas se caracterizam, principalmente, por variações quanto à intensidade e distribuição da precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa do ar.

No campo, a escolha do espaçamento entre linhas e do número de plantas por área altera a densidade populacional nas fileiras, influenciando as relações de competição entre as plantas no sulco de semeadura (BEZERRA et al., 2009).

Em baixas populações, há maior concorrência com plantas daninhas e desuniformidade na maturação, com redução da qualidade fisiológica da semente de feijão. Já em altas populações, há formação de microclima favorável para o estabelecimento de doenças, bem como há maior dificuldade para aplicação dos tratamentos culturais, o que em ambos os casos pode reduzir a formação de sementes de qualidade. O tipo de crescimento também deve ser considerado na adoção do arranjo espacial de plantas. Plantas de crescimento determinado são menos influenciadas pelo adensamento populacional, em função do porte ereto que apresentam, o que representa um benefício ou a manutenção da qualidade fisiológica das sementes frente a diferentes condições de cultivo (VIEIRA; YOKOHAMA, 2000).

Além dos efeitos isolados, podem ser observados efeitos de interação entre épocas de semeadura e arranjos de plantas relativos à qualidade das sementes. Como as olerícolas são altamente sensíveis às condições adversas do ambiente produtivo, o uso de um adequado arranjo espacial de plantas em épocas de cultivo favoráveis contribui para a formação de sementes de qualidade fisiológica superior.

Para o feijão-vagem, independente do tipo de crescimento, são escassas as informações sobre os efeitos isolados, ou em interação, das épocas de cultivo e dos arranjos espaciais de plantas. A investigação acerca do tema é justificada, considerando que a utilização de sementes de melhor qualidade fisiológica favorece a uniformidade de emergência das plântulas e o estabelecimento do estande. Assim, objetivou-se com este estudo avaliar a qualidade fisiológica de sementes de feijão-vagem de crescimento determinado em função de diferentes arranjos de plantas e épocas de semeadura.

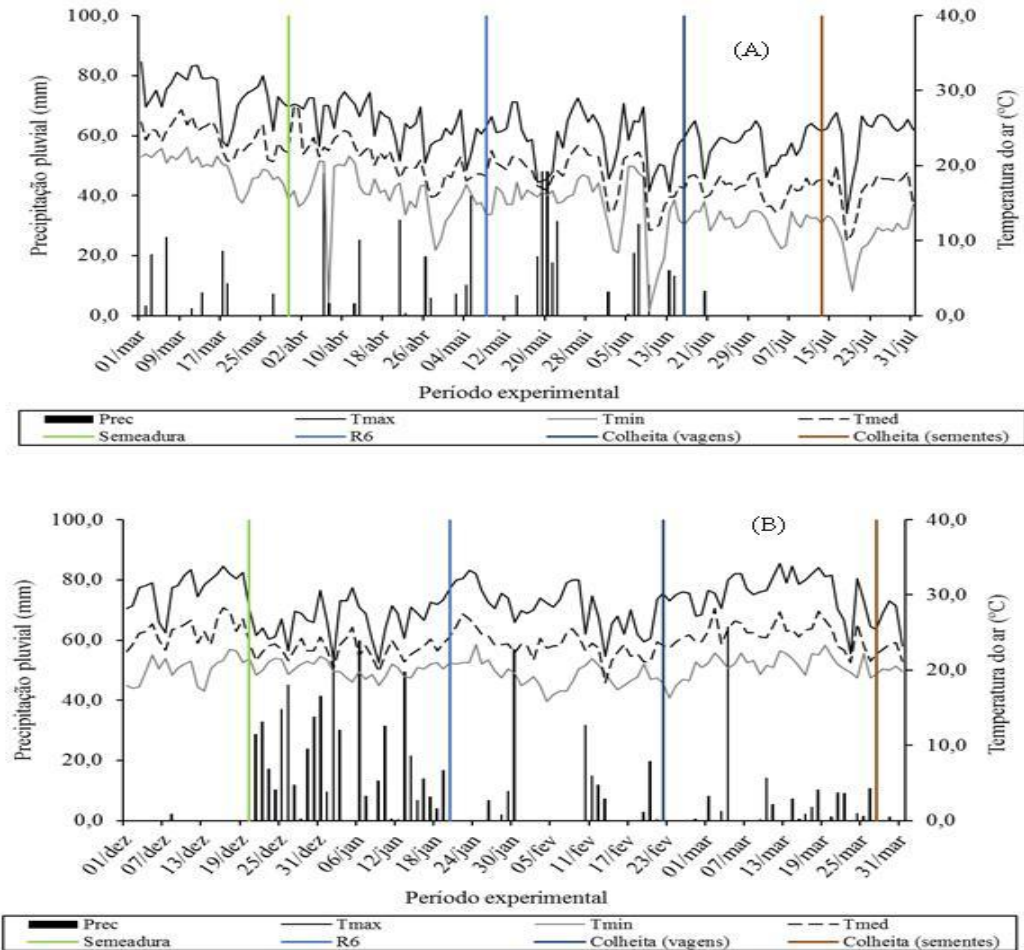
5.4 MATERIAL E MÉTODOS

No laboratório de análise de sementes do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina (UEL), no Estado do Paraná, foram conduzidos dois estudos. O primeiro ocorreu nos meses de fevereiro e março de 2018 (experimento I) e o segundo, entre os meses de junho e julho de 2018 (experimento II). Foram avaliadas sementes de feijão-vagem da cultivar Feltrin Macarrão Napoli[®], produzidas nas épocas de outono-inverno (semeadura em 30/03/2017 e colheita em 13/07/2017 – experimento I) e verão-outono (semeadura em 20/12/2017 e colheita em 27/03/2018 – experimento II), em Latossolo Vermelho eutroférico (SANTOS et al., 2018) situado nas coordenadas geográficas 23° 23' S, 51° 11' W e altitude de 570 m. O clima da região é do tipo Cfa, caracterizado por apresentar verões quentes, geadas pouco frequentes e concentração de chuvas nos meses de verão (CAVIGLIONE et al., 2000).

No outono-inverno, a temperatura média foi de 19,7 °C, com precipitação pluvial de 476,4 mm. Em relação ao total da precipitação, cerca de 60% ocorreu entre a antese e a colheita das vagens imaturas. Após a colheita das vagens, não foram observadas precipitações pluviais até a colheita das sementes. No verão-outono, a temperatura média foi de 23,9 °C, com precipitação pluvial de 1.003,88 mm. Nesta época de cultivo, aproximadamente 40% da precipitação ocorreu após a antese, com distribuição regular ao longo dos estádios reprodutivos da cultura (Figura 5.1). Os dados meteorológicos foram obtidos junto a Estação Meteorológica do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR).

Em cada época foi conduzido um experimento em esquema fatorial 2x5, correspondente a combinação de dois espaçamentos entre linhas (0,45 e 0,90 m) e cinco densidades de plantas (133.000, 177.000, 221.000, 265.000 e 309.000 plantas ha⁻¹), totalizando-se 10 arranjos de plantas (tratamentos). Realizaram-se os tratamentos culturais sempre que foi necessário ao longo do ciclo da cultura (PEIXOTO; CARDOSO, 2016).

Figura 5.1 - Precipitação pluvial, e temperaturas média, máxima e mínima dos experimentos conduzidos no outono-inverno (A) e no verão-outono (B), no período compreendido entre semeadura e colheita das sementes. Londrina, 2019.



Fonte: Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR).

No estágio R₉ (maturação) foi realizada a colheita das vagens secas. Em seguida, procedeu-se a debulha das vagens e remoção de impurezas das amostras para obtenção das sementes. Posteriormente, as amostras de sementes de cada tratamento foram acondicionadas em sacos de papel, e armazenadas em câmara fria até o momento da determinação da sua qualidade fisiológica, mensurada pelas seguintes avaliações:

a) Primeira contagem de germinação (PCG): determinada pela porcentagem das plântulas normais aos cinco dias após o início do teste de germinação.

b) Germinação (GERM): foi utilizada uma subamostra de 50 sementes por repetição, totalizando 200 sementes avaliadas por tratamento. As sementes foram dispostas em rolos de papel germitest, umedecidos na proporção de 2,5 vezes a sua massa seca. Posteriormente, os rolos foram colocados em germinador a 25 °C de temperatura. As

avaliações foram realizadas aos cinco e nove dias após a instalação do teste, conforme as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), computando-se as plântulas normais.

c) Massa seca de parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e total (MST) das plântulas: as plântulas normais selecionadas no teste de comprimento de plântulas, de cada repetição, foram seccionadas e as suas partes separadas e acondicionadas em sacos de papel. Em seguida, os sacos foram levados para estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, até obtenção de massa constante (NAKAGAWA, 1999). Após a secagem, as amostras foram colocadas em dessecador e, em seguida, determinou-se a massa das amostras em balança analítica com precisão de 0,001 gramas, e os resultados expressos em gramas.

d) Comprimento de parte aérea (CPA), raiz (CR) e total (CT) das plântulas: foi utilizada uma subamostra de 20 sementes por repetição, totalizando 80 sementes avaliadas por tratamento. As sementes foram dispostas no terço superior dos rolos de papel germitest, umedecidos 2,5 vezes a sua massa seca. Em seguida, os rolos foram colocados em germinador à temperatura de 25 °C. Após cinco dias, foram selecionadas 10 plântulas normais de cada repetição para as mensurações de comprimento (NAKAGAWA, 1999). Os resultados foram expressos em centímetros.

e) Índice de velocidade de emergência (IVE): conduzido junto com o teste de emergência de plântulas em campo. Até o 14º dia anotou-se diariamente o número de plântulas que apresentaram os cotilédones acima da superfície do solo. Ao final do teste calculou-se o IVE, utilizando-se a fórmula proposta por Maguire (1962):

$$IVE = (G1/N1) + (G2/N2) + (G3/N3) + \dots + (Gn/Nn),$$

onde G representa o número de plântulas emergidas em cada contagem, e o N, o número de dias transcorridos entre a sementeira e a data em que foi realizada cada contagem. O IVE é expresso em dias.

f) Emergência de plântulas em campo (PEC): foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes por tratamento, semeadas em sulcos com dois metros de comprimento e cerca de um centímetro de profundidade. Aos 14 dias após a sementeira, computou-se o número de plântulas emergidas (cotilédones acima da superfície do solo), e os resultados foram expressos em porcentagem. Adaptado de Zucareli et al. (2015).

g) Condutividade elétrica (CE): determinada pelo método de condutividade de massa com uma subamostra de 50 sementes por repetição, totalizando 200 sementes por tratamento. Inicialmente, foi determinada a massa de cada subamostra de sementes em balança analítica com precisão de 0,01 g. Em seguida, as sementes foram colocadas em copos plásticos com 75 ml de água deionizada, posteriormente levados para

germinador a 25 °C, por 24 horas (KRZYZANOWSKI et al., 1999). Após este período, mediu-se a condutividade elétrica da solução de embebição das sementes, com uso do condutivímetro portátil HANNA HI 96304[®]. Os resultados foram expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ de sementes.

Os dados atenderam a normalidade (Shapiro-Wilk, $p < 0,05$) e a homogeneidade de variâncias (teste de Hartley). Em seguida, realizou-se a análise de componentes principais (ACP), utilizando-se o pacote FactoMineR (HUSSON et al., 2019) do software R. A associação dos tratamentos na ACP foi realizada pelo agrupamento UPGMA (*Unweighted Pair Group Method Using Arithmetic Averages*), com base na matriz de distância euclidiana média padronizada.

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica estatística multivariada associada à redução da massa de dados, porém, com menor perda possível das informações geradas. De forma mais simples, a técnica consiste em transformar o conjunto original de dados em um conjunto de variáveis de mesma dimensão, denominadas de componentes principais (HONGYU, 2015).

Os respectivos autovalores (λ) e suas porcentagens de explicação das variâncias dos dados na ACP seguem na Tabela 5.1. Os autovalores variaram de 8,36 (CP 1) a 0,00 (CP 11), na qual 100% da explicação dos dados foi obtida com a inclusão de nove componentes. Contudo, segundo Hongyu, Sandanielo e Oliveira Júnior (2015), devem ser utilizados poucos componentes para a explicação dos dados, de modo que seja mantida a praticidade da análise. Deste modo, os autores recomendam dois critérios para a seleção dos componentes principais. O primeiro refere-se ao somatório das porcentagens de explicações das variâncias dos dados, que devem ser superiores a 80%, e o segundo, trata-se da utilização de componentes com autovalores maiores que 1.

Conforme observado na Tabela 5.1, e com o auxílio do *Screeplot* (Figura 5.2), os componentes principais 1 e 2, com porcentagem acumulada de 87,62% (CP 1 = 75,95% e CP 2 = 11,67%) e com autovalores superiores a 1 ($\lambda_1 = 8,36$ e $\lambda_2 = 1,28$), foram suficientes para explicação da variância dos dados, e atenderam aos critérios de seleção de componentes principais de Hongyu, Sandanielo e Oliveira Júnior (2015).

Objetivando entender a participação de cada variável na construção dos componentes principais 1 e 2, calculou-se a correlação entre as variáveis originais e os

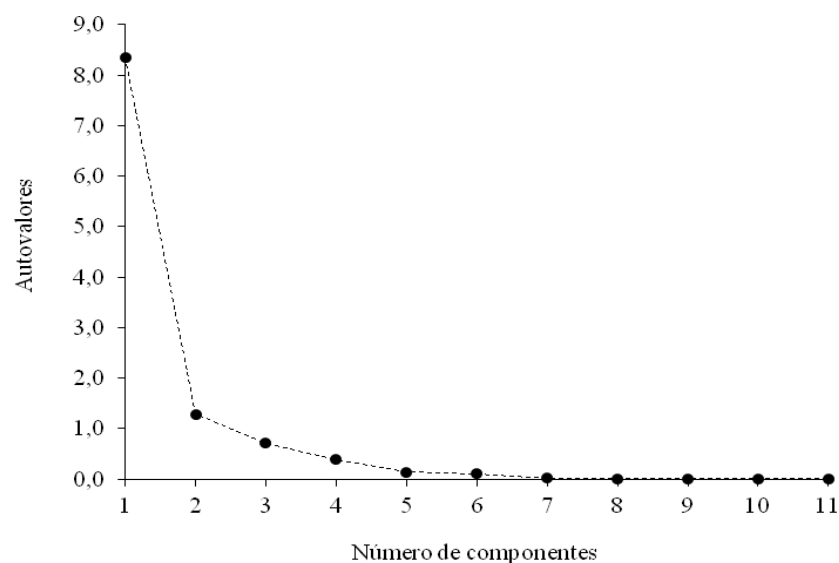
componentes principais, que segue apresentada na Tabela 5.2. Verificou-se que todas as características analisadas, com exceção da condutividade elétrica (CE), apresentaram altas correlações ($r > 0,80$) com o CP 1. A maior correlação foi verificada com a característica comprimento total de plântulas (CT, $r = 0,99$) e a menor, com a característica condutividade elétrica (CE, $r = 0,12$).

Tabela 5.1 - Componentes principais (CPs), autovalores (λ_i) e porcentagens das variâncias explicadas e acumuladas (%) pelos componentes principais. Londrina, 2019.

Componente Principal	Autovalores	Proporção (%)	Acumulado (%)
CP 1	8,36	75,95	75,95
CP 2	1,28	11,67	87,62
CP 3	0,71	6,49	94,11
CP 4	0,39	3,43	97,54
CP 5	0,14	1,28	98,82
CP 6	0,10	0,89	99,71
CP 7	0,02	0,15	99,86
CP 8	0,01	0,08	99,94
CP 9	0,01	0,06	100,00
CP 10	0,00	0,00	100,00
CP 11	0,00	0,00	100,00

Fonte: o próprio autor.

Figura 5.2 - *Screeplot* dos autovalores dos componentes principais. Londrina, 2019.



Fonte: o próprio autor.

Entretanto, a única característica que apresentou correlação superior a 0,80 para a construção do CP 2, foi a CE ($r = 0,92$). Esses resultados indicam que o CP 1 apresentou maior relevância na discriminação das variáveis respostas, e conseqüentemente dos tratamentos.

Tabela 5.2 - Coeficientes de correlação entre as características primeira contagem de germinação (PCG), germinação (GERM), massa seca de parte aérea, raiz e total (MSPA, MSR e MST), comprimento de parte aérea, raiz e total (CPA, CR e CT), índice de velocidade de emergência (IVE), emergência de plântulas em campo (PEC) e condutividade elétrica (CE) com os componentes principais 1 e 2. Londrina, 2019.

Correlação	CP 1	CP 2
PCG	0,80	0,42
GERM	0,94	0,14
MSPA	0,81	0,16
MSR	0,93	-0,12
MST	0,89	0,11
CPA	0,97	-0,02
CR	0,98	-0,09
CT	0,99	-0,06
IVE	0,91	-0,28
PEC	0,91	-0,30
CE	0,12	0,92

Fonte: o próprio autor.

O *biplot* com a interação entre os componentes principais 1 e 2 seguem apresentados nas figuras 5.3 e 5.4. A associação dos vetores para as variáveis permite o estudo das suas relações, na qual ângulos próximos a 0° entre dois vetores indicam associação positiva, ângulos próximos a 90° indicam ausência de associação, e ângulos próximos a 180° indicam associação negativa.

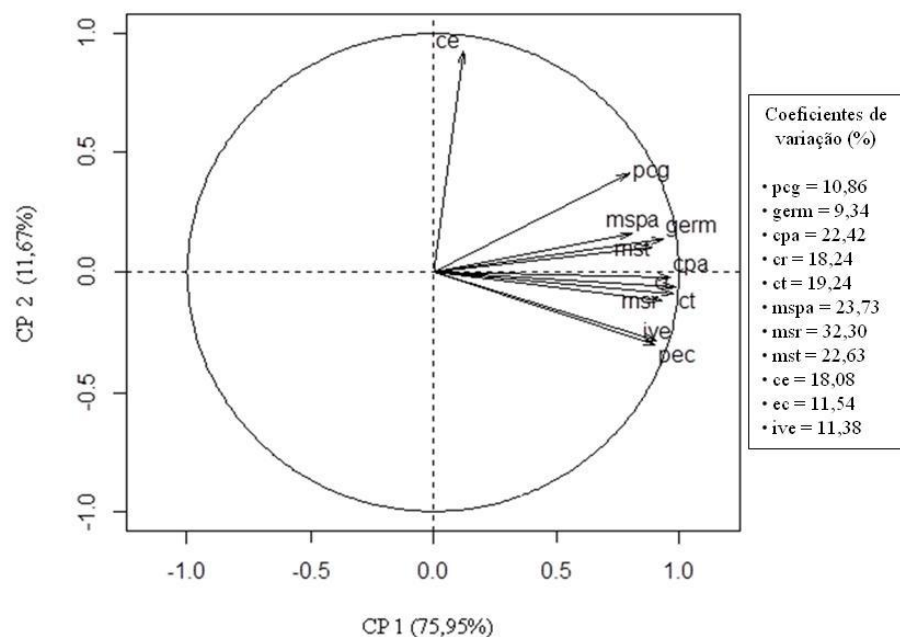
Com exceção da CE, observou-se associação positiva entre as características relacionadas à qualidade fisiológica de sementes. A GERM apresentou alta associação com as variáveis MSPA e MST. Associações de alta magnitude também foram observadas entre as características CPA, CR, CT e MSR; e entre as características IVE e PEC (Figura 5.3).

A distribuição dos tratamentos em função da sua interação com os componentes 1 e 2 está representada na Figura 5.4. Nota-se que todos os tratamentos conduzidos na primeira época de semeadura (outono-inverno) obtiveram valores positivos para o CP 1, ao contrário dos conduzidos na segunda época (verão-outono). Estes resultados

foram corroborados pelo agrupamento UPGMA, em que se observa uma nítida separação entre as épocas de semeadura (vermelho: outono-inverno e preto: primavera-verão). O *biplot*, associado ao agrupamento UPGMA, evidenciou superioridade na qualidade fisiológica quando as sementes de feijão-vagem foram colhidas no outono-inverno.

No outono-inverno, a menor temperatura máxima média do ar (23,3 °C), associada a baixa quantidade de precipitação pluvial após a colheita das vagens imaturas (Figura 5.1), influenciaram a qualidade fisiológica das sementes. Em condições de menor temperatura, a formação e o desenvolvimento das sementes de feijão-vagem foram favorecidos, beneficiando a sua qualidade fisiológica. Em contrapartida, a temperatura máxima média do ar na primavera-verão foi de aproximadamente 30 °C. Segundo Massignam et al. (1998), temperaturas a partir de 30 °C reduzem o desempenho geral do feijoeiro. De acordo com Vieira, Paula Júnior e Borém (2006), altas temperaturas podem interferir negativamente na qualidade fisiológica das sementes do feijoeiro, pois reduzem a sua massa. Sementes mais leves, ou seja, com menor quantidade de reservas, podem apresentar desempenho a campo inferior em comparação com sementes mais pesadas.

Figura 5.3 - *Biplot* da interação entre os componentes principais 1 (CP 1) e 2 (CP 2) com as características primeira contagem de germinação (PCG), germinação (GERM), massa seca de parte aérea, raiz e total (MSPA, MSR e MST), comprimento de parte aérea, raiz e total (CPA, CR e CT), índice de velocidade de emergência (IVE), emergência de plântulas em campo (PEC) e condutividade elétrica (CE). Londrina, 2019.



No outono-inverno, as plantas também apresentaram maior ciclo (106 dias, dos quais 39,67 dias foram necessários para o florescimento das plantas), e conseqüentemente passaram maior tempo no campo fotossintetizando e absorvendo água e nutrientes. Nesta condição, as sementes no outono-inverno receberam maior quantidade de fotoassimilados que as produzidas na primavera-verão, o que também pode estar relacionado a melhorias na qualidade fisiológica das sementes de feijão-vagem na referida época.

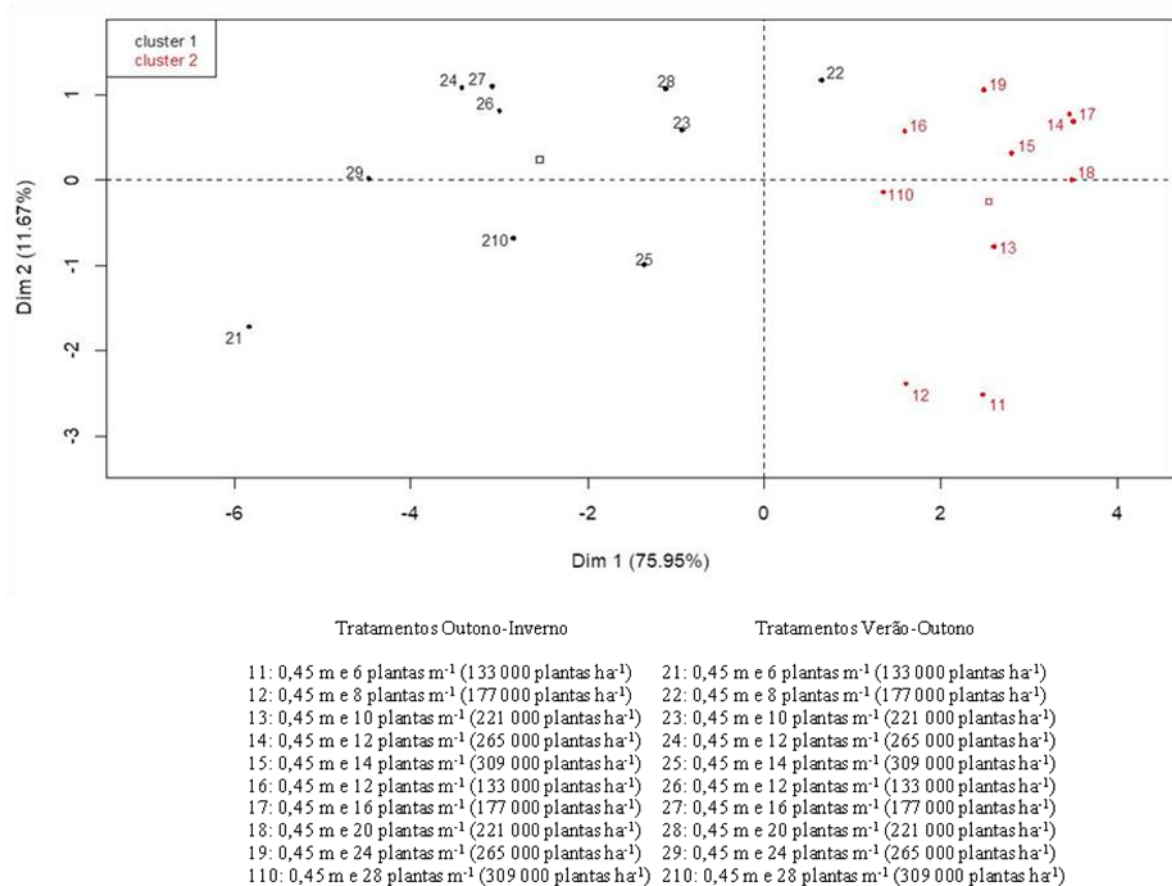
No outono-inverno, observou-se 279,40 mm de precipitação pluvial entre R₆ até a colheita das vagens imaturas, e ausência de precipitação deste período até a colheita das sementes (Figura 5.1), o que favoreceu a sanidade das plantas e vagens, e também contribuiu para a melhor qualidade fisiológica das sementes no outono-inverno. Zucareli et al. (2016) também verificaram benefícios à germinação e ao vigor das sementes de feijão produzidas no outono-inverno em comparação ao cultivo de inverno-primavera, e atribuíram o resultado a menor precipitação pluvial que ocorreu no outono-inverno.

Na primavera-verão, observou-se distribuição regular dos 389,30 mm de precipitação pluvial ao longo de todos os estádios reprodutivos da cultura. Segundo Vieira et al. (2006), altas temperaturas associadas a alta umidade aumentam a incidência de doenças, que impactam negativamente na sanidade das plantas e vagens e, em consequência, reduzem a qualidade fisiológica das sementes. No campo, não houve necessidade do controle de pragas e doenças no cultivo do outono-inverno. Já na primavera-verão, foram necessárias três aplicações de inseticidas para controle da mosca branca (*Bemisia tabaci* Genn.), uma aplicação de inseticida para controle do percevejo-marrom (*Euchistus heros* Fabr.), além da necessidade de uma aplicação para o controle da mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola* Sacc.).

No outono-inverno, também foi constatado que mudanças no arranjo de plantas alteraram as respostas das características de qualidade fisiológica avaliadas. As variáveis CPA, CR, CT, MSR, IVE e PEC foram influenciadas pelos tratamentos com 133, 177 e 221 mil plantas ha⁻¹ associadas com o espaçamento de 0,45 m entre linhas, e pela densidade de 309 mil plantas ha⁻¹ associada ao espaçamento de 0,90 m entre linhas. Na mesma época de semeadura, os tratamentos com 265 e 309 mil plantas ha⁻¹ associadas com o espaçamento de 0,45 m entre linhas, e os tratamentos com 133, 177, 221 e 265 mil plantas ha⁻¹ associadas com o espaçamento de 0,90 m entre linhas estiveram mais relacionados ao desempenho das características PCG, MSPA, MST e GERM (Figuras 5.3 e 5.4). Não houve direcionamento dos autovetores das características avaliadas para a época de primavera-verão,

evidenciando que esta época é pouco favorável à qualidade fisiológica das sementes de feijão-vagem (Figura 5.3).

Figura 5.4 - Biplot da interação entre os componentes principais 1 (CP 1) e 2 (CP 2) em função dos arranjos de plantas e épocas de semeadura. Londrina, 2019.



Fonte: o próprio autor.

Nas menores populações avaliadas, resultantes da combinação do espaçamento de 0,45 m entre linhas com as densidades de 133, 177 e 221 mil plantas ha⁻¹, houve menor interceptação da radiação solar, e conseqüentemente menor taxa fotossintética e produção e translocação de fotoassimilados. Sementes que receberam menor quantidade de assimilados tendem a apresentar menor tamanho e massa. Nesta condição, sugere-se que sementes menores absorvem água de forma mais rápida, pois apresentam maior área de contato com a água (LeDEUNFF, 1989), e tendem a emergir mais rapidamente, uma vez que necessitam antecipar o início da fotossíntese em decorrência do menor tempo de utilização das reservas dos cotilédones. Esta hipótese explica a alta associação entre as variáveis CPA, CR, CT, MSR, IVE e PEC com os tratamentos que combinaram as densidades de 133, 177 e

221 mil plantas ha^{-1} com o espaçamento de 0,45 m entre linhas (Figuras 5.3 e 5.4), considerando que sementes menores necessitam investir energia na alongação do hipocótilo e da radícula, para que a plântula se estabeleça e consiga emergir de forma antecipada.

Constatou-se alta associação entre os tratamentos em que houve adensamento populacional (tratamentos com 265 e 309 mil plantas ha^{-1} associadas ao espaçamento de 0,45 m entre linhas; e tratamentos com 133, 177, 221 e 265 mil plantas ha^{-1} associados ao espaçamento de 0,90 m entre linhas) com a PCG, GERM, MSPA e MST. Cabe ressaltar que todos os arranjos de plantas avaliados no espaçamento de 0,90 m entre linhas correspondem a populações adensadas, uma vez que as populações avaliadas foram iguais em ambos os espaçamentos. Como as parcelas com linhas espaçadas 0,90 m apresentavam metade do número de linhas das parcelas espaçadas 0,45 m, para que a mesma população em ambos os espaçamentos, dobrou-se o número de plantas por metro nas parcelas com linhas espaçadas 0,90 m.

Sugere-se que as maiores quantidades de plantas por linha interceptaram maior quantidade de radiação solar, o que resultou em aumento da atividade fotossintética, e conseqüentemente da produção e translocação de assimilados para as sementes. Deste modo, as sementes produzidas nestas condições apresentaram melhor desempenho, como maior massa, o que resultou em benefícios ao vigor (melhorias na expressão da PCG e no acúmulo de MSPA e MST) e germinação. Segundo Carvalho e Nakagawa (2000), as sementes atingem seu máximo vigor quando também atingem a sua máxima massa seca, o que corrobora com os resultados deste estudo. A massa média de sementes produzidas por planta foi menor no espaçamento 0,90 m entre linhas (3,57 g) em relação ao de 0,45 m (4,39 g), indicando que as plantas de feijão-vagem podem ter priorizado a nutrição das vagens já existentes em detrimento a formação de novas estruturas reprodutivas, em função da maior competição intraespecífica, resultando em sementes com maior massa, e com melhor desempenho germinativo. Este ajuste no suprimento e demanda de fotoassimilados em feijão foi descrito por Binnie e Clifford (1999).

Crusciol et al. (2002) avaliaram a cultura da soja nas densidades de 300, 400 e 500.000 plantas ha^{-1} , também em cultivo de outono-inverno, e relataram aumento na porcentagem de germinação e no índice de velocidade na maior densidade populacional avaliada. Nunes et al. (2017) observaram resultados semelhantes aos deste estudo, quando verificaram que o adensamento populacional apresentou alta relação com as características de qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi, e observaram que o aumento no número de plantas por área favoreceu, em diferentes níveis populacionais, o desempenho das

características massa de mil sementes, germinação, porcentagem de emergência de plântulas em campo e índice de velocidade de emergência.

5.6 CONCLUSÕES

A qualidade fisiológica de sementes de feijão-vagem é favorecida no outono-inverno.

As densidades de 133, 177 e 221 mil plantas ha⁻¹ distribuídas em linhas espaçadas 0,45 m favorecem as características CPA, CR, CT, MSR, IVE e PEC.

As densidades de 265 e 309 mil plantas ha⁻¹ distribuídas em linhas espaçadas 0,45 m, e as densidades de 133, 177, 221 e 265 mil plantas ha⁻¹ distribuídas em linhas espaçadas 0,90 m favorecem a PCG, GERM, MSPA E MST.

6 CONCLUSÕES GERAIS

O obtentor recomenda que a cultivar Feltrin Macarrão Napoli[®] seja cultivada com o espaçamento de 0,80 m entre linhas. No entanto, este estudo mostra que as plantas quando distribuídas em linhas espaçadas 0,45 m são mais produtivas em comparação ao espaçamento de 0,90 m, semelhante ao que o obtentor recomenda. A utilização do espaçamento de 0,45 m entre linhas também permite que a referida cultivar seja utilizada em sistemas de produção que exigem cultivares adaptadas parcialmente ou totalmente à mecanização, buscando-se aproveitar ou ajustar a regulagem do espaçamento entre as linhas de semeadura das mesmas semeadoras destinadas ao cultivo de grãos, tais como feijão comum, soja e milho, bem como permite otimizar o tempo despendido nas operações de semeadura e colheita.

Este estudo também evidencia que o rendimento e a qualidade de vagens, bem como a qualidade de sementes são favorecidos quando o cultivo do feijão-vagem de crescimento determinado ocorre no outono-inverno, em Londrina-PR. No entanto, deve-se considerar que diferentes locais e regiões apresentam características particulares que devem ser analisadas, para que possa recomendar com o cultivo do feijão-vagem no outono-inverno.

Em geral, este estudo recomenda que a cultivar de feijão-vagem de crescimento determinado seja cultivada com 221.000 plantas ha⁻¹, distribuídas em linhas espaçadas 0,45 m entre linhas, em cultivo de outono-inverno. Nesta condição, o rendimento e qualidade de vagens, bem como a qualidade fisiológica das sementes são favorecidos.

REFERÊNCIAS

ABUBAKER, S. Effect of plant density on flowering date, yield and quality attribute of bush beans (*Phaseolus vulgaris* L.) under center pivot irrigation system. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, Emirados Árabes Unidos, v. 3, n. 4, p. 666-668, 2008.

ABUL-SOUD, M. A.; MOHAMMED, M. H.; MAHARIK, Z. Y.; HAWASH, A. M. H.; EMAM, M. S. A. The effect of plant density and vermicompost rate on snap bean yield in substrate culture. **Middle East Journal of Agriculture Research**, Egito, v. 7, n. 4, p. 1675-1687, 2018.

AGUIAR, A. C. M. de. **Interferência e nível de dano econômico de milho voluntário em feijão**. 2018. 111 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. Aspectos conjunturais da produção de feijão. In: AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. **Produção do feijoeiro comum em várzeas tropicais**. 1. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 272-287.

ALBRECHT, L. P.; BRACCINI, A. de. L. e.; ÁVILA, M. R.; SUZUKI, L. S.; SCAPIM, C. A.; BARBOSA, M. C. Teores de óleo, proteínas e produtividade de soja em função da antecipação da semeadura na região Oeste do Paraná. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 865-873, 2008.

ALIU, S.; RUSINOVIC, I.; GASHI, B.; KAUL, H. P.; ROZMAN, L.; FETAHU, S. Genetic diversity for mineral content and photosynthetic pigments in local bean (*Phaseolus vulgaris* L.) populations. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, Helsinki, v. 12, n. 2, p. 635-639, 2014.

ALLIG, T. D. Growth, seed yield and quality of pole snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by planting date and population density. **Open Science Repository Agriculture**, Online (open-access), 23050421, 2013.

AL-SUHAIBANI, N.; EL-HENDAWY, S.; SCHMIDHALTER, U. Influence of varied plant density on growth, yield and economic return of drip irrigated faba bean (*Vicia faba* L.). **Turkish Journal of Field Crops**, Turquia, v. 18, n. 2, p. 185-197, 2013.

AMARO, H. T. R.; DAVID, A. M. S. S.; CARVALHO, A. J.; VIEIRA, N. M. B.; ASPIAZÚ, I.; ASSIS, M. O. Qualidade fisiológica de sementes de cultivares de feijão em função de densidades populacionais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 3, p. 1241-1248, 2014.

ANDRADE, F. A.; GONÇALVES, L. S. A.; MIGLIORANZA, E.; RUAS, C. F.; RUAS, P. M.; TAKAHASHI, L. S. A. AFLP analysis of genetic diversity in determinate and indeterminate snap bean accessions. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 38, n. 1, p. 29-34. 2016.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis**. 19. ed. Virginia: AOAC International, v. 1 ou 2, 2012.

AOCS Ba 6-84, **Crude fibre**. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society. 2009.

ARAÚJO, G. A. de A.; FERREIRA, A. C. de B. Manejo do solo e plantio. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J. de.; BORÉM, A. **Feijão**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. p. 87-114.

ARAÚJO, K. C. **Avaliação de linhagens promissoras de feijão vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) em Cambuci-RJ para estudo de valor de cultivo e uso**. 2014. 63 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2014.

ARF, O.; SÁ, M. E.; GUERREIRO NETO, G. **Influência da época de semeadura sobre o comportamento de cultivares de feijão da safra de inverno**. Ilha Solteira: UNESP, 1993.

ARF, O.; SÁ, M. E.; OKITA, C. S.; TIBA, M. A.; GUERREIRO NETO, G.; OGASSAWARA, F. Y. Efeito de diferentes espaçamentos e densidades de semeadura sobre o desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 9, p. 629-634, 1996.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-do-arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 6, p. 1075-1084, 2001.

ASSIS, R.T.; ZINELI, V. P.; SILVA, R. E.; COSTA, W. C. A.; OLIVATO, I. **Arranjo espacial de plantas na cultura da soja**. Instituto de Ciências da Saúde, Agrárias e Humanas: Araxá, Minas Gerais, 2014. 7 p. (Circular Técnica)

BABAEIAN, M.; JAVAHERI, M.; ASGHARZADE, A. Effect of row spacing and sowing date on yield and yields components of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **African Journal of Microbiology Research**, Nigeria, v. 6, n. 20, p. 4340-4343, 2012.

BARBOSA, F.; GONZAGA, A. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2012. 247 p. (Documentos, 272).

BARNI, N.A. **Modelos de crescimento, desenvolvimento e rendimento do girassol em função da radiação solar, temperatura e disponibilidade hídrica.** Porto Alegre, 1994.

BARNI, N.A., BERLATO, M.A., BERGAMASCHI, H., RIBOLDI, J. Rendimento máximo do girassol com base na radiação solar e temperatura: I. Absorção da radiação solar fotossinteticamente ativa. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha.** Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 185-199, 1995.

BEEBE, S.; GONZALEZ, A.V.; RENGIFO, J. Research on trace minerals in the common bean. **Food and Nutrition Bulletin,** Boston, v. 21, n. 4, p. 387-391, 2000.

BEZERRA, A. A. de C. **Efeitos de arranjos populacionais na morfologia e produtividade de feijão-caupi de crescimento determinado e porte ereto.** 2005. 123 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

BEZERRA, A. A. de C.; TÁVORA, F. J. A. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q. Morfologia e produção de grãos em linhas modernas de feijão-caupi submetidas a diferentes densidades populacionais. **Revista de Biologia e Ciências da Terra,** São Cristóvão, v. 8, n. 1, p. 85-93, 2008.

BEZERRA, A. A. de C.; TÁVORA, F. J. A. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q. Características de dossel e de rendimento em feijão-caupi ereto em diferentes densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 44, n. 10, p. 1239-1245, 2009.

BEZERRA, A. E. de C.; NEVES, A. C. das.; ALCÂNTARA NETO, F. de.; SILVA JÚNIOR, J. V. da. Morfofisiologia e produção de feijão-caupi, cultivar BRS Novaera, em função da densidade de plantas. **Revista Caatinga,** Mossoró, v. 27, n. 4, p. 135-141, 2014.

BINNIE, R. C.; CLIFFORD, P. E. Sink characteristics of reproductive organs of dwarf bean in relation to likelihood of abscission. **Crop Science,** Madison, v. 39, n. 4, p. 1077-1082, 1999.

BLEIHOLDER, H.; KIRFEL, H.; LANGELÜDDEKE, P.; STAUSS, R. Codificação unificada dos estádios fenológicos de culturas e ervas daninhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 26, n. 9, p. 1423-1429, 1991.

BOARDMAN, N. K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. **Annual Review of Plant Physiology,** Palo Alto, v. 28, n. 1, p. 355-377, 1977.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, Orlando, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.

BRANDÃO, R. A. P. **Avaliação da qualidade das vagens e sementes de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.), cvs. UEL-1 e AG-274, em função da idade e época de cultivo**. 2001. 22 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Perfil do feijão no Brasil**. 2015. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/feijao/saiba-mais>>. Acesso em: 22 ago. 2015.

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

BRAITHWAITE, R. A. I. Bodie bean responses to changes in plant density. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 4, p. 593-596, 1982.

BRITTON, G. Biosynthesis of carotenoids. In: YOUNG, A. J.; BRITTON, G (eds). **Carotenoid in Photosynthesis**. Dordrecht: Springer, 1993. p. 96-126.

BURATTO, J. S.; CIRINO, V. M.; SCHOLZ, M. B. dos. S.; LANGAME, D. E. de. M.; FONSECA JUNIOR, N. da. SILVA.; PRETE, C. E. C. Variabilidade genética e efeito do ambiente para o teor de proteína em grãos de feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 593-597, 2009.

CAIRO, P. A. R.; OLIVEIRA, L. E. M. de.; MESQUITA, A. C. **Análise de crescimento de plantas**. Vitória da Conquista: Edições UESB, 2008. 72 p.

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

CARDOSO, S. L. Fotofísica de carotenoides e o papel antioxidante do β -caroteno. **Química Nova**, São Paulo, v. 20, n. 5. p. 535-540.

CARVALHO, M. A. C.; ARF, O.; SÁ, M. E. Efeito do espaçamento e época de semeadura sobre o desempenho do feijão. II. Qualidade fisiológica das sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 20, n. 1, p. 202-208, 1998.

CARVALHO, M. E. A.; CASTRO, P. R. C.; DIAS, K. M. F.; FERRAZ JÚNIOR, M. V. C. Growth retardants in dry bean plants: impacts on the architecture, photoassimilate partition, and their consequences on the yield. **Agrarian**, Dourados, v. 7, n. 25, p. 479-484, 2014.

CARVALHO, N.M. & NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.

CAVIGLIONE, J.H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina : IAPAR, 2000. CD.

COIMBRA, R. de. A.; NAKAGAWA, J. Época de semeadura, produção e qualidade fisiológica de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 28, n. 2, p. 53-59, 2006.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Programa brasileiro de modernização do mercado hortigranjeiro**. 2015. Disponível em: <<http://dw.prohort.conab.gov.br/pentaho/Prohort>>. Acesso em: 02 jul. 2018.

COSTA, R. S. S.; SÁ, M. E.; ORIOLI JÚNIOR, V.; BERTOLIN, D. C. Qualidade fisiológica de sementes de feijão em função da população de plantas e nitrogênio em plantio direto. **Nucleus**, Ituverava, v. 5, n. 2, p. 335-343, 2008.

COSTA, J. G. C.; KOHASHI-SHIBATA, J.; COLIN, S. M. Plasticidade no feijoeiro comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 2, p. 159-167, 1983.

CRUSCIOL, C. A. C.; LAZARINI, E.; BUZO, C. L.; SÁ, M. E. de. Produção e qualidade fisiológica de sementes de soja avaliadas na semeadura de inverno. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 1, p. 75-96, 2002.

DEBOUCK, D. G. *Phaseolus* germplasm exploration. In: GEPTS, P. **Genetic resources of Phaseolus beans**. Dordrecht: Kluwer, 1986. p. 3-29.

DEBOUCK, D. G. Systematics and morphology. In: SCHOONHOVEN, A.; VOYSEST, O. **Common beans: research for crop improvement**. Cáli: CIAT, 1991. p. 55-118.

DEBOUCK, D. G. Diversity in *Phaseolus* species in relation to the common bean. In: SINGH, S. P. **Common bean improvement in the twenty-first century**. Dordrecht: Kluwer, 1999. p. 25-52.

DELGADO-VARGAS, F.; JIMÉNEZ, A. R.; PAREDES-LÓPES, O. Natural pigments: carotenoids, anthocyanins and betalains – characteristics, biosynthesis, processing, and stability. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. v. 40, n. 3. p. 173-289, 2000.

DIDONET, A. D.; SILVA, S. C. da. Elementos climáticos e produtividade do feijoeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 223, p. 13-19, 2004.

DOAA, M. M.; ABEER, I. S.; RAMADAN, M. M. Response of green snap bean plants to different plant densities and some chemical compounds under cool atmosphere condition. **Scientific Journal of Agricultural Sciences**, Egito, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2019.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A. L. **Produção de feijão**. Guaíba: Agropecuária, 2000.

EL-ATABANY, A. M. 2015. **Effect of sowing and foliar spray by safety natural materials on yield and quality of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Ph. D. Thesis. Benha University, Faculty of Agriculture, Egypt, 2015.

ELHAG, A. Z.; HUSSEIN, A. M. Effects of sowing date and plant population on snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) growth and pod yield in Khartoum State. **Universal Journal of Agricultural Research**, San Jose, v. 2, n. 3, p. 115-118, 2014.

ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 3, n. 1, p. 39-45, 1991.

EVANS, L. T. Processes, genes, and yield potential. In: BUXTON, D. R., SHIBLES, R., FORSBERG, R. A.; BLAD, B. L.; ASAY, K. H.; PAUSEN, G. M.; WILSON, R. F. (Ed.) **International Crop Science I**. Madison: Crop Science Society of America, 1993. 895 p.

FAN, Y.; CHEN, J.; CHENG, Y.; RAZA, M. A.; WU, X.; WANG, Z.; LUI, Q.; WANG, R.; WANG, X.; YONG, T.; LIU, W.; LIU, J.; DU, J.; SHU, K.; YANG, W.; YANG, F. Effect of shading and light recovery on the growth, leaf structure, and photosynthetic performance of soybean in a maize-soybean relay-strip intercropping system. **Plos One**, San Francisco, v. 13, n. 5, p. 1-15, 2018.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia do feijoeiro. In: _____. **Tecnologia da produção do feijão irrigado**. Piracicaba: ESALQ, 1997. p. 100-120.

FAO. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. 2017. Disponível em: <<http://www.faostat.fao.org>>. Acesso em: 14 nov. 2019.

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

FARIA, R. T.; KRANTZ, N. M. Determinação de espaçamentos e densidades adequadas para cultivares de diferentes portes. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1, 1982, Goiânia. **Anais**. Goiânia: Embrapa-CNPAP, 1982, p.118-119.

FERNÁNDEZ, F.; GEPTS, P.; LÓPEZ, M. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Cáli: CIAT, 1986.

FERREIRA, F. A.; SILVA, A. A.; COBUCCI, C.; FERREIRA, L. R.; JAKELAITIS, A. Manejo de plantas daninhas. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. Z. D.; BORÉM, A. (Org.). **Feijão**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. p. 309-340.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2003.

FONTE, R. N.; BRITO, R.; CARVALHO, H. A.; PINTO, C. S. S.; LOPES, H. M. Qualidade de sementes de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) produzidas sob cultivo orgânico na região serrana do Rio de Janeiro. **Cadernos de Agroecologia**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 2, p. 1-5, dez. 2011.

FRANCIS, C. A. RUTGER, J. N.; PALMER, A. F. E. A. Rapid method for plant leaf area estimation in maize (*Zea mays*). **Crop Science**, Madison, v. 9, n. 5, p. 537-539, 1969.

FREITAS, F. O. Evidências genético-arqueológicas sobre a origem do feijão comum no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1199-1203, 2006.

FREITAS, F. O.; BENDEL, G.; ALLABY, R. G.; BROWN, T. A. DNA from primitive maize landraces and archaeological remains: implications for the domestication of maize and its expansion into South America. **Journal of Archaeological Science**, New York, v. 30, n. 7, p. 901-908, 2003.

GASPAR, T.; FRANCK, T.; BISBIS, B.; KEVERS, C.; JOUVE, L.; HAUSMAN, J. F.; DOMMES, J. Concepts in plant stress physiology. Application to plant tissue cultures. **Plant Growth Regulation**, Penrith, v. 37, n. 3, p. 263-285, 2002.

GEPTS, P.; BLISS, F. A. Phaseolin variability among wild and cultivated common beans (*Phaseolus vulgaris*) from Colombia. **Economic Botany**, New York, v. 40, n. 4, p. 469-478, 1986.

GEPTS, P.; DEBOUCK, D. G. Origin, domestication, and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris*). In: SCHOONHOVEN, A. van.; VOYSEST, O. **Common beans: research for crop improvement**. Cáli: CIAT, 1991. p. 7-53.

GEPTS, P.; OSBORN, T. C.; RASCA, K.; BLISS, F. A. Phaseolin-protein variability in wild forms and landraces of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.): evidence for multiple centers of domestication. **Economic Botany**, New York, v. 40, n. 4, p. 451-468, 1986.

GETACHEW, E.; MOHAMMED, A.; TESFAYE, A.; NEBIYU, A. Growth and yield response of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in relation to time of sowing and plant spacing in the humid tropics of Jimma, southwest Ethiopia. **International Journal of Soil and Crop Sciences**, Nigeria, v. 2, n. 5, p. 61-67, 2014.

GHADIRI, H.; BAYAT, M. L.; Effect of row and plant spacings on weed competition with pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agricultural Science and Technology**, Iran v. 6, n. 1, p. 1-9, 2004.

GOMES, G. R.; MORITZ, A.; FREIRIA, G. H.; FURLAN, F. F.; TAKAHASHI, L. S. A. Desempenho produtivo de genótipos de feijão-vagem arbustivo em dois ambientes. **Scientia Agropecuaria**, Trujillo, v. 7, n. 2, p. 85-92, 2016.

GOMIDE, R. L.; ALBUQUERQUE, P. E. P. de. Agrometeorologia e otimização do uso da água na irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, n. 246, p. 72-85, 2008.

GUIMARÃES, C. M. Relações hídricas. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Associação Brasileira de Pesquisa da Potassa e Fosfato, 1996. p. 139-167.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da.; SARMENTO, P. H. L. Componentes agronômicos do feijoeiro superprecoce BRS FC104 em diferentes arranjos espaciais e adubações fosfatadas. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 15, n. 3, p. 40-48, 2019.

GUIMARÃES, M. A.; LEMOS NETO, H. S.; ARAÚJO, R. B.; LIMA NETO, B. P.; SILVA, V. B.; MESQUITA, R. O. Sistemas de tutoramento e espaçamentos de plantio na produção de feijão de metro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 4, p. 613-620.

HAESBAERT, F. M.; SANTOS, D.; LÚCIO, A. D. C.; BENZ, V.; ANTONELLO, B. I.; RIBEIRO, A. L. P. Tamanho de amostra para experimentos com feijão-de-vagem em 19 diferentes ambientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 1, p. 38-44, 2011.

HONGYU, K. **Comparação do GGE-biplot ponderado e AMMI-ponderado com outros modelos de interação genótipo x ambiente**. 2015. 155 p. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, G. J. de. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **Engineering and Science**, Cuiabá, v. 5, n. 1, p. 83-90, 2015.

HUSSON, F.; JOSSE, J.; LE, S.; MAZET, J. **FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining**. R Package Version 1.42. 2019. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/FactoMineR/FactoMineR.pdf>> Acesso em: 18 out. 2019.

IAPAR: Instituto Agrônomo do Paraná. 2019. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1828>>. Acesso em: 17 jul. 2019.

JADOSKI, S. O.; CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; WOISCHICK, D.; CERVO, L. População de plantas e espaçamento entre linhas do feijoeiro irrigado. I: Comportamento morfológico das plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 4, p. 1-7, 2000.

KLUGE, R. A.; TEZOTTO-ULIANA, J. V.; SILVA, P. P. M. da. Aspectos fisiológicos e ambientais da fotossíntese. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 7, n. 1, p. 56-73.

KRAUSE, W.; RODRIGUES, R.; LEAL, N. R. Capacidade combinatória para características agronômicas em feijão-vagem. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 3, p. 522-531, 2012.

KRINSKI, S. A. **Arranjos espaciais para o feijoeiro em semeadura direta**. 2001. 70 p. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. ABRATES, Londrina, 218 p. 1999.

KUROZAWA, C. **Feijão-vagem**. 2007. Disponível em: <<http://globo.ruraltv.globo.com/GRural/0,27062,LTP0-4373-0-L-F,00.html>>. Acesso em: 06. jul. 2018.

KVET, J.; ONDOK, J. P.; NECAS, J.; JARVIS, P. G. Methods of growth analysis. In: SESTAK, Z.; CATSKY, J.; JARVIS, P. G. (eds.), **Plant Photosynthetic Production: manual and methods**. The Hague: The Hague Publisher, 1971. p. 343- 384.

LACERDA, C. F.; CARVALHO, C. M. de.; VIEIRA, M. R.; NOBRE, J. G. A.; NEVES, A. L. R.; RODRIGUES, C. F. Análise de crescimento de milho e feijão em diferentes condições de sombreamento. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 1, p. 18-24, 2010.

LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I.; MENEZES, E. W. Qualidade nutricional. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós, 1996. p. 23-56.

LeDEUNFF, Y. Hydration des semences de pois (*Pisum sativum*). **Seed Science and Technology**. Wageningen, v. 17, n. 1, p. 471-483, 1989.

LIMA, J. D.; SAKAI, R. K.; ALDRIGHI, M.; SAKAI, M. Arranjo espacial, densidade e época de semeadura no acúmulo de massa seca e nutrientes de três adubos verdes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 531-540, 2010.

LOLLATO, M. D. **Efeito de população de plantas e a colheita mecânica na cultura do feijão**. In: Tecnologia da produção do feijão irrigado. Piracicaba: Universidade de São Paulo-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1997. p.166-174.

LONDERO, P. M. G.; RIBEIRO, N. D.; CARGNELUTTI FILHO, A. Teores de fibra e rendimento de grãos em populações de feijão. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 167-173, 2008.

LOOMIS, R. S., AMTHOR, J. S. Yield potential, plant assimilatory capacity, and metabolic efficiencies. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 6, p. 1584-1596, 1999.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.

MARCO, K.; DALLACORT, R.; FARIA JÚNIOR, C. A.; FREITAS, P. S. L.; VILLELA, T. G. Aptidão agroclimática e características agronômicas do feijão-comum semeado na safra das águas em Tangará da Serra – MT. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 160-170, 2012.

MARIGUELE, K. H.; MALUF, W. R.; GOMES, L. A. A.; LOPES, M. J. C.; MELO, O. D. de. Controle genético da qualidade da vagem em cruzamento de feijão-vagem e feijão-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 47-52, 2008.

MARIOT, E. J. Aptidões climáticas, ideótipos e épocas de cultivo do feijoeiro no Paraná. In: IAPAR. **Feijão: tecnologia e produção**. Londrina: IAPAR, 2000. p. 5-13. (Informe de Pesquisa, 135).

MARTINS, M.; FONSECA, L. F. da.; MELO, L. C.; OLIVEIRA, D. R. F. de.; ALVIM, K. R. de T.; SANTANA, D. G. de. Avaliação de genótipos de feijoeiro comum do grupo comercial carioca cultivados nas épocas das águas e do inverno em Uberlândia, Estado de Minas Gerais. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 23-28, 2009.

MARTUSCELLO, J. A.; JANK, L.; GONTIJO NETO, M. M.; LAURA, VALDEMIR, V. A.; CUNHA, D. de. N. F. V. da. Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 7, p. 1183-1190, 2009.

MASSIGNAM, A. M.; VIEIRA, H. J.; HEMP, S.; FLESCHE, R. D. Ecofisiologia do feijoeiro. II - Redução do rendimento pela ocorrência de altas temperaturas no florescimento. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 41- 45. 1998, b.

MATZENAUER, R.; MALUF, J. R. J.; BUENO, A. C. Evapotranspiração da cultura do feijoeiro e relação com a evaporação do tanque classe "A". **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 101-106, 1998.

MAY, A.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; SILVA, A. F. da.; PEREIRA FILHO, I. A. Manejo e Tratos Culturais. In: MAY, A.; DURÃES, F. O. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELA, R. A. da. C. (Ed.). **Sistema Embrapa de Produção Agroindustrial de Sorgo Sacarino para Bioetanol Sistema BRS1G – Tecnologia Qualidade Embrapa**. 1. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. p. 22-30. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 139).

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 2. ed. UFRGS: Porto Alegre, 2004.

MIKLAS, P. N.; COYNE, D. P.; GRAFTON, K. F.; MUTLU, N.; REISER, J.; LINDGREN, D. T.; SINGH, S. P. A major QTL for common bacterial blight resistance derives from the common bean great northern landrace cultivar Montana No. 5. **Euphytica**, Holanda, v. 131, n. 1, p. 137-146, 2003.

MORAIS, L. K.; CARBONELL, S. A. M.; PINHEIRO, J. B.; FONSECA JUNIOR, N. S.; BRASIL, E. M. Avaliação de cultivares de feijoeiro, *Phaseolus vulgaris* L., sob diferentes espaçamentos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1199-1203, 2001.

MOSLEY, A. R. **Responses of the bush snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.), to population density and plant arrangement.** 1972. 131 p. Tese (Doctorate degree of Philosophy). Oregon State University, Corvallis, 1972.

MUÑOZ, G.; GIRALDO, G.; SOTO, J. F. **Descriptores varietales: arroz, frijol, maíz, sorgo.** Colômbia: CIAT, 1993.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho de plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes.** Londrina: ABRATES, 1999. p. 2.1- 2. 24.

NÓBREGA, J. Q.; RAO, T. V. R.; BELTRÃO, N. E. de M.; FIDELES FILHO, J. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 437-443, 2001.

NORMAS DE CLASSIFICAÇÃO. Programa Brasileiro para a modernização da horticultura. São Paulo: PBMH, v. 10, n. 1, 2012. 6 p.

NUNES, R. T. C.; SOUZA, U. O.; ARAUJO NETO, A. C.; MORAIS, O. M.; FOGAÇA, J. J. N. L.; SANTOS, J. L.; CARDOSO, A. D.; JOSÉ, A. R. S. Produção e qualidade de sementes de feijão-caupi em função de doses de molibdênio e da população de plantas. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 40, n. 3, p. 533-542, 2017.

OLIVEIRA, A. P.; ANDRADE, A. C.; TAVARES SOBRINHO, J.; PEIXOTO, N. Avaliação de linhagens e cultivares de feijão-vagem de crescimento indeterminado, no município de Areia-PB. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 2, p. 159-162, 2001.

OLIVEIRA, I. P.; KLUTHCOUSKI J.; SILVA, J. G. da.; AIDAR, H. Efeito do arranjo espacial de plantas na produtividade do feijoeiro. In: COBUCCI, T. (Ed.). **Avanços tecnológicos com a cultura do feijoeiro comum no sistema de plantio direto.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 36 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 100)

PARANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento – SEAB. Departamento de Economia Rural - DERAL. **Feijão-vagem.** 2013. Comunicação pessoal.

PARANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento – SEAB. Departamento de Economia Rural – DERAL. **Estimativa do custo de produção.** 2016. Disponível em: <<http://www.pr.gov.br>>. Acesso em: 11 mar. 2016.

PAULA JÚNIOR, T. J.; VIEIRA, R. F.; TEIXEIRA, H.; COELHO, R. R.; CARNEIRO, J. E. S.; ANDRADE, M. J. B.; REZENDE, A. M. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na região central brasileira: 2007-2009**. Belo Horizonte: Epamig, 2008.

PEIL, R. M. N.; ALBUQUERQUE, A. A. R.; ROMBALDI, C. V. Densidade de plantio e genótipos de tomate cereja em sistema fechado de cultivo em substrato. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 32, n. 2, 2014.

PEIXOTO, N.; CARDOSO, A. I. I. Feijão-vagem. In: NASCIMENTO, W. V. (Ed.). **Hortaliças leguminosas**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2016. 232 p.

PEIXOTO, N.; THUNG, M. D. T.; SILVA, L. O.; FARIAS, J. G.; OLIVEIRA, E. B.; BARBEDO, A. S. C.; SANTOS, G. Produção de sementes de linhagens e cultivares arbustivas de feijão-de-vagem em Anápolis-GO. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 11, n. 2, p. 151-152, 1993.

PEIXOTO, N.; THUNG, M. D. T.; SILVA, L. O.; FARIAS, J. G.; OLIVEIRA, E. B.; BARBEDO, A. S. C.; SANTOS, G. **Avaliação de cultivares arbustivas de feijão-vagem, em diferentes ambientes do Estado de Goiás**. Goiânia: EMATER, 1997. (Boletim de Pesquisa, 1).

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

PEREIRA, G. I. S.; PEREIRA, R. G. F. A.; BARCELOS, M. F. P.; MORAIS, A. R. Avaliação química da folha de cenoura visando ao seu aproveitamento na alimentação humana. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 4, p. 852-857, 2003.

PEREIRA, V. G. C.; GRIS, D. J.; MARANGONI, T.; FRIGO, J. P.; AZEVEDO, K. D.; GRZESIUCK, A. E. Exigências agroclimáticas para a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Palotina, v. 3, n. 1, p. 32-42, 2014.

PEREIRA, V. V. V. R.; BAZOTTI, A. **Ruralidade, agricultura familiar e desenvolvimento**. Curitiba: IPARDES, 2010. (Nota Técnica, 16).

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; FARIA, L. C. de.; PELOSO, M. J. D.; WENDLAND, A. Estratificação ambiental na avaliação de genótipos de feijoeiro comum tipo Carioca em Goiás e no Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 6, p. 554-562, 2010.

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

PORTES, T. A. Ecofisiologia. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1996. p. 101-137.

QASEM, J. R.; BIFTU, K. N. Growth analysis and responses of cowpea (*Vigna Sinensis* (L.) Savi Ex Hassk.) and redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) grown in pure and mixed stands, to density and water stresses. **The Open Horticulture Journal**, New Dheli, v. 3, n. 1, p. 21-30, 2010.

RAMBO, L.; COSTA, J. A.; PIRES, J. L. F.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA, F. G. Estimativa do potencial de rendimento por estrato do dossel da soja, em diferentes arranjos de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 33-40, 2004.

RANGEL, M. A. S.; CAVALHEIRO, L. R.; CAVICHIOLLI, D.; CARDOSO, P. C. **Efeito do genótipo e do ambiente sobre os teores de óleo e proteína nos grãos de soja, em quatro ambientes da Região Sul de Mato Grosso do Sul, safra 2002/ 2003**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2004. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 17).

RIBAS, R. G. T. **Densidades populacionais de pepino sobre índices agroeconômicos do consórcio com alface**. 2017. 185 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2017.

RIBEIRO, N. D.; JOST, E.; POSSEBON, S. B.; CARGNELUTTI FILHO, A. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares registradas de feijão em diferentes épocas de semeadura para a depressão central do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1395-1400, 2004.

SAHARIAR, M. S.; KARIM, M. R.; NAHAR, M. A.; RAHMAN, M.; ISLAM, M. U. Influence of mulching and plant spacing on growth and yield of french bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Progressive Agriculture**, Bangladesh, v. 26, n. 2, p. 129-135, 2015.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant physiology**. 3. ed. Belmont: Wadsworth Publishing, 1985. 540 p.

SANTOS, D.; HAESBAERT, F. M.; LÚCIO, A. D.; STORCK, L.; CARGNELUTTI FILHO, A. Tamanho ótimo de parcela para a cultura do feijão-vagem. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 119-128, 2012.

SANTOS, E. R. dos.; BORGES, P. R. S.; SIEBENEICHLER, S. C.; CERQUEIRA, A. P. de.; PEREIRA, P. R. Crescimento e teores de pigmentos foliares em feijão-caupi cultivados sob dois ambientes de luminosidade. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 4, p. 14-19, 2011.

SANTOS, H. G. dos.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos.; OLIVEIRA, V. A. de.; LUMBRERAS, J. F.; ALMEIDA, J. M. de.; ARAÚJO FILHO, J. C. de.; OLIVEIRA, J. B. de.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. Ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, J. B.; GAVILANES, M. L. Botânica. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. p. 41-65.

SANTOS, M. G. P.; CARVALHO, A. J.; DAVID, A. M. S. S.; AMARO, H. T. R.; VIEIRA, N. M. B.; SOUZA, V. B.; CARNEIRO, J. E. S. Densidades de semeadura e safras de cultivo no desempenho produtivo de cultivares de feijoeiro-comum. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 5, p. 2309-2324, 2014.

SCHAMNE, J. A.; RONZELLI JÚNIOR, P.; DAROS, E.; KOEHLER, H. S. Arranjos espaciais para a cultura do feijoeiro em sistema de semeadura convencional. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 2, n. 1-2, p. 99-105, 2001.

SEIF, Y. I. A.; EL-MINI AWY, S. E. M.; EL-AZM, N. A. A.; HEGAZI, A. Z. Response of snap bean growth and seed yield to seed size, plant density and foliar application with algae extract. **Annals of Agricultural Science**, Egito, v. 61, n. 2, p. 187-199, 2016.

SHONNARD, G. C.; GEPTS, P. Genetics of heat tolerance during reproductive development in common bean. **Crop Science**, Madison, v. 34, n. 5, p. 1168-1175, 1994.

SILBERNAGEL, M. J. Snap bean breeding. In: BASSETT, M. J. (Ed.). **Breeding vegetable crops**. Westport: The AVI, 1996. p. 243-282.

SILVA, A. O.; LIMA, E. A.; MENEZES, H. E. A. Rendimento de grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivado em diferentes densidades de plantio. **Revista das Faculdades Integradas de Bebedouro**, Bebedouro, v. 10, n. 3, p. 1-5, 2007.

SILVA, C. C.; MELO, L. C.; DAL PELOSO, M. J.; DIAZ, J. L. C.; de FARIA, L. C.; da COSTA, J. G. C.; PEREIRA, H. S.; DI STÉFANO, J. G. **Arranjos espaciais de plantas de feijoeiro comum de diferentes tipos de crescimento**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2008. 40 p. (Documentos, 236).

SILVA, M. P.; ARF, O. SÁ, M. E.; ABRANTES, F. L.; BERTI, C. L. F.; ARRUDA, N.; SOUZA, L. C. D. Qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro em diferentes doses de nitrogênio, espaçamentos e variedades. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 13, n. 1, p. 28-39, 2014.

SILVA, R. R.; SCARIOTTO, S.; MALAGI, G.; MARCHESE, J. A. Análise de crescimento em feijoeiro cultivado sob diferentes densidades de semeadura. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 13, n. 2, p. 41-51, 2012.

SILVANDO, C. S.; STEINMETZ, S. **Clima**. 2008. Disponível em: 15101.html - Acesso em: 10 jul. 2008.

SIMIDU, H. M. **Épocas de semeadura de cultivares de feijoeiro no período de inverno sob diferentes palhadas no cerrado: produtividade e qualidade fisiológica de sementes**. 2009. 101 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2009 .

SIMIDU, H. M.; SÁ, M. E. de.; SOUZA, L. C. D. de.; ABRANTES, F. de L.; SILVA, M. P. da.; ARF, O. Efeito do adubo verde e época de semeadura sobre a produtividade do feijão, em plantio direto em região de cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 309-315, 2010.

SINGH, S. P.; GUTIERREZ, J. A.; MOLINA, A.; URREA, C.; GEPTS, P. Genetic diversity in cultivated common bean. II. Marker-based analysis of morphological and agronomic traits. **Crop Science**, Madison, v. 31, n. 1, p. 23-29, 1991.

SINGH, S. P. Broadening the genetic base of common bean cultivars: a review. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 6, p. 1659-1675, 2001.

SOUZA, A. B. de.; ANDRADE, M. J. B. de.; MUNIZ, J. A.; REIS, R. P. Populações de plantas e níveis de adubação e calagem para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em um solo de baixa fertilidade. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 1, p. 87- 98, 2002.

SOUZA, A. B.; ANDRADE, M. J. B.; ALVES, V. G.; CAMPAGNOLI, F. B. Densidades de semeadura, níveis de adubação NPK e calagem para o feijoeiro (cv. Iapar 81) em latossolo argiloso de Ponta Grossa-PR. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 25, n. 1, p. 5-12, 2004.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Limites de competição dos componentes da produtividade de grãos da cultivar do feijoeiro-comum cv. Pérola. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 83-88, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

TEASDALE, J.; FRANK, J. Effect of row spacing on weed competition with snap beans (*Phaseolus vulgaris*). **Weed Science**, United States, v. 31, n. 1, p. 81-85, 1983.

TEIXEIRA, I. R.; ANDRADE, M. J. B. de.; CARVALHO, J. G. de.; MORAIS, A. R. de.; CORRÊA, J. B. D. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola) a diferentes densidades de semeadura e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 4, p. 399-408, 2000.

TEIXEIRA, I. R.; SILVA, G. C.; OLIVEIRA, J. A. P.; TIMOSSI, P. C. Arranjos de plantas do feijoeiro-comum consorciado com mamona. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 2, p. 85-91, 2012.

TOLEDO, M. Z.; FONSECA, N. R.; CÉSAR, M. L.; SORATTO, R. P.; CAVARIANI, C.; CRUSCIOL, C. A. C. Qualidade fisiológica e armazenamento de sementes de feijão em função da aplicação tardia de nitrogênio em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 2, p. 124-133, 2009.

TORO, O.; TOHME, J.; DEBOUCK, D. G. **Wild bean (*Phaseolus vulgaris* L.): description and distribution**. Cáli: CIAT, 1990.

TSUKAGUCHI, T.; FUKAMACHI, H.; OZAWA, K.; TAKEDA, H.; SUZUKI, K.; EGAWA, Y. Diurnal change in water balance of heat-tolerant snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar and its association with growth under high temperature. **Plant Production Science**, Londres, v. 8, n. 4, p. 375-382, 2005.

TUARIRA, M., MOSES, M. Effects of plant density and planting arrangement in green bean seed production. **Journal of Global Innovations in Agricultural and Social Sciences**, Paquistão, v. 2, n. 4, p. 152-157, 2014.

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.

VALÉRIO, C.R.; ANDRADE, M. J. B.; FERREIRA, D.F. Comportamento das cultivares de feijão Aporé, Carioca e Pérola em diferentes populações de plantas e espaçamento entre linhas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 3, p. 515-528, 1999.

VAVILOV, N. I. Linnaeus species as a system. *Bulletin Applied Botanic Genetic*, Saint Louis, v. 26, n. 3, p. 109-134, 1931 .

VIDAL, V. L.; JUNQUEIRA, A. M. R.; PEIXOTO, N.; MORAES, E. A. Desempenho de feijão-vagem arbustivo, sob cultivo orgânico em duas épocas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 1, p. 10-14, 2007.

VIEIRA, C. Perspectiva da cultura do feijão e de outras leguminosas de grãos no país e no mundo. In: ZIMMERMANN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato, 1988. p. 2–19.

VIEIRA, C.; BORÉM, A.; RAMALHO, M. A. P. Melhoramento do feijão. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 1999. p. 273-349.

VIEIRA C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão**. Viçosa: UFV, 2006.

VIEIRA, A. R. R.; SCHNEIDER, L.; MARQUES JÚNIOR, S.; JUSTINO, R. G. B.; VONZUCCALMAGLIO, G.; SILVA, J. G. Caracterização térmica e hídrica da cultura do feijão-vagem na região da grande Florianópolis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 6, p. 929-936, 1998.

VIEIRA, E. H. N.; YOKOYAMA, M. Colheita, processamento e armazenamento. In: VIEIRA, E. H. N.; RAVA, C. A. **Sementes de feijão: produção e tecnologia**. Santo Antônio de Goiás: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2000. p. 233-248.

VILELA, F. O.; AMARAL JÚNIOR, A. T. do.; FREITAS JÚNIOR, S. de. P.; VIANA, A. P.; PEREIRA, M. G.; SILVA, M. G. de M. Selection of snap bean recombined inbred lines by using EGT and SSD. **Euphytica**, Netherlands, v. 165, n. 1, p. 21-26, 2009.

WHITHAM, F. H.; BLAYDES, D. F.; DEVLIN, R. M. **Experiment in plant physiology**. New York: D. Van Nostrand Company, 1971. p. 55-58.

WUTKE, E. B.; BRUNINI, O.; BARBANO, M. T.; CASTRO, J. L. de.; GALLO, P. B.; KANTHACK, R. A. D.; MARTINS, A. L. M.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; BORTOLETTO, N.; PAULO, E. M.; SAKAI, M.; SAES, L. A.; AMBROSANO, E. J.; CARBONELL, S. A. M.; SILVEIRA, L. C. P. Estimativa de temperatura base e graus-dia para feijoeiro nas diferentes fases fenológicas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55-61, 2000.

YADAV, S. K.; PATEL, A. G.; YADAV, B. L. Yield, quality and soil fertility of cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) as influenced by various row spacing and levels of phosphorus. **Advance Research Journal of Crop Improvement**, India, v. 5, n. 2, p. 101-104, 2014.

ZABOT, L.; DUTRA, L. M. C.; JAUER, A.; LUCCA FILHO, O. A.; UHRY, D.; STEFANELO, C.; LOSEKAN, M. G.; FARIAS, J. R.; LUDWIG, M.P. Análise de crescimento da cultivar de feijão BR IPAGRO 44 Guapo Brilhante cultivada na safrinha em quatro densidades de semeadura em Santa Maria-RS. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 3, n. 2, p. 105-115, 2004.

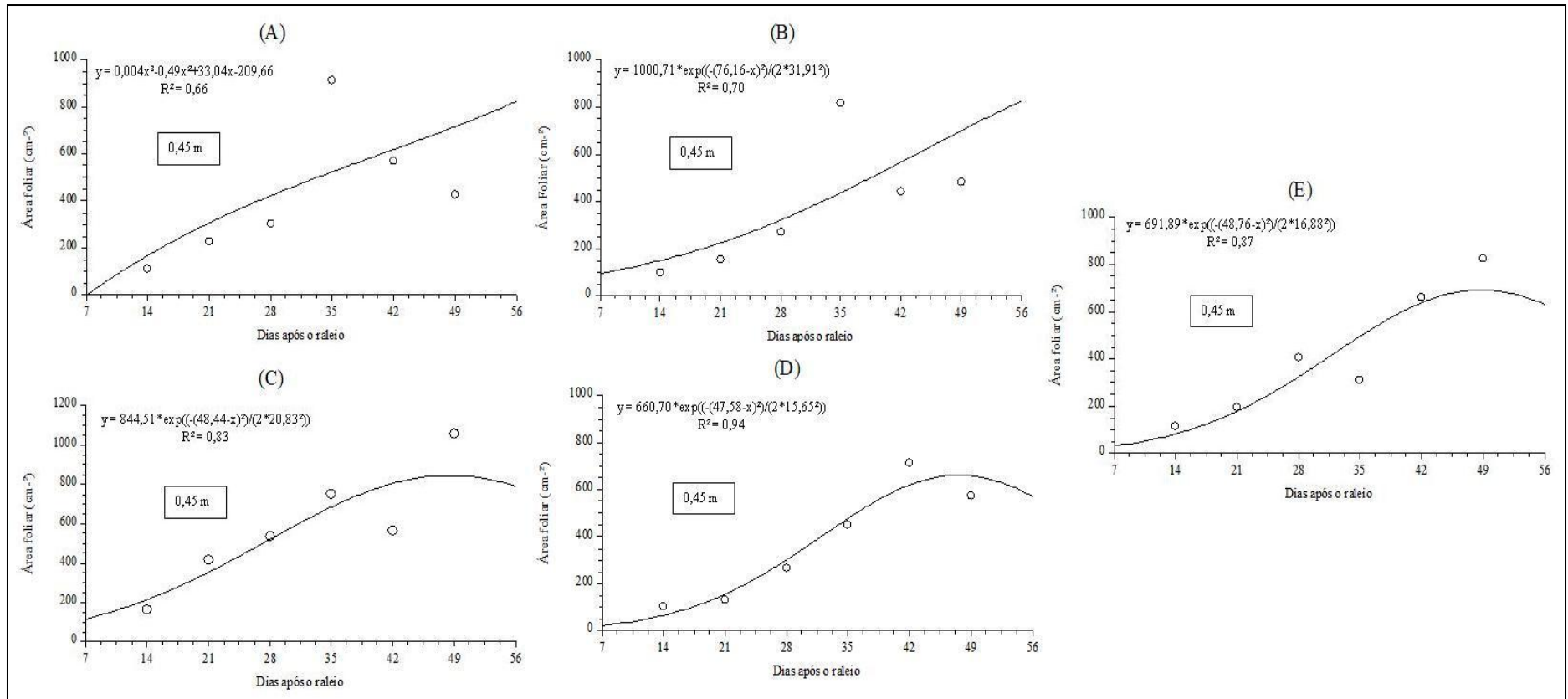
ZIMMERMANN, M. J. O.; TEIXEIRA, M. G. Origem e evolução. In: ZIMMERMANN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato. 1996. p. 57-68.

ZUCARELI, C.; BRZEZINSKI, C. R.; ABATI, J.; WERNER, F.; RAMOS JÚNIOR, E. U.; NAKAGAWA, J. Qualidade fisiológica de sementes de feijão carioca armazenadas em diferentes ambientes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 8, p. 803-809, 2015.

ZUCARELI, C.; BRZEZINSKI, C. R.; WERNER, F.; ABATI, J.; NAKAGAWA, J. Physiological quality of the seeds of common bean cultivars grown in different phosphorus levels and growing seasons. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 37, n. 6, p. 3859-3870, 2016.

APÊNDICES

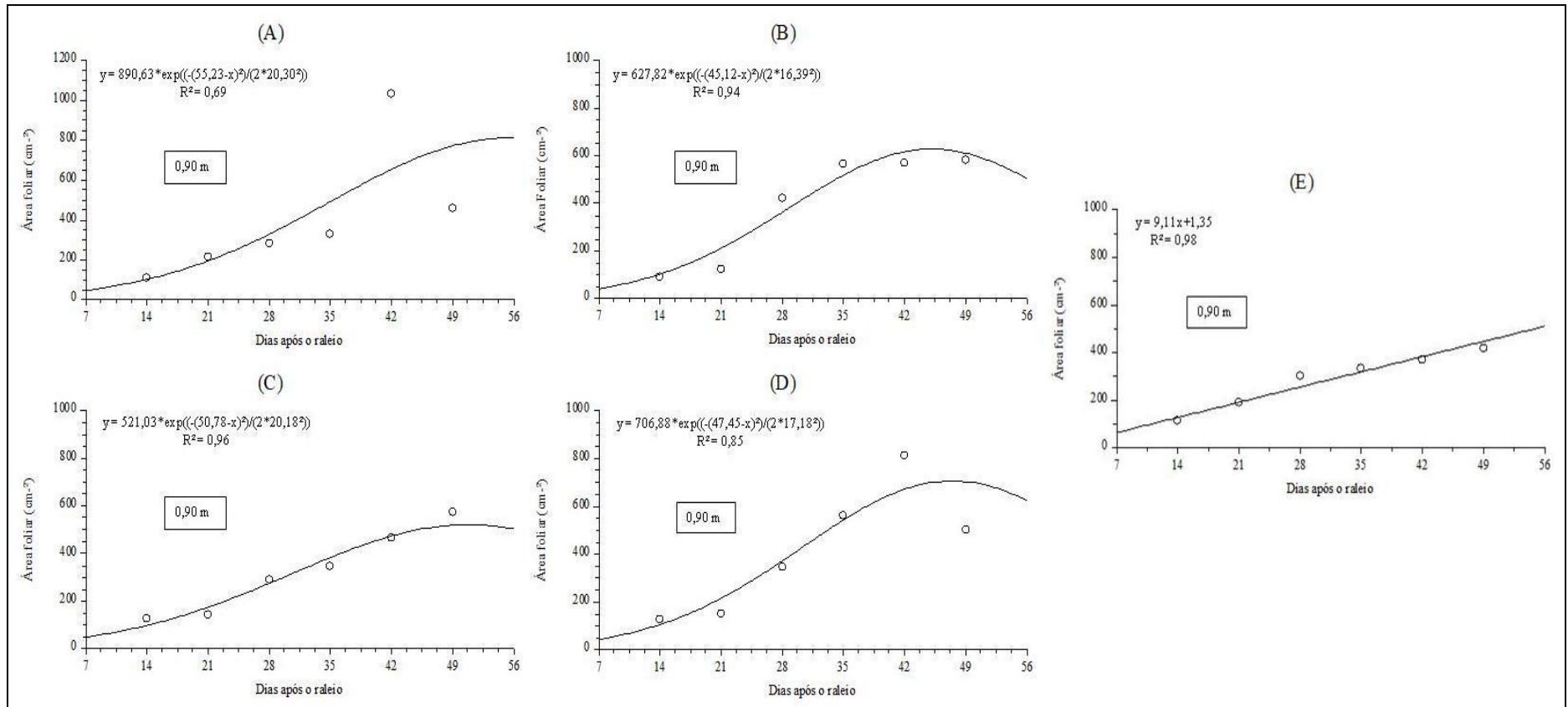
APÊNDICE A - Modelos matemáticos de resposta da área foliar total do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,45 m em cultivo de outono-inverno. Londrina, 2019.



*(A) – 133.000; (B) – 177.000; (C) – 221.000; (D) – 265.000 e (E) 309.000 plantas ha⁻¹.

Fonte: o próprio autor.

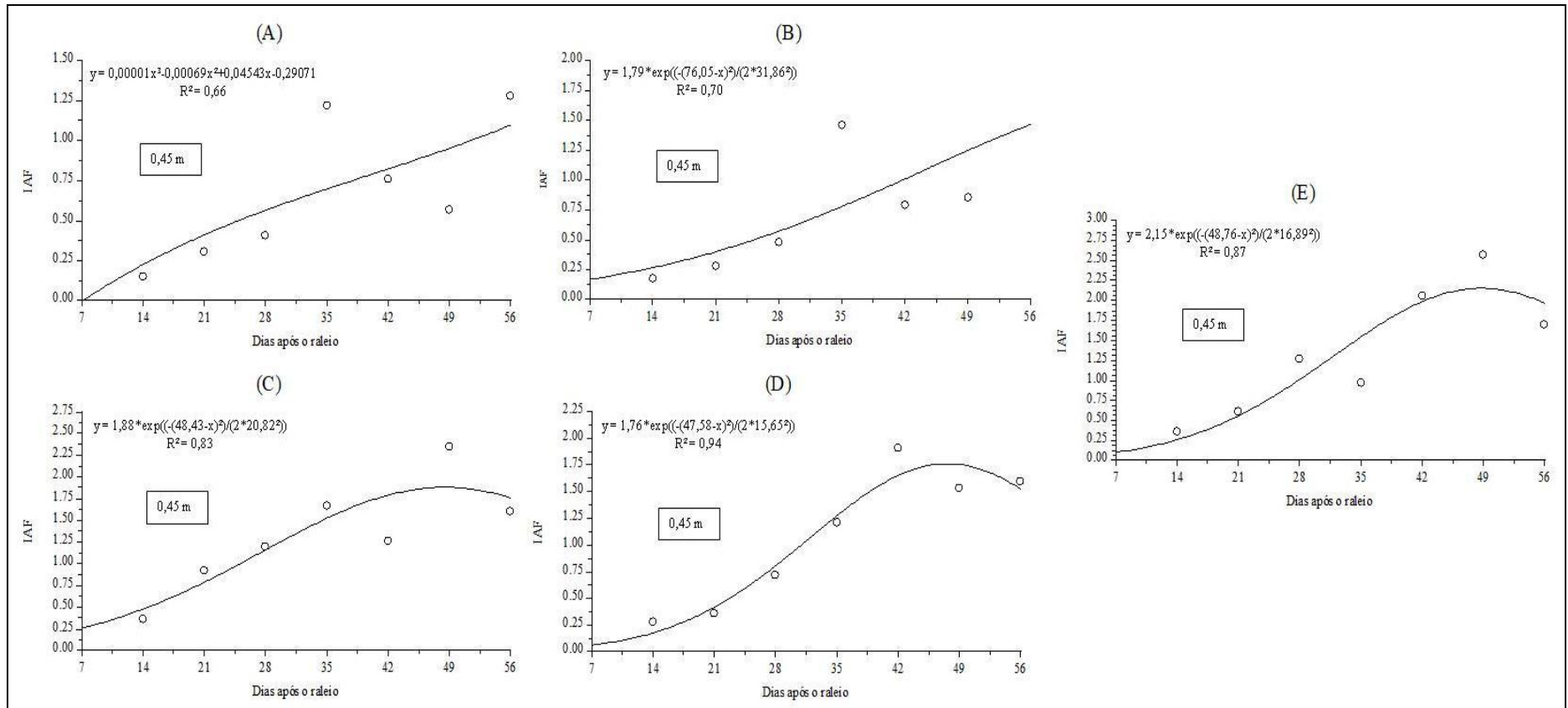
APÊNDICE B - Modelos matemáticos de resposta da área foliar total do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,90 m em cultivo de outono-inverno. Londrina, 2019.



*(A) – 133.000; (B) – 177.000; (C) – 221.000; (D) – 265.000 e (E) 309.000 plantas ha⁻¹.

Fonte: o próprio autor.

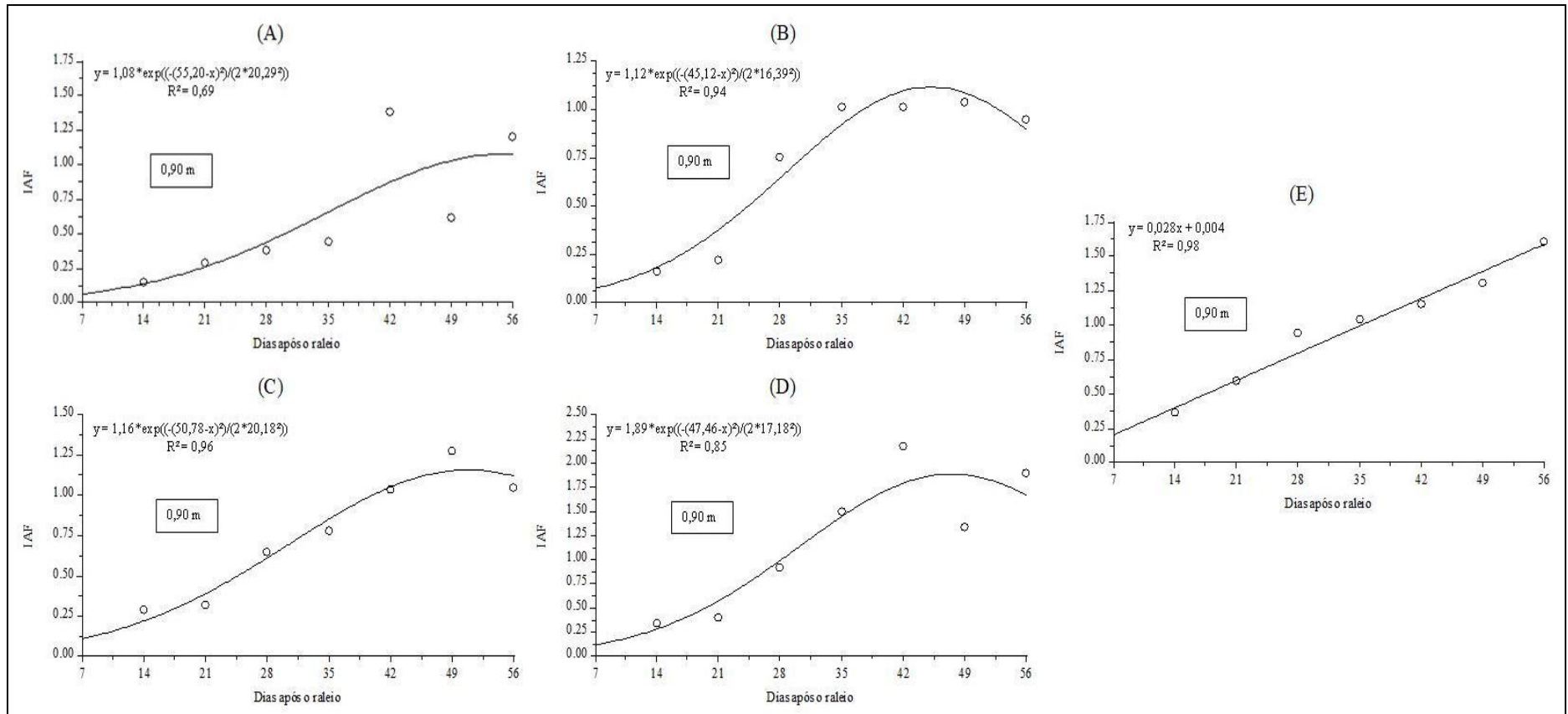
APÊNDICE C - Modelos matemáticos de resposta do índice de área foliar do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,45 m em cultivo de outono-inverno. Londrina, 2019.



*(A) – 133.000; (B) – 177.000; (C) – 221.000; (D) – 265.000 e (E) 309.000 plantas ha⁻¹.

Fonte: o próprio autor.

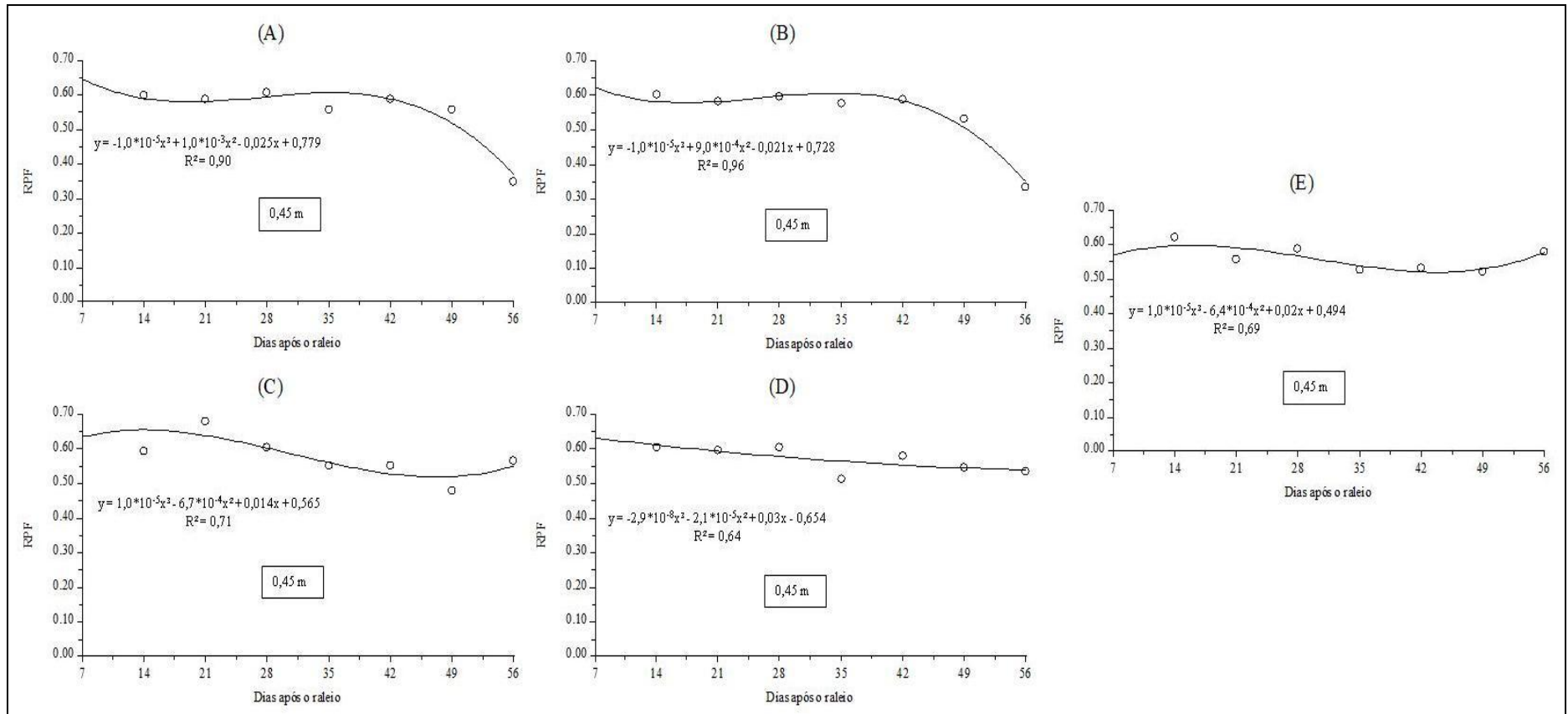
APÊNDICE D - Modelos matemáticos de resposta do índice de área foliar do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,90 m em cultivo de outono-inverno. Londrina, 2019.



*(A) – 133.000; (B) – 177.000; (C) – 221.000; (D) – 265.000 e (E) 309.000 plantas ha⁻¹.

Fonte: o próprio autor.

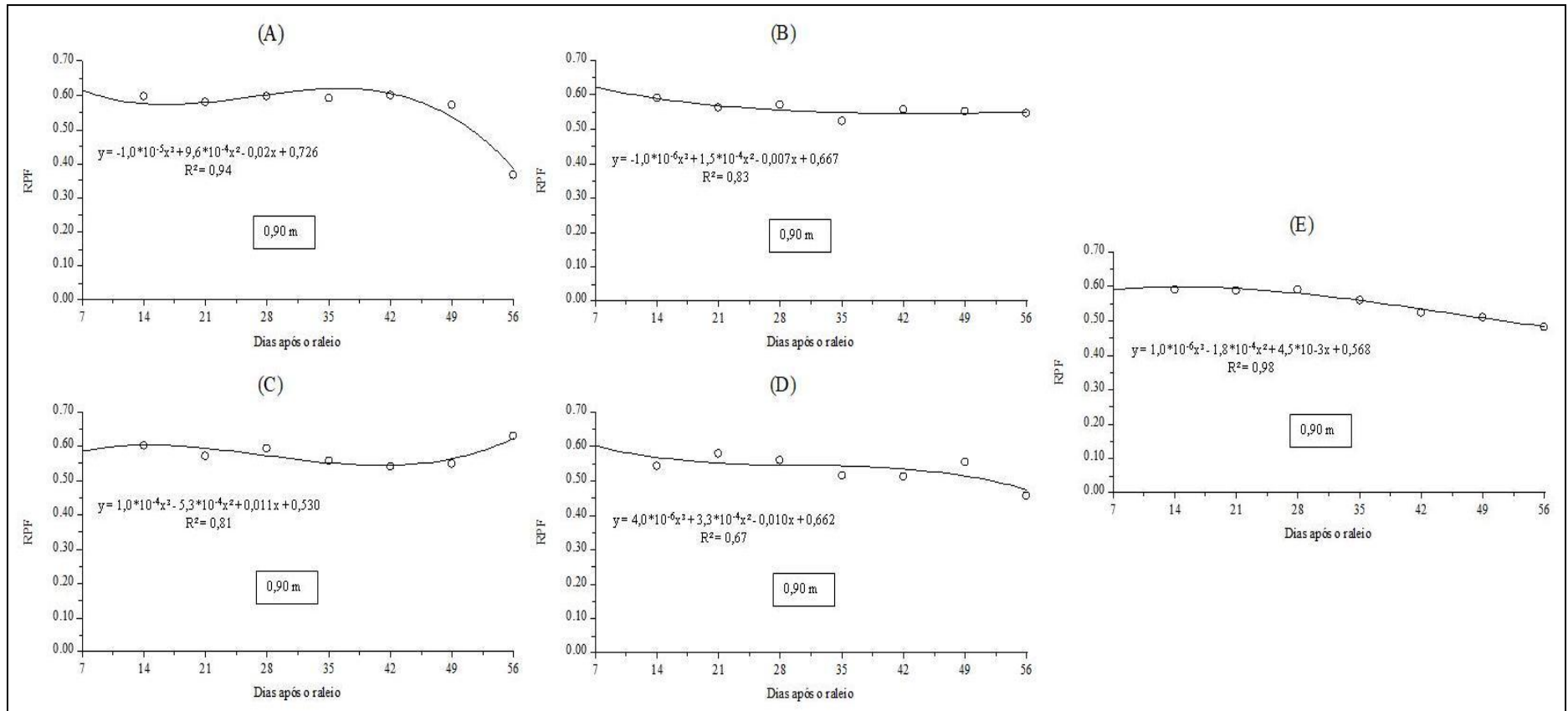
APÊNDICE E - Modelos matemáticos de resposta da razão de peso foliar do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,45 m em cultivo de outono-inverno. Londrina, 2019.



*(A) – 133.000; (B) – 177.000; (C) – 221.000; (D) – 265.000 e (E) 309.000 plantas ha⁻¹.

Fonte: o próprio autor.

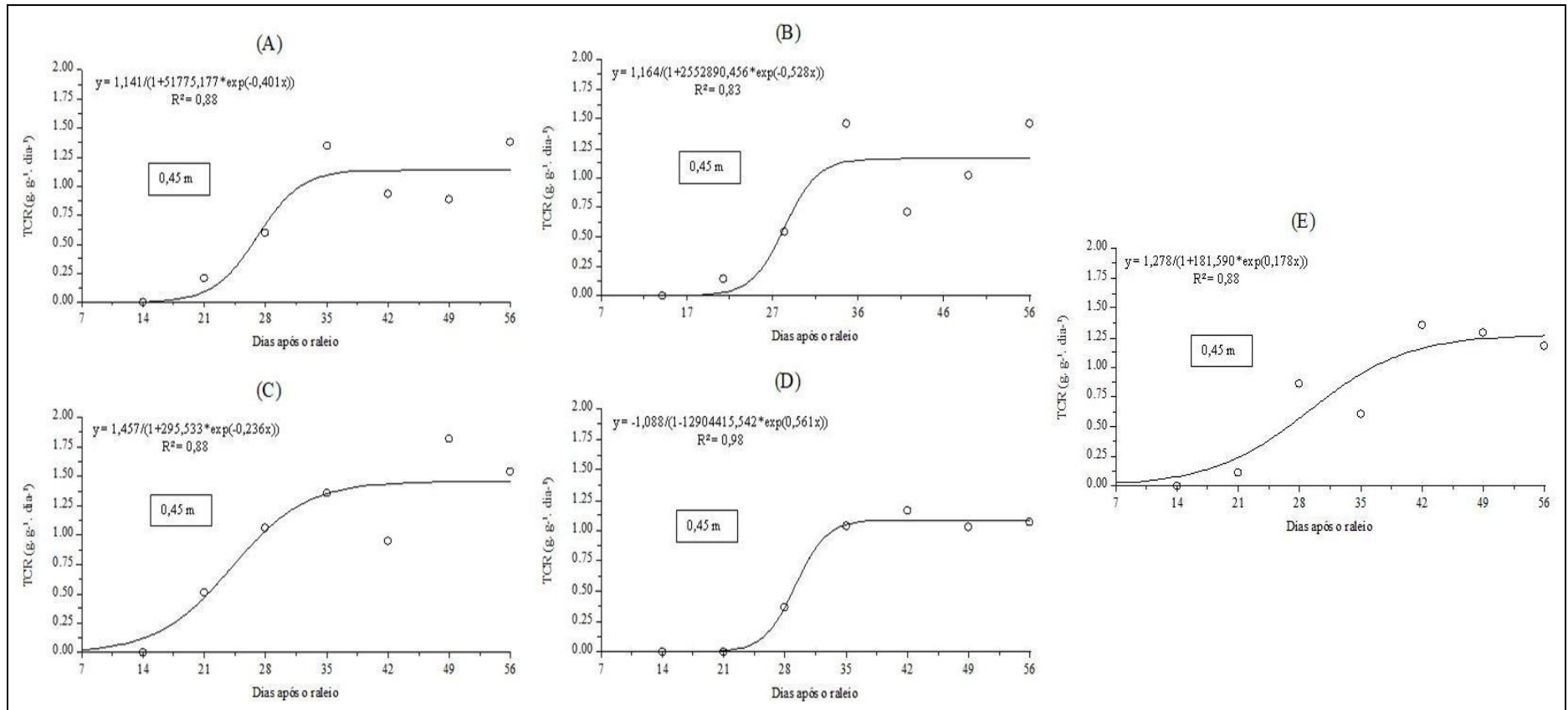
APÊNDICE F - Modelos matemáticos de resposta da razão de peso foliar do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,90 m em cultivo de outono-inverno. Londrina, 2019.



*(A) – 133.000; (B) – 177.000; (C) – 221.000; (D) – 265.000 e (E) 309.000 plantas ha⁻¹.

Fonte: o próprio autor.

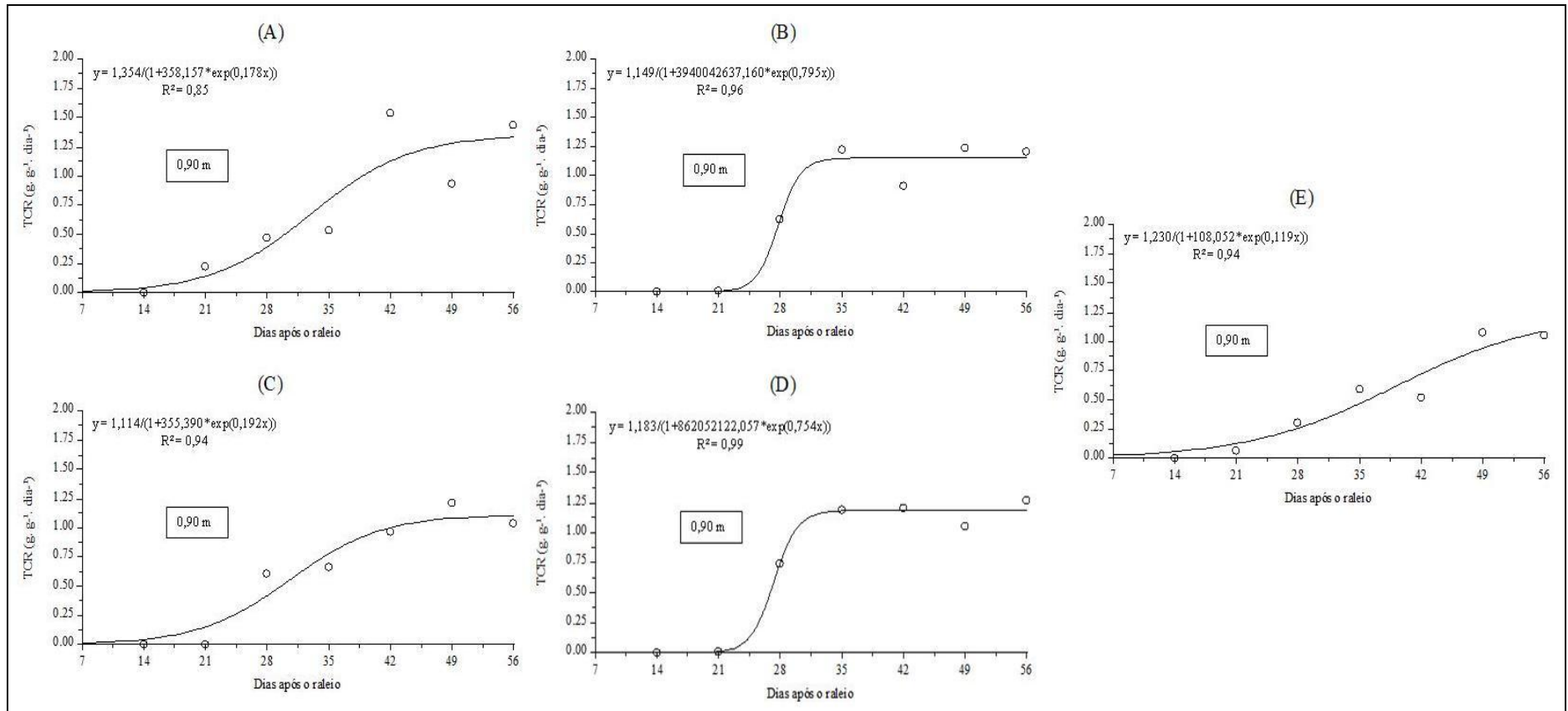
APÊNDICE G - Modelos matemáticos de resposta da taxa de crescimento relativo do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,45 m em cultivo de outono-inverno. Londrina, 2019.



*(A) – 133.000; (B) – 177.000; (C) – 221.000; (D) – 265.000 e (E) 309.000 plantas ha^{-1} .

Fonte: o próprio autor.

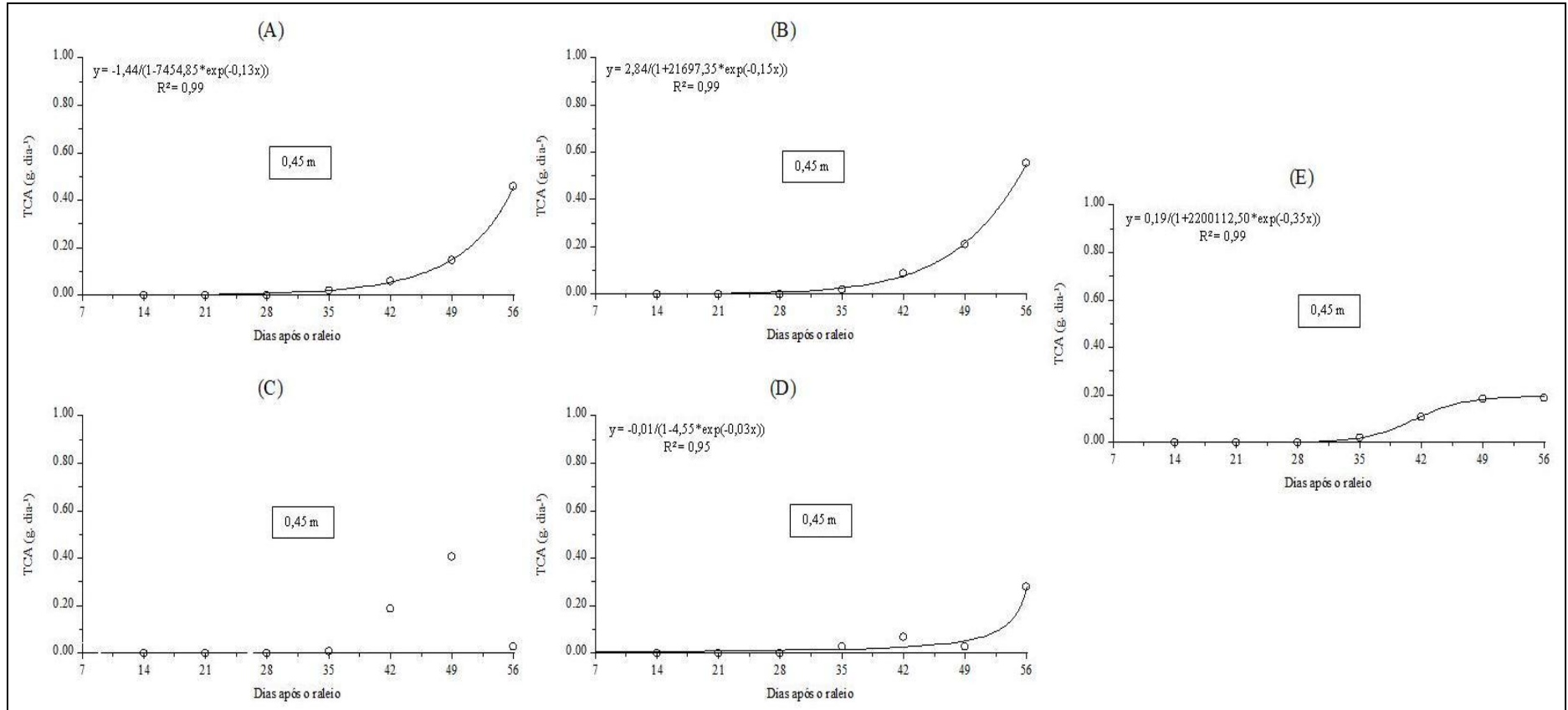
APÊNDICE H - Modelos matemáticos de resposta da taxa de crescimento relativo do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,90 m em cultivo de outono-inverno. Londrina, 2019.



*(A) – 133.000; (B) – 177.000; (C) – 221.000; (D) – 265.000 e (E) 309.000 plantas ha^{-1} .

Fonte: o próprio autor.

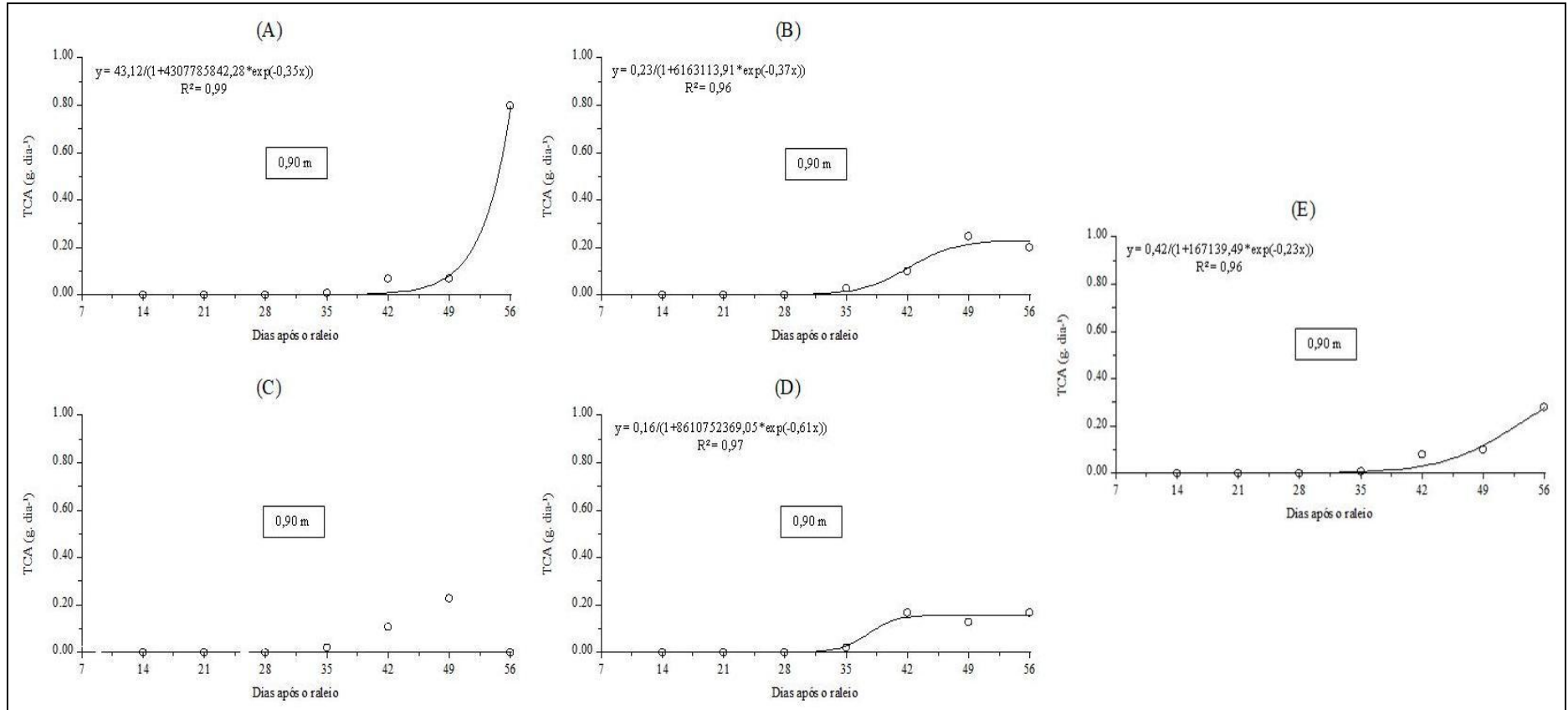
APÊNDICE I - Modelos matemáticos de resposta da taxa de crescimento absoluto das vagens do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,45 m em cultivo de outono-inverno. Londrina, 2019.



*(A) – 133.000; (B) – 177.000; (C) – 221.000; (D) – 265.000 e (E) 309.000 plantas ha⁻¹.

Fonte: o próprio autor.

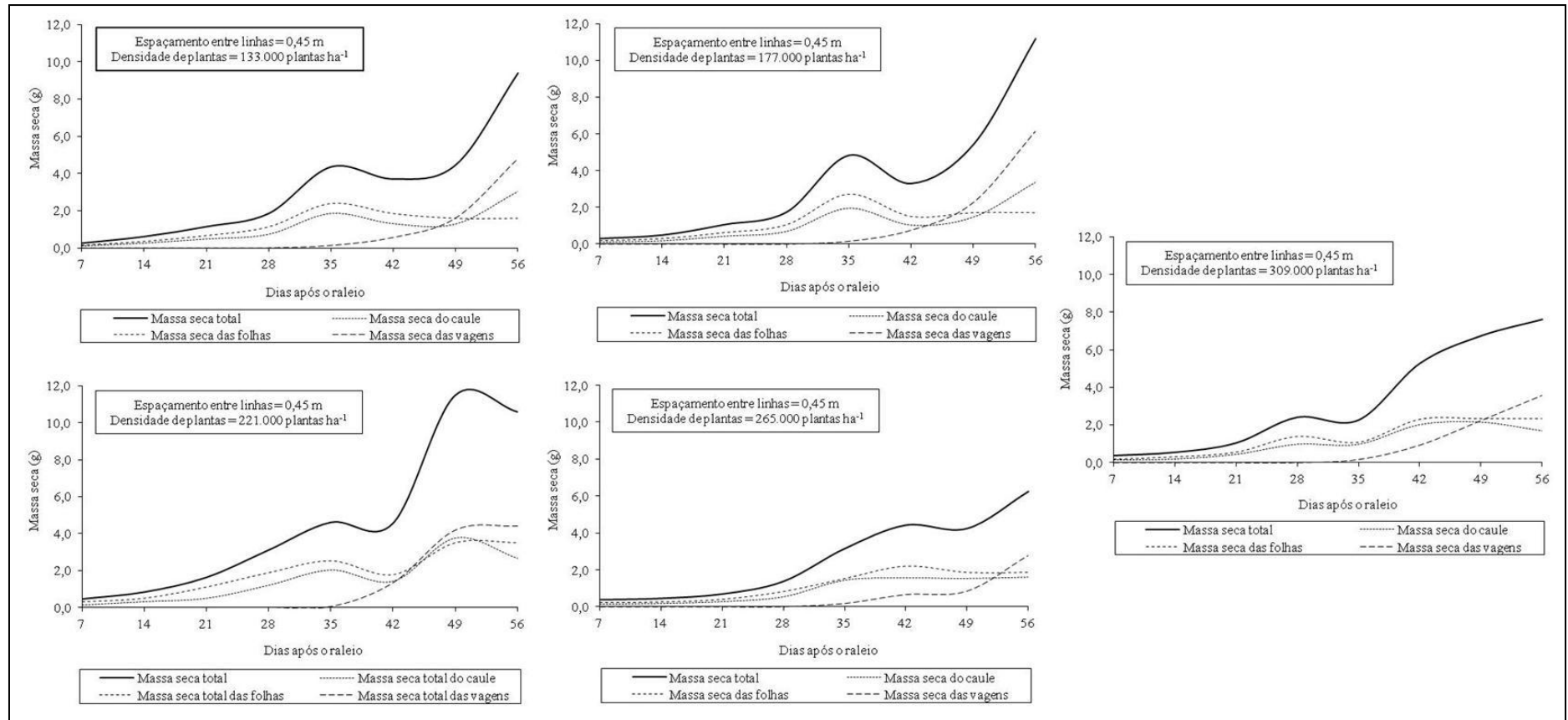
APÊNDICE J - Modelos matemáticos de resposta da taxa de crescimento absoluto das vagens do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,90 m em cultivo de outono-inverno. Londrina, 2019.



*(A) – 133.000; (B) – 177.000; (C) – 221.000; (D) – 265.000 e (E) 309.000 plantas ha⁻¹.

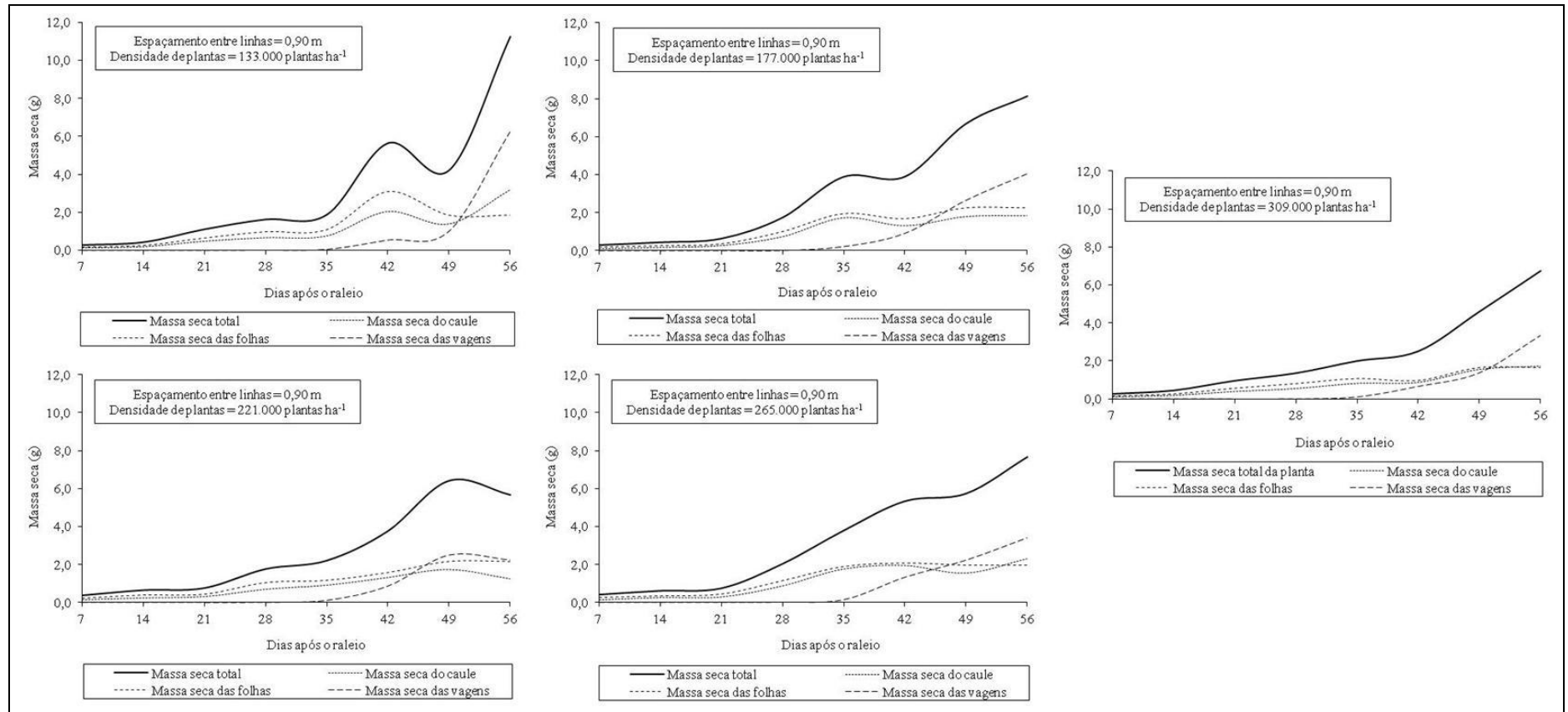
Fonte: o próprio autor.

APÊNDICE K - Modelos de partição de matéria seca do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,45 m em cultivo de outono-inverno. Londrina, 2019.



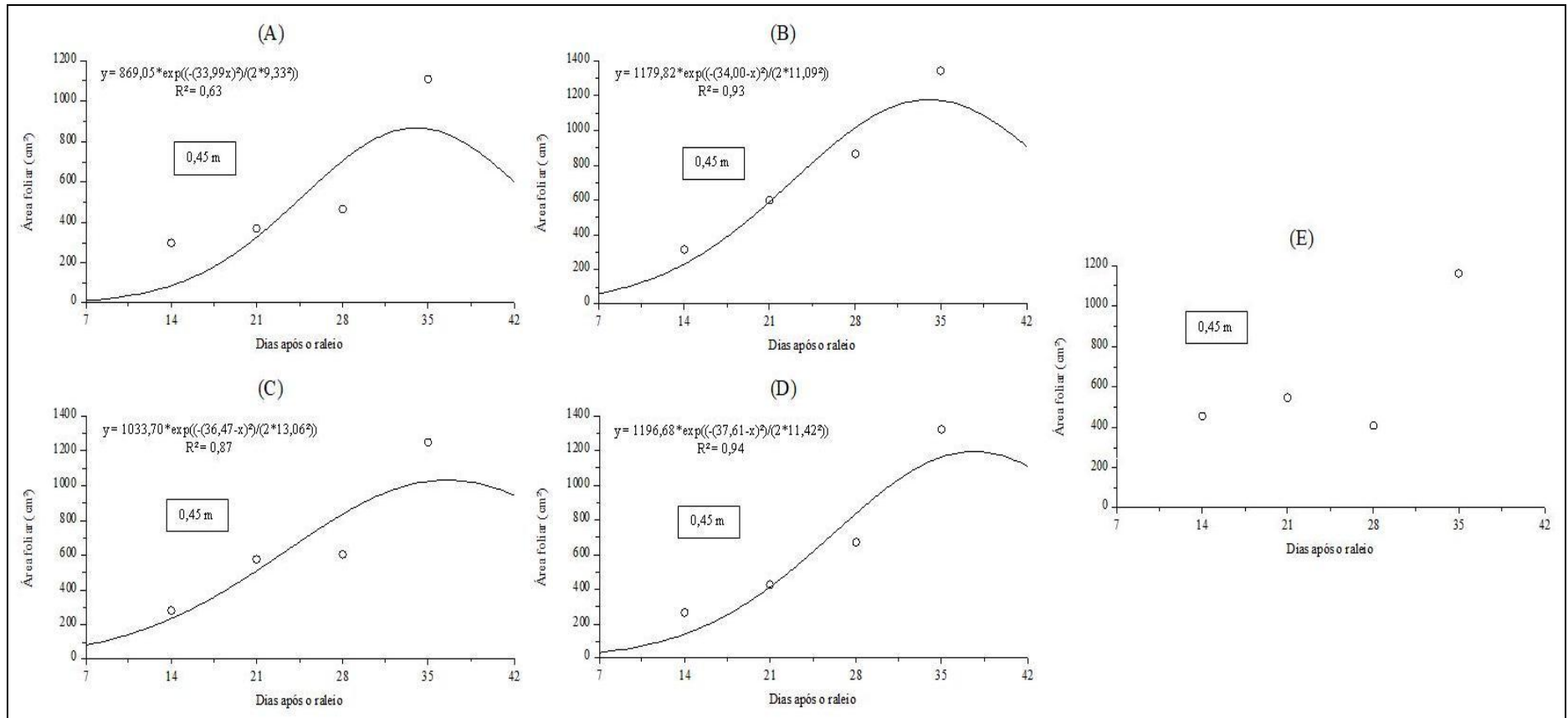
Fonte: o próprio autor.

APÊNDICE L - Modelos de partição de matéria seca do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,90 m em cultivo de outono-inverno. Londrina, 2019.



Fonte: o próprio autor.

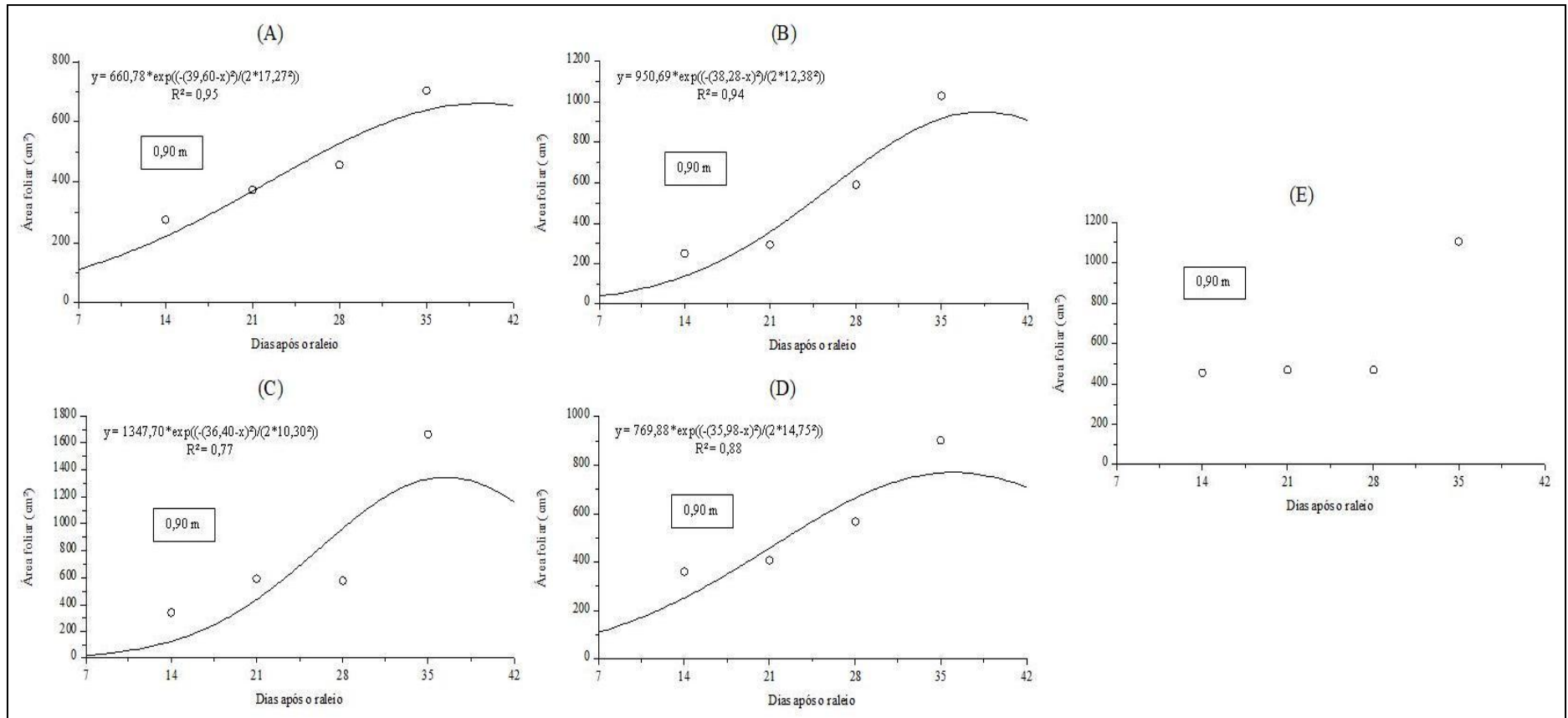
APÊNDICE M - Modelos matemáticos de resposta da área foliar total do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,45 m em cultivo de verão-outono. Londrina, 2019.



*(A) – 133.000; (B) – 177.000; (C) – 221.000; (D) – 265.000 e (E) 309.000 plantas ha⁻¹.

Fonte: o próprio autor.

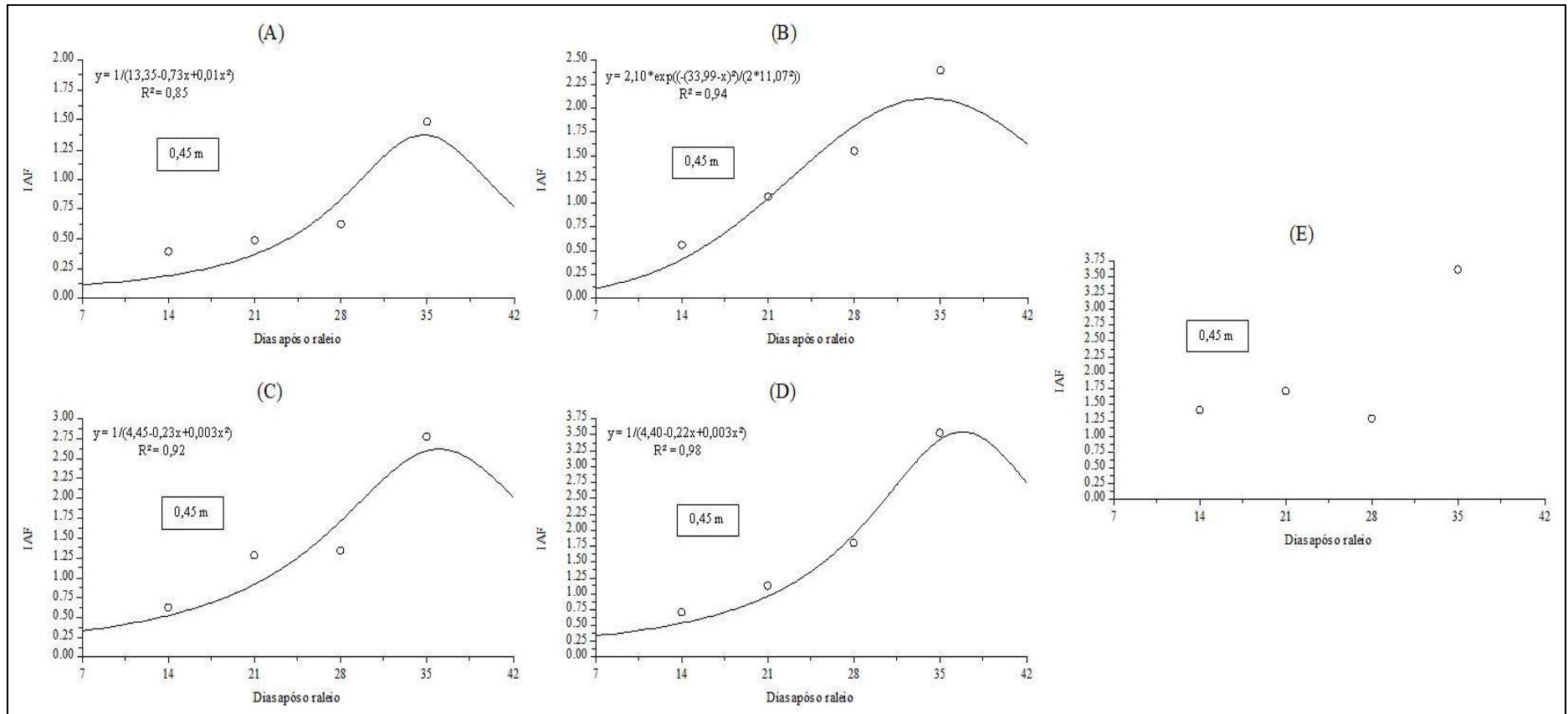
APÊNDICE N - Modelos matemáticos de resposta da área foliar total do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,90 m em cultivo de verão-outono. Londrina, 2019.



*(A) – 133.000; (B) – 177.000; (C) – 221.000; (D) – 265.000 e (E) 309.000 plantas ha⁻¹.

Fonte: o próprio autor.

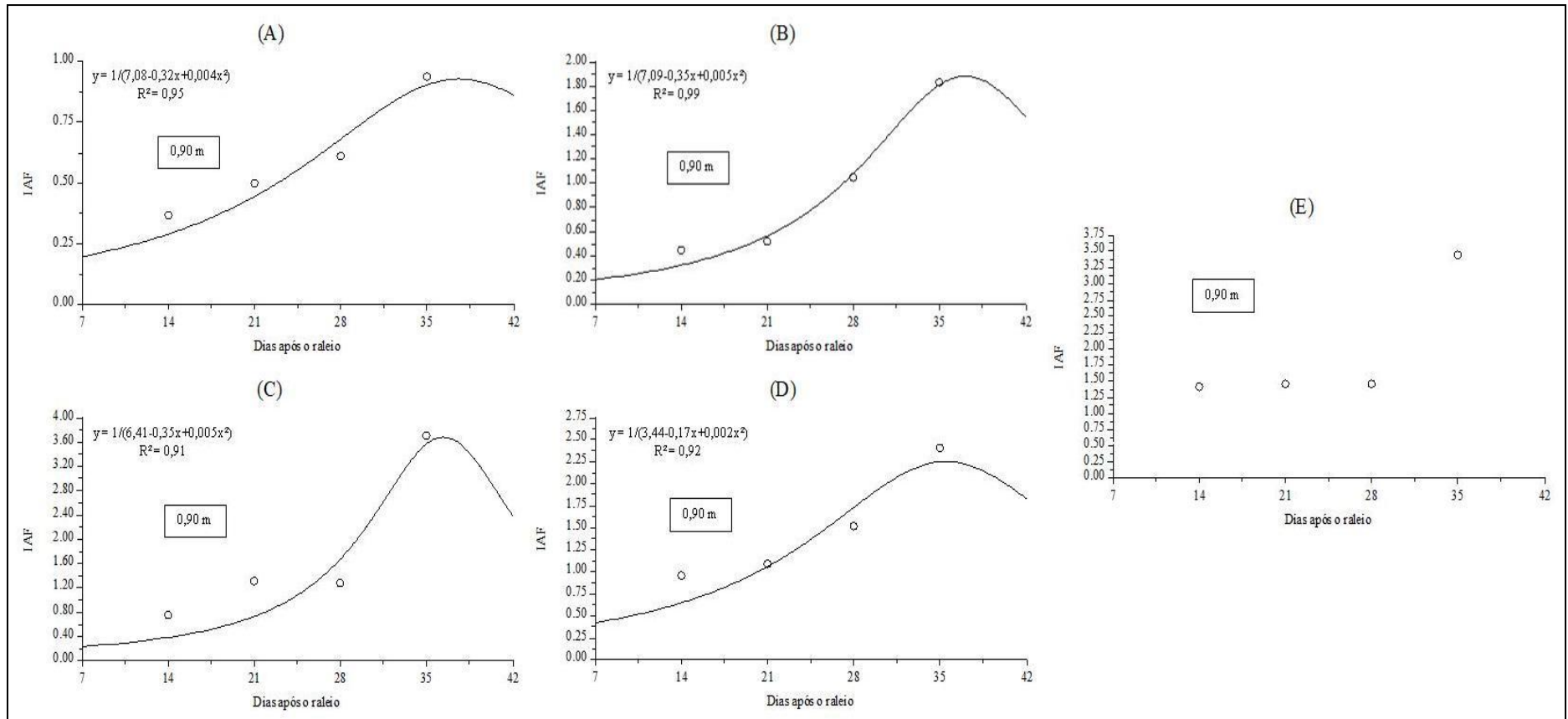
APÊNDICE O - Modelos matemáticos de resposta do índice de área foliar do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,45 m em cultivo de verão-outono. Londrina, 2019.



*(A) – 133.000; (B) – 177.000; (C) – 221.000; (D) – 265.000 e (E) 309.000 plantas ha⁻¹.

Fonte: o próprio autor.

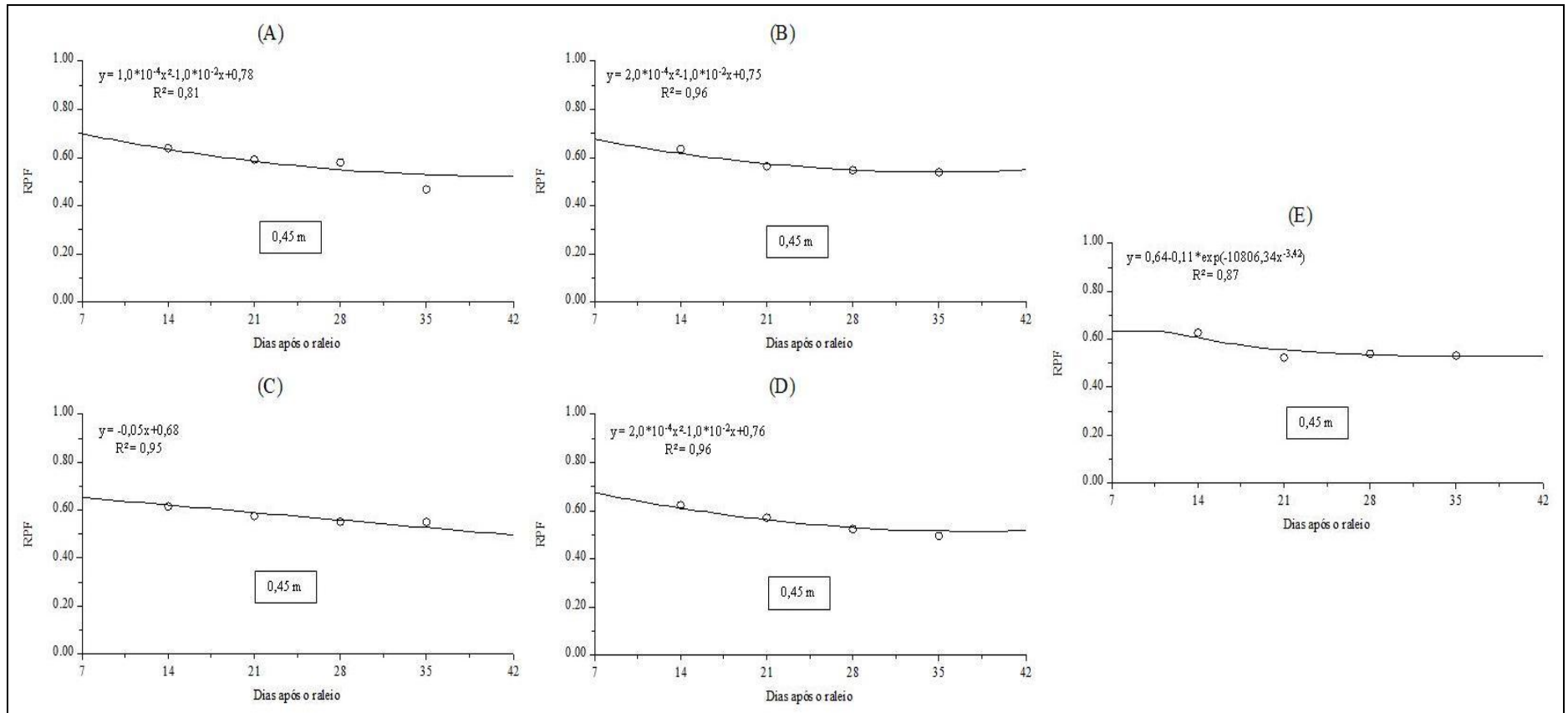
APÊNDICE P - Modelos matemáticos de resposta do índice de área foliar do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,90 m em cultivo de verão-outono. Londrina, 2019.



*(A) – 133.000; (B) – 177.000; (C) – 221.000; (D) – 265.000 e (E) 309.000 plantas ha⁻¹.

Fonte: o próprio autor.

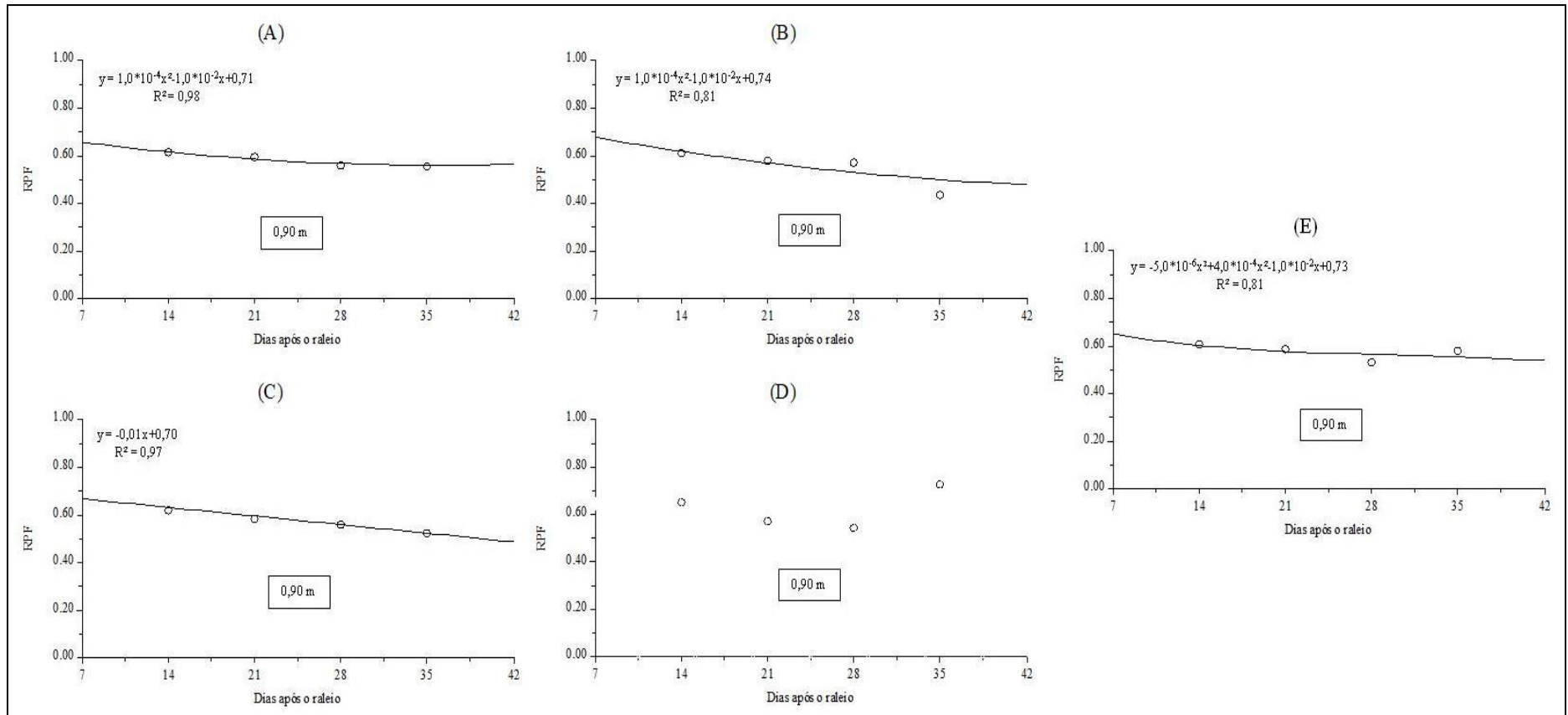
APÊNDICE Q - Modelos matemáticos de resposta da razão de peso foliar do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,45 m em cultivo de verão-outono. Londrina, 2019.



*(A) – 133.000; (B) – 177.000; (C) – 221.000; (D) – 265.000 e (E) 309.000 plantas ha⁻¹.

Fonte: o próprio autor.

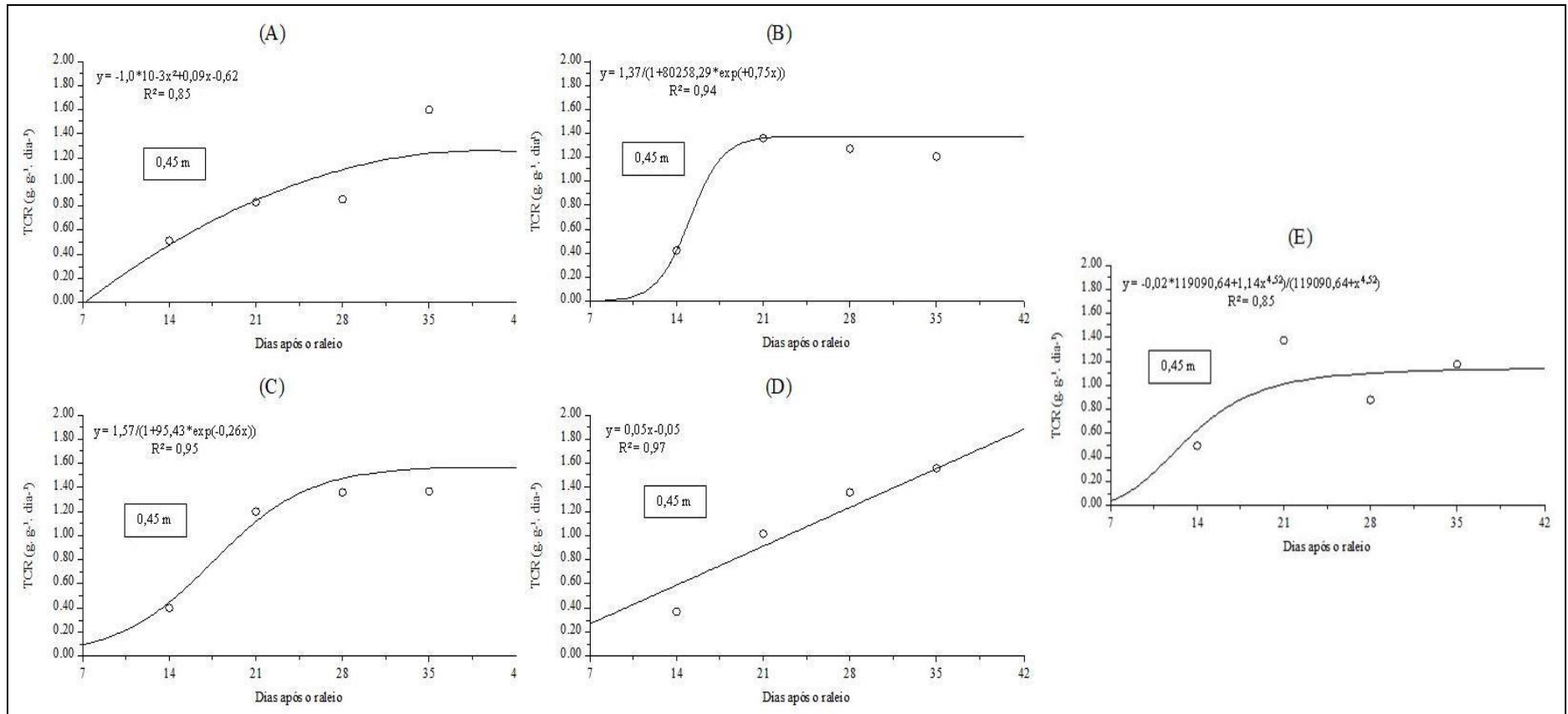
APÊNDICE R - Modelos matemáticos de resposta da razão de peso foliar do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,90 m em cultivo de verão-outono. Londrina, 2019.



*(A) – 133.000; (B) – 177.000; (C) – 221.000; (D) – 265.000 e (E) 309.000 plantas ha⁻¹.

Fonte: o próprio autor.

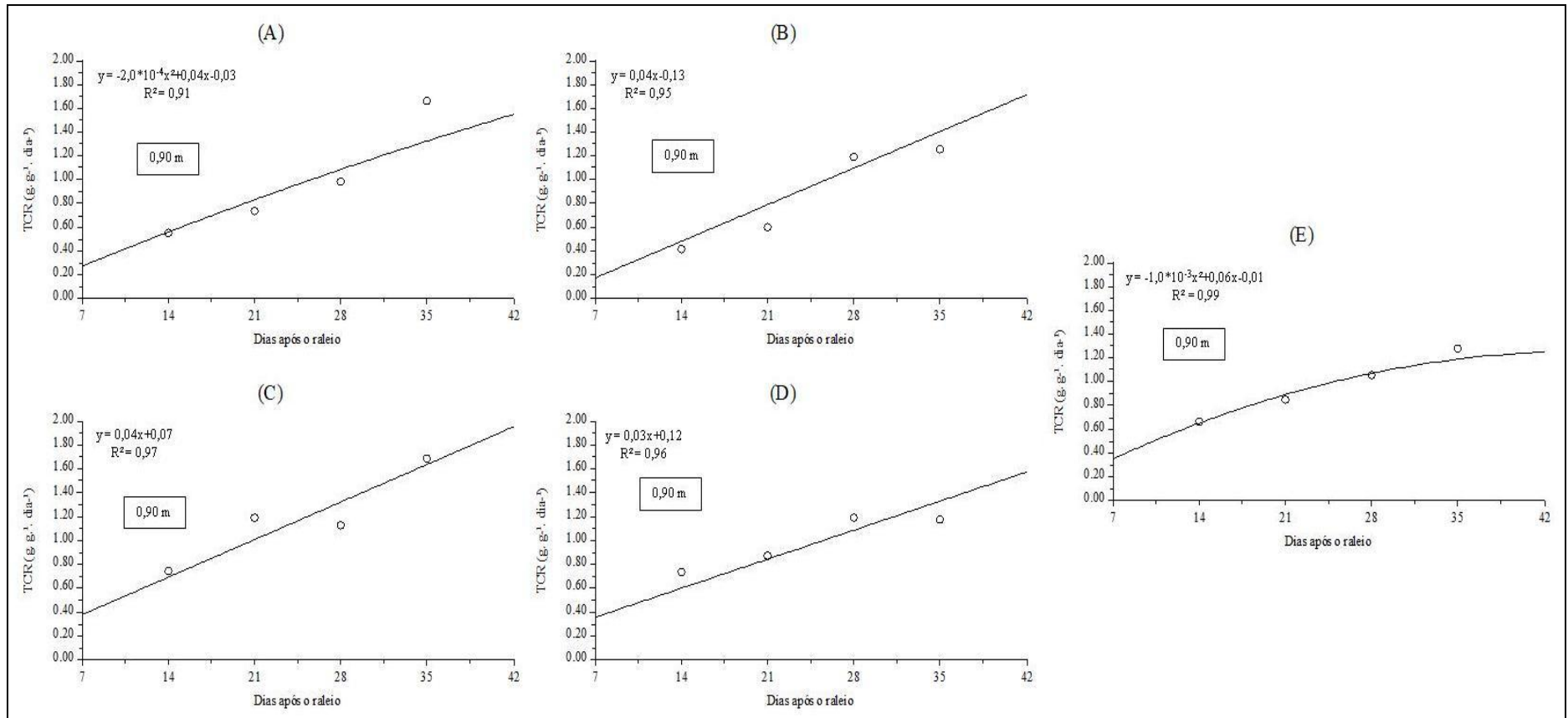
APÊNDICE S - Modelos matemáticos de resposta da taxa de crescimento relativo do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,45 m em cultivo de verão-outono. Londrina, 2019.



*(A) – 133.000; (B) – 177.000; (C) – 221.000; (D) – 265.000 e (E) 309.000 plantas ha^{-1} .

Fonte: o próprio autor.

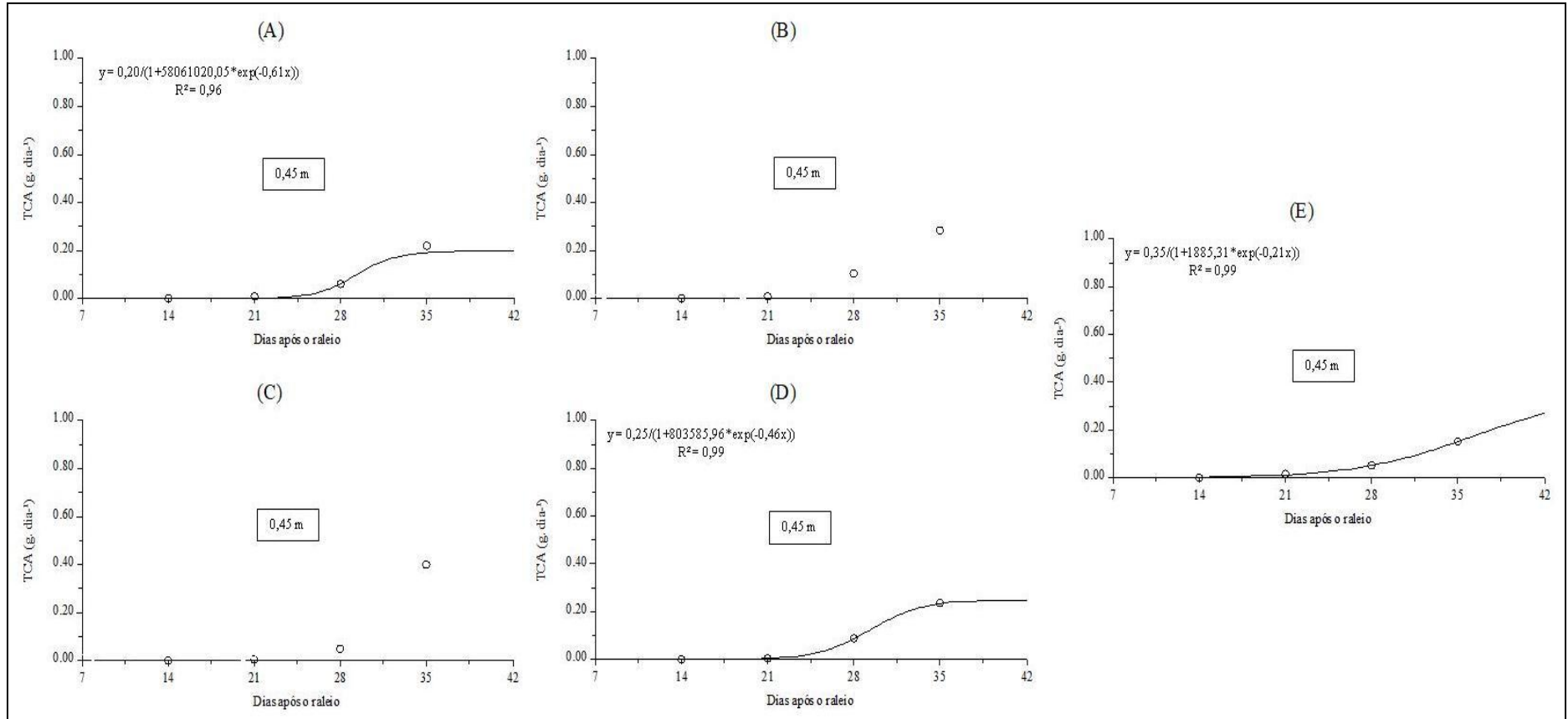
APÊNDICE T - Modelos matemáticos de resposta da taxa de crescimento relativo do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,90 m em cultivo de verão-outono. Londrina, 2019.



*(A) – 133.000; (B) – 177.000; (C) – 221.000; (D) – 265.000 e (E) 309.000 plantas ha^{-1} .

Fonte: o próprio autor.

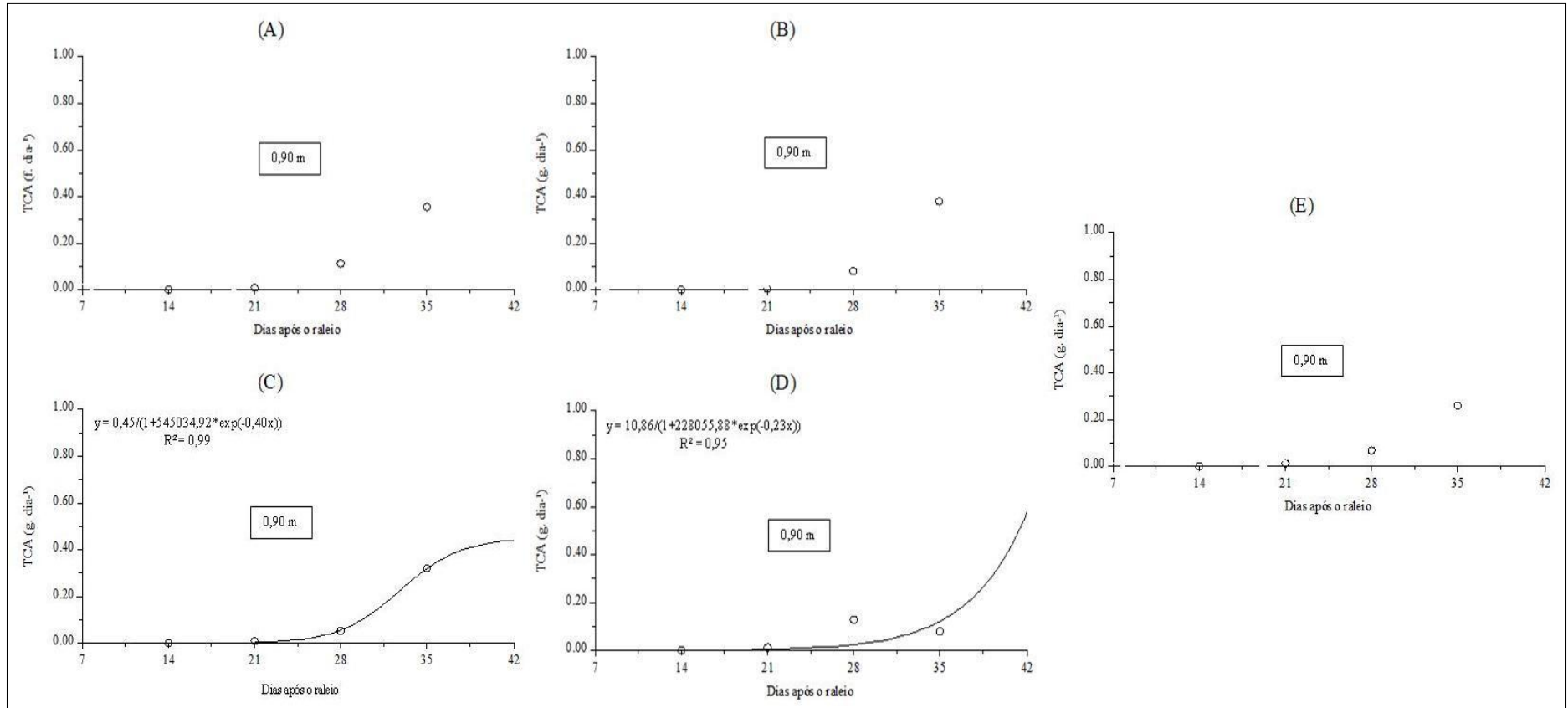
APÊNDICE U - Modelos matemáticos de resposta da taxa de crescimento absoluto das vagens do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,45 m em cultivo de verão-outono. Londrina, 2019.



*(A) – 133.000; (B) – 177.000; (C) – 221.000; (D) – 265.000 e (E) 309.000 plantas ha⁻¹.

Fonte: o próprio autor.

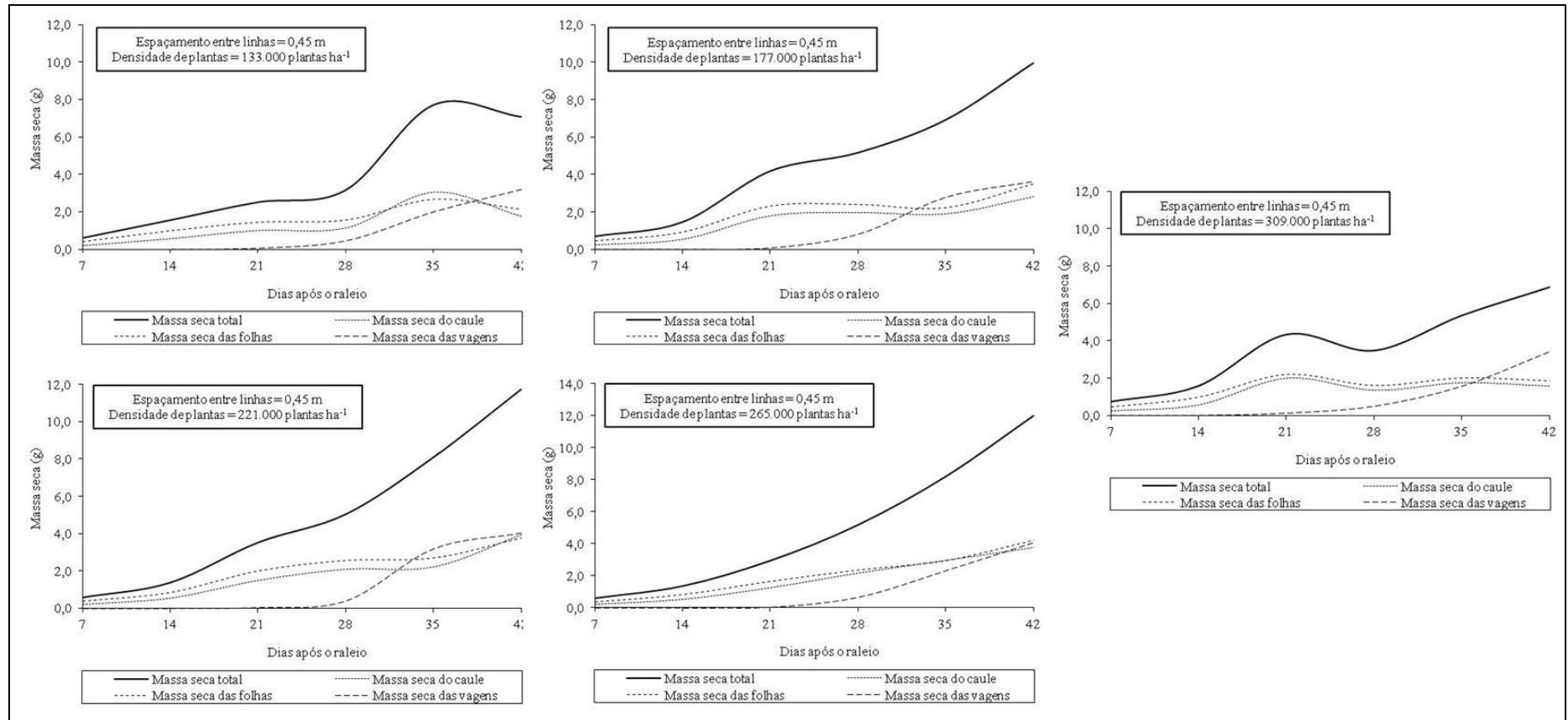
APÊNDICE V - Modelos matemáticos de resposta da taxa de crescimento absoluto das vagens do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,90 m em cultivo de verão-outono. Londrina, 2019.



*(A) – 133.000; (B) – 177.000; (C) – 221.000; (D) – 265.000 e (E) 309.000 plantas ha⁻¹.

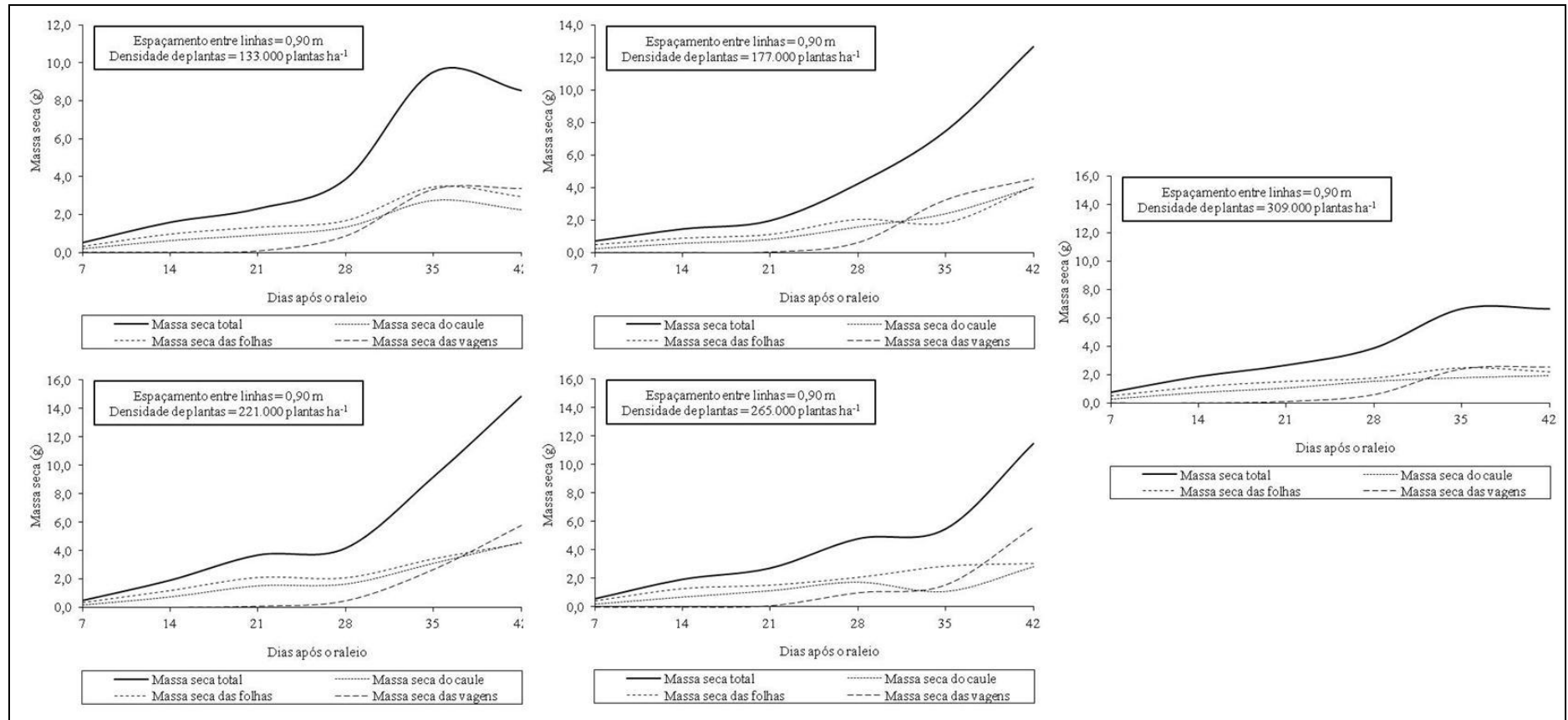
Fonte: o próprio autor.

APÊNDICE W - Modelos de partição de matéria seca do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,45 m em cultivo de verão-outono. Londrina, 2019.



Fonte: o próprio autor.

APÊNDICE X - Modelos de partição de matéria seca do feijão-vagem em função da densidade de plantas e do período de avaliação após o raleio, no espaçamento entre linhas de 0,90 m em cultivo de verão-outono. Londrina, 2019.



Fonte: o próprio autor.