



RICARDO ANDRADE PINTO JÚNIOR

**CONTROLE GENÉTICO DO ÍNDICE DE
COLHEITA NO FEIJOEIRO**

**LAVRAS – MG
2016**

RICARDO ANDRADE PINTO JÚNIOR

CONTROLE GENÉTICO DO ÍNDICE DE COLHEITA NO FELJOEIRO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador
Dr. Magno Antonio Patto Ramalho

LAVRAS-MG
2016

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Pinto Junior, Ricardo Andrade.

Controle Genético do Índice de Colheita no Feijoeiro /
Ricardo Andrade Pinto Junior. – Lavras : UFLA, 2016.
49 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de
Lavras, 2016.

Orientador(a): Magno Antonio Patto Ramalho.
Bibliografia.

1. Genética quantitativa. 2. Melhoramento do Feijoeiro. 3.
Índice de Colheita. 4. Controle Genético. 5. Matéria Seca. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

RICARDO ANDRADE PINTO JÚNIOR

CONTROLE GENÉTICO DO ÍNDICE DE COLHEITA NO FEIJOEIRO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 23 de março de 2016

Dra. Ângela de Fátima Abreu

EMBRAPA

Dra. Aurinelza Batista Teixeira Condé

EPAMIG

Dr. Magno Antonio Patto Ramalho
Orientador

LAVRAS-MG
2016

AGRADECIMENTOS

A Deus por todas as oportunidades oferecidas em toda minha vida, por sempre me confortar nas horas mais difíceis.

Aos meus pais, Ricardo e Luzia, e a minha irmã Cristiane pelo apoio, incentivo, aconselhamentos e companheirismo, amo vocês.

A minha namorada Francielly que além do companheirismo, sempre me deu amor e carinho, a todos os momentos alegres e românticos que passamos juntos nesse período de tanta cobrança, e que com sua sabia percepção de sentimentos que só as mulheres tem me ajudou e apoiou, te amo muito.

Ao professor Magno pelas inúmeras oportunidades oferecidas em 6 anos de convivência, ensinamentos, liderança e coorientação dedicados a mim e a esse trabalho, também ao exemplo de pessoa e profissional que sempre se mostrou, lembrarei dos seus conselhos sempre.

À Ângela pelo apoio, confiança e aconselhamentos, principalmente a calma, serenidade e disposição em sempre me ajudar desde a graduação.

Ao amigos Emanuel, Thaise, Gustavo (Vava) que contribuíram de forma direta para o trabalho ajudando a realizá-lo, mas também mesmo nas horas vagas estavam sempre dispostos a proporcionarem momentos agradáveis de alegria, descontração e lazer.

Em especial aos amigos e colegas de trabalho do “Feijão”, que em finais de semana, feriados, “dias santos” e até a noite ajudaram diretamente para realizar este trabalho, foram horários de trabalho que apesar de incomuns foram necessários mais que se tornaram muito prazerosos e principalmente alegres, principalmente na hora dos lanches, levarei todos na memória e no coração.

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas pela oportunidade.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pela concessão de bolsa de estudos.

Para todos os colegas do mestrado e funcionários do departamento de biologia, que contribuíram de forma imprescindível para a minha vida acadêmica.

RESUMO

O índice de colheita (IC) isto é, a proporção de matéria seca dos grãos e da matéria seca total da planta, é uma medida de eficiência biológica. Esse índice é influenciado por inúmeros fatores, mas espera-se que ele seja maior nas cultivares mais recentemente obtidas. Esse trabalho teve como objetivo verificar se o IC é maior nas cultivares mais modernas, se sua estimativa varia com o ciclo da planta, o pool gênico de origem da cultivar e com as condições ambientais. Adicionalmente obter informações a respeito do controle genético do IC, por meio de cruzamento dialélicos, de linhagens com ampla variação na origem e outras características. Para isso foi realizado um dialelo completo sem considerar os recíprocos, utilizando seis linhagens. Os 21 tratamentos foram avaliados em três safras/gerações - F₂, F₃ e F₄ – durante o ano de 2015. O delineamento experimental utilizado foi o blocos casualizados com quatro repetições. A parcela era constituída de 3 linhas com 4 m. Na linha central foi colocado um receptáculo de tela de 1 m de comprimento, visando coletar as folhas, vagens e outras partes da planta que caíam antes da colheita. A coleta do material vegetal que caía, era feita a cada três dias, após o florescimento, no fundo do receptáculo. Os caracteres avaliados foram: matéria seca total das plantas, número de dias para o florescimento, a produtividade de grãos por planta (PG) e o IC. Os dados de IC e PG foram submetidos a análise de variância conjunta. Utilizando as médias procedeu-se a análise dialélica por geração e conjunta utilizando a metodologia de Griffing, (1956). O IC foi maior nas cultivares modernas e também na safra cuja semeadura foi realizada em fevereiro. Para a PG a capacidade geral de combinação (CGC) explicou a maior parte da variação, indicando a predominância de efeitos aditivos. Já para o IC a heterose foi negativa permitindo inferir que ocorre dominância no sentido de reduzir a expressão do caráter. Os genitores diferiram na CGC para IC e PG. As cultivares mais modernas estiveram entre as de maior CGC para ambos os caracteres.

Palavras-chave: Melhoramento de Plantas, Genética Quantitativa, Eficiência Fisiológica.

ABSTRACT

The harvest index (IC), the proportion of grain dry matter and total plant dry matter weight, is a measure of biological efficiency. This index is influenced by numerous factors, but it is expected to be higher in the cultivars more recent obtained. This study aimed to verify if IC is higher in modern cultivars, if its estimate varies with the plant cycle, the origin gene pool of the cultivar and environmental conditions. Additionally, get information about the IC genetic control, through diallel crossing, from lines with wide variations in origin and other characteristics. For this, was performed a complete diallel without considering the reciprocal, using six lines. The 21 treatments were evaluated in three harvests/generations - F₂, F₃ and F₄ - during 2015. The experimental design was a randomized block with four replications. The plot consisted of 3 lines with 4 m. In the central line was placed a screen receptacle 1 m long aimed to collect leaves, pods and other plant parts falling before harvest. The collection of the falling plant material was made every three days, after flowering, on the receptacle bottom. The characters evaluated were: plant total dry matter, number of days to flowering, grain yield per plant (PG) and IC. The IC data and PG were subjected to analysis of variance. Using the means, proceeded the diallel analysis per generation and combined using the methodology Griffing, (1956). The IC was greater in modern cultivars and also in crop whose seeds were sown in February. For PG general combining capacity (GCG) explained most of the variation, indicating the predominance of additive effects. As for IC the heterosis was negative leading to infer that occur dominance to reduce the character expression. The parents differed in CGC for IC and PG. The most modern cultivars were among the highest CGC for both characters.

Keywords: Plant Breeding, Quantitative Genetics, Physiological Efficiency.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	Crescimento e Desenvolvimento do Feijoeiro	11
2.2	Épocas de Semeadura do Feijoeiro	13
2.3	Acúmulo de Matéria Seca no Feijoeiro	14
2.5	Cruzamentos Dialélicos	16
3	MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1	Localização do experimento	19
3.2	Genitores	19
3.3	Obtenção dos Híbridos	20
3.4	Avaliação das Populações Segregantes e Genitores	20
4	RESULTADOS	24
5	DISCUSSÃO	35
5	CONCLUSÃO	40
	REFERÊNCIAS	41
	ANEXO	48

1 INTRODUÇÃO

O feijoeiro no Brasil é cultivado nas mais diversas condições edafoclimáticas e de manejo. Sendo cultivado por agricultores tipicamente de subsistência com quase nenhum emprego de tecnologia e até grandes empresários rurais que utilizam de todas as tecnologias disponíveis.

A produtividade de grãos por área na cultura do feijoeiro vem crescendo nos últimos anos apesar da área cultivada ter tido acentuada redução (CONAB, 2015). Um dos fatores que contribuíram expressivamente para o crescimento em produtividade foi o emprego de cultivares melhoradas (Vencovsky; Ramalho, 2000).

O que se questiona é quais foram as alterações nas plantas que contribuíram para essa maior eficiência. Um dos fatores que deve ter contribuído, mas que é muito pouco pesquisado é o índice de colheita (IC), ou seja, a relação entre a matéria seca dos grãos e a matéria seca total. É esperado que cultivares mais modernas apresentem maior IC. Esse fato foi comprovado em outras espécies como o milho (Echarte et al., 2013) e arroz (Li et al., 2012), contudo não se tem informação com a cultura do feijoeiro a esse respeito.

Dependendo das condições ambientais, especialmente temperatura e alta umidade, é esperado que as plantas possam desenvolver vegetativamente em detrimento da reprodução, sobretudo para vencer a competição com as plantas vizinhas. Como o feijoeiro em muitas regiões do Brasil é semeado em três épocas bem distintas, em termos de condições ambientais é esperado que ocorra variação no IC entre as épocas. Infelizmente também não foi encontrado nenhum relato a esse respeito.

As cultivares de feijão variam amplamente quanto à duração do ciclo reprodutivo e vegetativo, no hábito de crescimento, no tamanho dos grãos e

outros caracteres morfológicos (Ribeiro, et al, 1980). Essas diferenças provavelmente também afetam o IC, porém não há informações disponíveis.

Não é suficiente apenas verificar que ocorre variação no IC entre as linhagens, é necessário ter informações do controle genético e verificar se esse controle varia de acordo com as condições ambientais. Nesse caso também não foi encontrado nenhum relato com a cultura do feijoeiro, ou outra espécie, a respeito do controle genético do IC.

Do exposto, o objetivo desse trabalho foi verificar se o IC é maior nas cultivares mais modernas, se sua estimativa varia com o ciclo da linhagem, o pool gênico de origem e com as condições ambientais. Adicionalmente obter informações a respeito do controle genético do IC, por meio de cruzamento dialélico de linhagens com ampla variação na época de obtenção, ciclo, tamanho dos grãos e outros caracteres morfológicos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Crescimento e Desenvolvimento do Feijoeiro

O crescimento e desenvolvimento da planta de feijão é dividido basicamente em fase vegetativa e reprodutiva. A fase vegetativa tem início no momento em que a semente dispõe de condições favoráveis para germinar, e termina quando aparecem os primeiros botões florais. Assim inicia-se a fase reprodutiva que termina quando o grão alcança o grau de maturação necessário para o início da colheita. Em cultivares de hábito indeterminado mesmo estando na fase reprodutiva, a planta continua a produzir estruturas vegetativas, mas em menor intensidade (CIAT, 1986).

Nas fases vegetativa e reprodutiva são identificadas 10 etapas (Tabela 1) bem definidas de desenvolvimento, formando uma escala (Figura 1).

Germinação	Emergência	Folhas Primárias	1a Folha trifoliada	3a Folha trifoliada	Pré-floração	Floração	Formação de vagens	Enchimento de vagens	Maturação
V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8	R9
FASE VEGETATIVA					Formação de estruturas vegetativas				
					FASE REPRODUTIVA				
Semeadura					1º Botão floral ou 1º rácemo			(maturação de colheita)	

Figura 1: Escala de desenvolvimento de uma planta de feijão.
Fonte: CIAT (1986)

Tabela 1: Estádios de desenvolvimento do feijoeiro (CIAT, 1986).

ESTÁDIO ^a	DESCRIÇÃO ^b
V0	Germinação: absorção de água pela semente; emissão da radícula e sua transformação em raiz primária.
V1	Emergência: os cotilédones aparecem ao nível do solo, separam-se e o epicótilo começa seu desenvolvimento.
V2	Folhas primárias: folhas primárias totalmente abertas.
V3	Primeira folha trifoliolada: abertura da primeira folha trifoliolada e aparecimento da segunda folha trifoliolada.
V4	Terceira folha trifoliolada: abertura da terceira folha trifoliolada e formação de ramos nas gemas dos nós inferiores.
R5	Pré-floração: aparecimento do primeiro botão floral e do primeiro rácemo. Os botões florais das cultivares determinadas se formam no último nó do talo e do ramo. Nas cultivares indeterminadas os rácemos aparecem primeiro nos nós mais baixos.
R6	Floração: abertura da primeira flor.
R7	Formação das vagens: aparecimento da primeira vagem até apresentar 2,5 cm de comprimento.
R8	Enchimento das vagens: início do enchimento da primeira vagem (crescimento da semente). Ao final do estágio, as sementes perdem a cor verde e começam a mostrar as características da cultivar. Início da desfolhação.
R9	Maturação fisiológica: as vagens perdem sua pigmentação e começam a secar. As sementes desenvolvem a cor típica da cultivar.

^a V: Vegetativa; R: Reprodutiva

^b Cada etapa inicia quando 50% das plantas apresentam as condições relativas ao estágio.

2.2 Épocas de Semeadura do Feijoeiro

O máximo potencial de rendimento de grãos das culturas depende de fatores genéticos e de condições favoráveis de ambiente e de manejo (Bugbee; Salisbury, 1988; Evans; Fischer, 1999). Em Minas Gerais, o feijão pode ser semeado praticamente durante todo o ano. Sendo denominado de cultivo primavera-verão (ou plantio da primavera); cultivo de verão-outono (ou plantio de verão); cultivo de outono-inverno (ou plantio de outono); e cultivo de inverno-primavera (Vieira; Paula Júnior; Borém, 2014).

No cultivo de Primavera-Verão também denominado safra “das águas”, evidentemente, normalmente não há problemas com disponibilidade hídrica. Muito pelo contrário, o excesso de precipitação pode contribuir para grandes perdas, especialmente quando essa ocorre no momento da colheita. Nessa época existe a tendência do feijão vegetar excessivamente.

Cultivo de Verão-Outono é a semeadura da “seca”. A precipitação pode ser fator limitante à cultura, principalmente nos primeiros estádios da cultura, devido aos baixos índices pluviométricos. A grande vantagem do feijão semeado no verão é que a colheita ocorre em época praticamente livre de chuvas, dando ao produto colhido excelente qualidade. Alguns médios e grandes produtores, que utilizam mais tecnologias de cultivo, como a irrigação complementar, têm cultivado o feijoeiro nessa época, com excelentes resultados.

No cultivo de outono/inverno, a cultura tem que ser irrigada, especialmente nas primeiras fases do cultivo. Essa safra é preferida pelos grandes produtores, embora exija elevados investimentos, a produção é garantida, a cultura se torna menos dependente de fatores climáticos.

O cultivo de Inverno-Primavera é feito nessa época com o objetivo de escapar dos rigores do frio durante o estágio reprodutivo, pois a maioria das cultivares utilizadas em Minas Gerais, quando submetidas à baixa temperatura,

podem demorar até 15 dias para germinar, provocando, com isso, o aumento do período até chegar à colheita.

Depreende-se que deve ocorrer variação no desenvolvimento vegetativo da planta em função da época de semeadura. Neste contexto ainda não foram feitos estudos específicos correlacionando a época de semeadura com o acúmulo de matéria seca na planta. Mas pode-se inferir algumas hipóteses a respeito. O principal fator influenciado pelas diferentes condições nas diferentes épocas do ano é a distribuição de fotoassimilados para o enchimento de grãos. Na safra das águas, por exemplo, ocorre alta disponibilidade de água, incidência de luz e temperatura em condições ideais. Assim, como ocorrem condições ideais para a planta se desenvolver, há desenvolvimento vegetativo excessivo, o que desfavorece o rendimento total de grãos em relação ao peso da planta, ou seja, apresenta uma diminuição do índice de colheita (IC). Já na safra da seca, condições de menor temperatura e umidade relativa baixa, acarretam em desenvolvimento lento da cultura. Apesar de ocorrer um menor crescimento vegetativo e uma produção menor em relação à safra das águas, espera-se que o IC seja afetado, pois a planta tem um baixo desenvolvimento vegetativo. Na safra de outono/inverno os baixos índices pluviométricos nos primeiros estádios de desenvolvimento da cultura interferem negativamente no acúmulo de fotoassimilados.

2.3 Acúmulo de Matéria Seca no Feijoeiro

Vários fatores exercem influência significativa na acumulação de matéria seca (MS) na planta: área foliar, teor de clorofila, grau de reflexão da luz (albedo), arquitetura foliar da cultivar, intensidade e qualidade da luz incidente, dinâmica das trocas gasosas, disponibilidade de água no solo, espaçamento das plantas e tipo de grão (Pimenta; Dourado Neto, 1999; Didonet; Costa, 2004;

Andrade; Lucca; Martorelli, 2009;). Entretanto, cultivares com características semelhantes (produção, tipo de grão, porte, ciclo, etc.), de modo geral, tendem a acumular matéria seca em quantidades semelhantes (Andrade et al., 1975; Mehla; Singh, 1980).

A taxa de acúmulo de matéria seca é sequencial, modificando-se conforme o estágio de crescimento da planta. No início, folhas e raízes são drenos preferenciais; por certo período, os caules assumem relevância e, a partir do florescimento, com o aparecimento das vagens, estas passam a ser os drenos preferenciais (Lopes; Carvalho, 1988).

O acúmulo de matéria seca (MS) ocorre ao longo de todo o ciclo, chegando à colheita com maior quantidade de biomassa. Esse acúmulo de MS no feijoeiro apresenta comportamento padrão. As hastes acumulam MS até a floração, quando estabiliza. As folhas iniciam o ciclo suavemente, acumulando de forma aguda até a fase de enchimento de grãos; após essa fase, inicia-se o processo de desfolha, causando decréscimo no acúmulo. Os órgãos reprodutivos, flores e vagens, acumulam MS até o final do ciclo da cultura. Os grãos sofrem acúmulo acentuado desde o seu surgimento até a colheita (Bulisani, 1994; Vieira, 2006).

2.4 Índice de Colheita

O índice de colheita (IC) que é razão entre rendimento de grãos e matéria seca total da planta é obtido pela expressão:

$$IC = \frac{\text{Massa seca total de grãos}}{\text{Massa seca total da planta}}$$

O IC é utilizado como uma medida de eficiência da planta, isto é, qual a proporção dos fotoassimilados foi direcionada aos grãos. Os aumentos expressivos na produção de grãos nos últimos 50 anos são atribuídos a uma série de fatores, mas o aumento no índice de colheita das culturas pode ser considerado um dos mais importantes para o acréscimo na produção de grãos (Sinclair, 1998).

Normalmente na matéria seca total da planta o sistema radicular não é avaliado e, portanto, o denominador da expressão envolve apenas a matéria seca da parte aérea. Uma descrição detalhada a respeito do IC é apresentada por Donald e Hamblin (1976).

O IC varia entre as espécies e entre cultivares dentro das espécies. No caso do milho, por exemplo, com IC de 0,60 (Magalhães, 2009) e soja 0,35 (Braga, 1983). No caso do feijoeiro os índices de colheita obtidos foram em pequeno número e envolvendo cultivares mais antigas. Ele variou de 0,4 a 0,6 (Zimmermann et al. 1984; White, 1985).

Estudos têm mostrado que o IC de uma cultura é altamente influenciado pela densidade de semeadura, disponibilidade de água, nutrientes e temperatura (Duarte; Melo Filho; Santos, 2013). Quanto maior o IC indica maior direcionamento e aproveitamento de fotoassimilados para o rendimento de grãos. Baixos índices podem indicar uma má adaptação ao ambiente (Kawano, 1990).

2.5 Cruzamentos Dialélicos

Os cruzamentos dialélicos correspondem ao intercruzamento de “p” genitores, dois a dois. Eles podem ser de diferentes tipos (Ramalho et al., 2012):

a) Dialelos completos ou balanceados: produzindo $p(p-1)/2$ híbridos, sem os cruzamentos recíprocos;

b) Dialelos parciais: envolve dois grupos de genitores distintos e seus respectivos cruzamentos;

c) Dialelo circulante: os genitores são representados pelo mesmo número de combinações híbridas e o número de vezes que um genitor participa dos cruzamentos é sempre inferior a $p-1$.

Entre os métodos que foram desenvolvidos para análise em esquema de dialelo, destacam-se: o método de Jinks e Hayman (1953); o método de Griffing (1956); e o método de Gardner e Ebehart (1966). Nesse trabalho a ênfase será direcionada ao método de Griffing (1956). Essa metodologia estima a capacidade geral de combinação (CGC) que está relacionada com a concentração de locos com efeito predominantemente aditivos, e da capacidade específica de combinação (CEC), relacionada com a concentração de locos com efeito alélico dominante (Ramalho et al., 2012).

São possíveis algumas alternativas de análise pelo método de Griffing (1956). No método I são incluídos os genitores, os híbridos e seus recíprocos (todas as p^2 combinações); o método II inclui os genitores e os híbridos, sem os recíprocos ($[p(p+1)]/2$ combinações); no método III consideram-se os híbridos e seus recíprocos, sem os genitores ($[p(p+1)]$ combinações); e, no método IV, são incluídos somente os híbridos, sem recíprocos e genitores ($[p(p-1)]/2$ combinações).

Todos esses procedimentos possibilitam avaliar pelo modelo fixo ou aleatório. Será fixo quando, os genitores são deliberadamente escolhidos e não podem ser considerados como uma amostra ao acaso de alguma população. Os objetivos são a comparação da capacidade de combinação dos pais, quando os próprios são usados como testadores, e a identificação das combinações mais produtivas. Para o modelo aleatório, os genitores são considerados como sendo uma amostra ao acaso de alguma população, e as conclusões não são feitas sobre os genitores individualmente, mas sobre os parâmetros da população parental. O maior interesse é estimar os componentes genéticos e ambientais da variância da população; para isso

deve-se supor que os efeitos no modelo (exceto a média) têm distribuição normal e independente com média zero e variância conhecida.

O emprego do método de Griffing (1956) na cultura do feijoeiro é muito frequente e envolveu o estudo de vários caracteres (Arriel; Ramalho; Santos, 1990; Arantes; Ramalho; Abreu, 2008; Silva; Ramalho; Abreu, 2007; Pires et al., 2014; Guilherme et al., 2014). Contudo, não foi encontrado nenhum relato do emprego do dialelo no estudo de IC, que é o foco desse trabalho.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos, no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da Universidade Federal de Lavras – UFLA, que está situado a 919 metros de altitude, 21°14' de latitude sul e 45° 59' de longitude oeste.

3.2 Genitores

Foram utilizadas seis linhagens provenientes do banco de germoplasma da Universidade Federal de Lavras – UFLA, diferindo em vários atributos, entre eles o número de dias para o florescimento, o pool gênico a que pertence e a época de origem/obtenção (Tabela 2).

Tabela 2: Pool Gênico, Período de obtenção e número de dias para o florescimento (NDF) das linhagens utilizadas nos cruzamentos.

Linhagens	Pool Gênico	NDF	Período de Obtenção
Paraná	Mesoamericano	46	Antes de 1970
Amarelinho	Mesoamericano	46	Antes de 1970
Goiano Precoce	Andino	37	Antes de 1970
Eriparsa	Andino	38	Antes de 1970
MAII-22	Mesoamericano	46	Após 2010
Madrepérola	Mesoamericano	44	Após 2010

3.3 Obtenção dos Híbridos

Foi realizado o cruzamento dialélico envolvendo as seis linhagens, sem considerar os recíprocos. Os cruzamentos foram realizados em casa de vegetação.

Para realizar as hibridações foi adotada a técnica de hibridação artificial, em que não é feita a emasculação do botão floral (Antunes et al., 1980).

3.4 Avaliação das Populações Segregantes e Genitores

Os 21 tratamentos, sendo os seis genitores e os 15 híbridos foram avaliados nas gerações F_2 , F_3 , e F_4 . As sementeiras foram realizadas em fevereiro, julho e novembro de 2015. O delineamento experimental foi o de blocos completos ao acaso, com quatro repetições. As parcelas eram constituídas por três linhas de 4 m de comprimento com 15 sementes/m linear sendo deixadas 10 plantas/m linear após o desbaste. Os tratos culturais foram realizados de acordo com os adotados na região (Ramalho; Abreu; Guilherme, 2014).

Foi anotado o número de dias para o florescimento (NDF) considerando o número de dias da sementeira até o momento em que 50% ou mais das plantas da parcela apresentou pelo menos uma flor aberta.

Na linha central de cada parcela foi colocado um receptáculo, conforme utilizado inicialmente por Izquierdo e Hosfield (1981), para avaliar o vingamento floral em soja. As suas dimensões eram de 1 m de comprimento, 50 cm de largura e 60 cm de altura, e como revestimento foi utilizada uma tela de nylon com abertura de 1 mm. Para confecção do coletor foi feita uma armação de madeira com o intuito de sustentar a tela de nylon. Com isso o coletor foi instalado em cada parcela (Figura 2).



Figura 2: Receptáculo de nylon utilizado para a coleta das folhas, flores e vagens que caíam durante o ciclo da cultura.

Esse receptáculo foi colocado logo após a germinação e emergência. Três dias após o florescimento, foi iniciada a coleta das folhas e outras partes do vegetal no fundo do receptáculo. Esse processo era repetido a cada três dias até próximo à colheita das plantas. Em cada coleta, o material vegetativo era levado ao laboratório para obtenção da matéria seca. Para isso foi utilizada uma estufa à 65°C por 72 horas. Assim ao final do ciclo as plantas do receptáculo foram colhidas separadamente e também secas em estufa. A matéria seca colhida durante o ciclo da cultura, foi somada ao das plantas colhidas no final do ciclo, para obter a matéria seca total.

Após a retirada das plantas da estufa os grãos foram pesados separadamente, para que fosse feita a estimativa do IC.

Os índices de colheita (IC) foram estimados pela expressão:

$$IC = \frac{\text{Massa seca total de grãos}}{\text{Massa seca total da planta}}$$

Os dados da massa seca dos grãos por planta (PG) e do IC foram submetidos à análise de variância por geração/época de semeadura. Posteriormente foi realizada a análise conjunta das safras/gerações, considerando o modelo proposto Steel, Torrie e Dickey (1997), em que todos os efeitos foram considerados como fixos, exceto o bloco e o erro;

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + B_{k(j)} + (GA)_{ij} + e_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} : valor observado referente ao genótipo i , no ambiente j , no bloco k ;

μ : constante associada a todas as observações;

G_i : efeito do genótipo i ($i= 1, 2, 3, \dots, 21$);

A_j : efeito do ambiente j ($j= 1, 2, 3$);

$B_{k(j)}$: efeito do bloco k dentro do ambiente j ($k= 1, 2, 3, 4$);

$(GA)_{ij}$: efeito da interação dos genótipos x ambiente;

e_{ijk} : erro experimental associado à observação Y_{ijk} , assumindo que os erros são independentes e normalmente distribuídos com média zero e com uma variância comum ou seja $e_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$.

Utilizando as médias das diferentes safras/gerações foi realizada a análise dialélica, por geração e conjunta utilizando o método II de Griffing (1956). Para a análise conjunta foi adotado o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{jmm'} = \mu + G_m + S_{mm'} + A_j + (GA)_{jm} + (SA)_{jmm'} + e_{jmm'}$$

Em que:

$Y_{jmm'}$: média da combinação híbrida ($m \neq m'$) ou genitor ($m = m'$) no ambiente (j);

μ : constante associada a todas as observações;

G_m : efeitos da capacidade geral de combinação do genitor (CGC), ($m= 1, 2, 3, \dots, 6$);

$S_{mm'}$: efeitos da capacidade específica de combinação (CEC), para os cruzamentos entre os genitores de ordem m e m' ;

A_j : efeito do ambiente j ($j= 1, 2, 3$);

$(GA)_{jm}$: efeito da interação da CGC x ambiente;

$(SA)_{jmm'}$: efeito da interação CEC x ambiente;

$e_{jmm'}$: erro experimental associado à combinação híbrida de ordem mm' , no ambiente j , os erros são independentes e normalmente distribuídos com média zero e com uma variância comum $e_{jmm'} \sim N(0, \sigma^2)$.

Estimaram-se as correlações fenotípicas dos caracteres dois a dois (r_{XY}), por safra e na média das safras, utilizando-se o estimador (Falconer; Mackay, 1996):

$$r_{XY} = \frac{COV_{xy}}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}$$

Em que:

COV_{XY} : covariância entre as variáveis X (peso de grãos ou número de dias para o florescimento) e Y (índice de colheita);

σ_X : desvio fenotípico associado a variável X;

σ_Y : desvio fenotípico associado variável Y.

4 RESULTADOS

O resumo da análise da variância da produtividade de grãos/planta (PG) e do índice de colheita (IC) de cada geração é apresentado nas tabelas 1A e 2A. Verifica-se que para o IC as acurácias obtidas em cada geração foram semelhantes e de alta magnitude, acima de 87%, indicando uma boa precisão experimental na avaliação desse carácter. No caso da produtividade de grãos por planta a estimativa da acurácia apresentou uma magnitude média apenas para a geração F₃. Constatou-se em todas as gerações, para ambos caracteres, que ocorreu diferença significativa ($P \leq 0,01$) entre os tratamentos.

Na análise de variância conjunta das diferentes gerações para IC (Tabela 3), foi detectada diferença significativa ($P \leq 0,01$) entre os tratamentos, o mesmo ocorreu para o efeito de gerações. A interação Tratamentos x Gerações foi significativa também para IC, mostrando que o comportamento dos tratamentos não foi coincidente nas diferentes gerações.

Tabela 3: Resumo da análise de variância conjunta para o índice de colheita (IC) e produtividade de grãos/planta (PG) de feijão (g/planta). Dados obtidos na avaliação das gerações F₂, F₃ e F₄ de um cruzamento dialélico.

FV	IC _(x100)			PG	
	GL	QM	P	QM	P
Tratamentos (T)	20	2,56	0,00	57,87	0,00
CGC	5	3,75	0,02	167,23	0,00
CEC	15	2,17	0,00	21,42	0,11
Gerações (G)	2	5,67	0,00	703,59	0,00
T x G	40	0,49	0,00	14,62	0,04
CGC x G	10	0,76	0,00	20,51	0,03
CEC x G	30	0,41	0,00	12,66	0,16
Erro Médio	180	0,23		9,87	
Média			0,33		11,30

Observou-se que os genitores que mais se destacaram na média das três gerações foram Madrepérola e MAII-22 para o IC (Tabela 4). Já a linhagem Amarelinho foi a que apresentou menor IC entre os genitores. Nenhum híbrido foi classificado no grupo de maior IC, contudo, a combinação MAII-22 x Madrepérola, foi a de maior estimativa de IC entre os híbridos, embora fosse classificada no mesmo grupo de outros híbridos. A existência de interação Tratamentos x Gerações ($P \leq 0,05$), fica comprovada por meio das médias dos genitores e dos híbridos nas diferentes gerações. Veja que não ocorreu boa coincidência na classificação das linhagens ou híbridos. Observou-se, contudo, que os genitores Madrepérola e MAII-22 estiveram no grupo dos tratamentos de maior média em todas as gerações.

Na análise dialélica pelo método de Griffing (1956), constatou-se diferença significativa ($P \leq 0,05$) tanto para a capacidade geral de combinação (CGC) como para a capacidade específica de combinação (CEC) para o IC (Tabela 3). Novamente as interações CGC x Gerações e CEC x Gerações foram significativas ($P \leq 0,05$).

A soma de quadrados da CGC foi inferior à da CEC, ela explicou apenas 36,6% da variação total dos tratamentos (Tabela 3). Em princípio esses resultados evidenciam que a dominância é expressiva na manifestação do caráter IC. O desempenho das combinações híbridas médias das três gerações (0,31), foi inferior aos dos genitores (0,37), ou seja, ocorreu heterose média negativa, assim, a ocorrência de dominância é no sentido de reduzir a expressão do caráter (Tabela 4).

Tabela 4: Médias do índice de Colheita (IC), por geração e na análise conjunta. Dados obtidos nas gerações F₂, F₃ e F₄ do cruzamento dialélico de feijão.

Cruzamentos	F ₂		F ₃		F ₄		Média	
Paraná	0,39	a	0,43	a	0,31	b	0,38	b
Amarelinho	0,27	c	0,28	b	0,30	b	0,28	c
Goiano Precoce	0,42	a	0,36	a	0,31	b	0,36	b
Eriparsa	0,37	a	0,40	a	0,32	b	0,36	b
MAII-22	0,42	a	0,39	a	0,35	a	0,39	a
Madrepérola	0,43	a	0,43	a	0,40	a	0,42	a
Média	0,38		0,38		0,33		0,37	
Paraná x Amarel.	0,31	b	0,38	a	0,34	a	0,34	b
Paraná x G.Precoce	0,32	b	0,30	b	0,27	c	0,30	c
Paraná x Eripar.	0,26	c	0,36	a	0,26	c	0,29	c
Paraná x MAII22	0,40	a	0,35	a	0,36	a	0,37	b
Paraná x Madrep.	0,32	b	0,35	a	0,23	c	0,30	c
G. Precoce x Amarel.	0,22	c	0,21	c	0,26	c	0,20	d
G.Precoce x Eripar	0,37	a	0,41	a	0,33	b	0,37	b
G.Precoce x MAII22	0,31	b	0,35	a	0,25	c	0,30	c
G.Precoce x Madrep.	0,31	b	0,32	b	0,30	b	0,31	c
Eripar. x Amarel.	0,26	c	0,32	b	0,25	c	0,28	c
MAII22 x Amarel.	0,33	b	0,33	b	0,23	c	0,30	c
MAII22 x Eripar.	0,33	b	0,32	b	0,30	b	0,32	c
MAII22 x Madrep.	0,39	a	0,43	a	0,32	b	0,38	b
Madrep. x Eripar.	0,25	c	0,37	a	0,32	b	0,31	c
Madrep. x Amarel.	0,26	c	0,35	a	0,34	a	0,32	c
Média	0,31		0,34		0,29		0,31	
Média Geral	0,33		0,35		0,30		0,33	

* Médias seguidas da mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott Knott (1974).

Como era esperado os dois genitores com maior média para IC foram os que apresentaram maior estimativa de CGC, isto é, eles apresentam boa capacidade geral de combinação. O contrário, como era aguardado, ocorreu com o Amarelinho (Tabela 5). Nas estimativas de CGC novamente a interação com gerações fica bem evidenciada. Contudo, em todos os casos, os dois genitores de maior média, sempre apresentaram estimativas de CGC positiva.

Tabela 5: Efeito da capacidade geral de combinação (CGC) em cada ambiente para o índice de colheita (IC).

Tratamentos	F₂	F₃	F₄	MÉDIA
Paraná	0,009	0,015	-0,005	0,007
Amarelinho	-0,049	-0,041	-0,012	-0,034
Goiano Precoce	0,007	-0,021	-0,011	-0,009
Eriparsa	-0,013	0,013	-0,002	-0,002
MAII-22	0,035	0,010	0,005	0,018
Madrepérola	0,009	0,025	0,024	0,019
DP (Gi)	0,008	0,009	0,006	0,008
DP(Gi – Gj)	0,013	0,013	0,009	0,012
Erro	0,0026	0,0028	0,0013	0,0023

As estimativas da CEC variaram amplamente na média das gerações e também em cada geração para IC (Tabela 6). Chama a atenção que a combinação MAII-22 x Madrepérola (Tabela 6), apresentou CEC negativa. As estimativas de CEC envolvendo o genitor Amarelinho, o que apresentou pior performance para o IC, foram todas positivas, exceto a combinação Eriparsa x Amarelinho.

Com relação à produtividade de grãos por planta (PG), os resultados da análise da variância conjunta, tabela 3, foram muito semelhantes ao IC. Foi detectada diferença significativa ($P \leq 0,05$) para as fontes de variação Tratamentos, Gerações e para a interação Tratamentos x Gerações.

Novamente os genitores que mais se destacaram na média das três gerações, foram Madrepérola e MAII-22 como ocorreu com o IC, e nesse caso também a linhagem Paraná. Os demais foram classificados em um mesmo grupo (Tabela 7).

Tabela 6: Estimativas da capacidade específica de combinação (CEC) em cada ambiente para o Índice de Colheita (IC).

Cruzamentos	F₂	F₃	F₄	MÉDIA
Paraná	0,040	0,046	0,017	0,034
Amarelinho	-0,027	-0,048	-0,017	-0,031
Goiano Precoce	-0,03	-0,044	-0,092	-0,055
Eriparsa	0,013	0,007	-0,066	-0,015
MAII-22	-0,037	-0,038	-0,016	-0,03
Madrepérola	0,080	0,026	0,049	0,052
Paraná x Amarel.	0,019	0,052	0,054	0,042
Paraná x G.Precoce	-0,067	-0,022	-0,036	-0,042
Paraná x Eripar	0,038	0,008	0,022	0,023
Paraná x MAII22	-0,031	0,012	0,026	0,002
Paraná x Madrep.	0,065	0,021	0,022	0,036
G.Precoce x Amarel.	0,024	-0,029	0,057	0,017
G.Precoce x Eripar.	-0,068	-0,082	-0,02	-0,057
G.Precoce x MAII22	0,075	0,048	0,029	0,051
G.Precoce x Madrep.	-0,023	-0,057	-0,006	-0,029
Eripar. x Amarel.	-0,008	-0,006	-0,038	-0,017
MAII22 x Amarel.	0,045	0,064	0,041	0,05
MAII22 x Eripar	-0,063	0,007	-0,047	-0,034
MAII22 x Madrep.	-0,077	-0,022	-0,005	-0,034
Madrep. x Eripar	0,014	0,041	-0,012	0,014
Madrep. x Amarel.	0,018	0,016	0,037	0,023
DP(Sii)	0,0187	0,0194	0,0134	0,0174
DP(Sij)	0,0226	0,0235	0,0162	0,0211
DP(Sii - Sjj)	0,0255	0,0265	0,0184	0,0237
DP(Sij - Sik)	0,0338	0,0351	0,0243	0,0314
DP(Sij - Skl)	0,0313	0,0325	0,0225	0,0291

Diferentemente do que ocorreu para a variável IC, três combinações híbridas (Paraná x Amarelinho, Paraná x MAII22 e MAII22 X Madrepérola) foram classificadas no grupo de maior PG (Tabela 7).

A existência da interação Tratamentos x Gerações (Tabela 3), fica comprovada por meio da não coincidência da classificação dos genitores e dos híbridos nas diferentes gerações (Tabela 7).

Na decomposição da fonte de variação Tratamentos, em CGC e CEC, constatou-se que apenas a CGC foi significativa (Tabela 3). Constatou-se também que para a PG, a maior fonte da variação entre os tratamentos foi explicada pela CGC ou seja 72,3%. Nessa condição pode-se em princípio inferir que para esse caráter há predomínio da interação alélica aditiva. Esse resultado é reforçado observando na média das três gerações que o desempenho médio dos híbridos foi semelhante ao da média dos genitores (Tabela 7).

Também no caso da PG, os genitores com maior média foram os que apresentaram maior estimativa de CGC (Tabela 8). Nas estimativas de CGC novamente a interação com gerações fica bem evidenciada. Contudo, em todos os casos, os genitores de maior média, sempre apresentaram estimativas de CGC positiva.

As estimativas da CEC para a PG estão apresentadas na tabela 9. Deve ser enfatizado que não foi detectada diferença significativa para CEC e nem para a interação CEC x Gerações (Tabela 3).

Tabela 7: Médias da Produtividade média de grãos por planta (PG) (gramas/planta), por geração e na análise conjunta. Dados obtidos nas gerações F₂, F₃ e F₄ do cruzamento dialélico de feijão.

Cruzamentos	F ₂		F ₃		F ₄		Média	
Paraná	17,3	a	16,67	a	9,31	b	14,43	a
Amarelinho	13,97	b	13,11	a	11,56	a	8,69	c
Goiano Precoce	16,49	a	9,30	a	7,99	b	8,39	c
Eriparsa	14,10	b	11,47	a	7,77	b	8,65	c
MAII-22	21,48	a	10,60	a	11,94	a	12,76	a
Madrepérola	14,36	b	11,65	a	4,61	b	14,72	a
Média	16,28		12,13		8,86		11,27	
Paraná x Amarel.	12,20	b	7,80	a	6,08	b	12,88	a
Paraná x G.Precoce	11,43	b	7,34	a	6,96	b	11,26	b
Paraná x Eripar.	12,27	b	9,71	a	8,99	b	11,11	b
Paraná x MAII22	13,97	b	11,65	a	9,03	b	14,67	a
Paraná x Madrep.	20,97	a	14,82	a	11,40	a	10,20	b
G. Precoce x Amarel.	14,85	b	11,21	a	7,26	b	8,58	c
G.Precoce x Eripar	11,44	b	7,23	a	10,01	a	9,58	c
G.Precoce x MAII22	9,41	b	9,39	a	7,14	b	10,37	b
G.Precoce x Madrep.	15,52	b	9,88	a	10,25	a	9,56	c
Eripar. x Amarel.	10,83	b	7,81	a	6,53	b	10,32	b
MAII22 x Amarel.	10,17	b	9,83	a	8,76	b	11,55	b
MAII22 x Eripar.	13,33	b	12,42	a	6,94	b	11,88	b
MAII22 x Madrep.	19,24	a	10,88	a	14,04	a	15,73	a
Madrep. x Eripar.	16,50	a	11,33	a	10,46	a	10,90	b
Madrep. x Amarel.	13,76	b	10,22	a	7,12	b	11,11	b
Média	13,73		10,10		8,73		11,31	
Média Geral	14,31		10,38		8,74		10,63	

* Médias seguidas da mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott Knott (1974).

Os genitores foram escolhidos para a realização dessa pesquisa considerando que eles diferem na duração do ciclo vegetativo. As estimativas da média do número de dias para o florescimento (NDF) comprovam essa observação (Tabela 10). Veja que os genitores Goiano Precoce e Eriparsa sempre foram os mais precoces. Coincidentemente foram os genitores com menor estimativa de IC e de PG. Contudo a linhagem Amarelinho que não é

precoce teve comportamento em termos de IC e PG muito semelhante aos genitores precoces. Esse fato pode ser comprovado por meio das estimativas das correlações fenotípicas entre IC e NDF, que foram praticamente nulas (Tabela 11).

Tabela 8: Efeito da capacidade geral de combinação (CGC) em cada ambiente da produtividade de grãos/planta (PG).

Tratamentos	F ₂	F ₃	F ₄	MÉDIA
Paraná	1,725	1,837	0,138	1,234
Amarelinho	-1,288	-0,769	-0,678	-0,912
Goiano Precoce	-2,031	-1,904	-0,935	-1,623
Eriparsa	-2,123	-0,335	-0,549	-1,003
MAII-22	2,188	0,632	1,16	1,327
Madrepérola	1,529	0,54	0,865	0,978
DP (Gi)	0,635	0,531	0,292	0,507
DP(Gi – Gj)	0,984	0,822	0,453	0,785
Erro	15,51	10,81	3,28	

Deve ser salientado que a estimativa das correlações entre IC e PG foram todas positivas e significativas (Tabela 11). Isto é, as linhagens/combinções híbridas com maior IC foram também, na maioria das correlações, as de maior PG.

Tabela 9: Estimativas da capacidade específica de combinação (CEC) da produtividade de grãos/planta (PG).

Cruzamentos	F₂	F₃	F₄	MÉDIO
Paraná	-0,608	2,314	0,264	0,657
Amarelinho	2,339	-1,315	0,018	0,347
Goiano Precoce	-3,351	-1,409	-5,162	-3,307
Eriparsa	-1,386	1,105	-0,221	-0,167
MAII-22	-2,515	-2,087	1,312	-1,097
Madrepérola	1,725	-0,881	3,542	1,462
Paraná x Amarel.	-0,924	1,360	3,331	1,256
Paraná x G.Precoce	0,041	-0,714	-0,588	-0,420
Paraná x Eripar	0,32	-1,344	-1,333	-0,786
Paraná x MAII22	0,152	0,758	-1,696	-0,262
Paraná x Madrep.	-0,800	-0,621	-0,531	-0,651
G.Precoce x Amarel.	3,110	-2,551	1,873	0,811
G.Precoce x Eripar.	0,292	-0,669	-0,196	-0,191
G.Precoce x MAII22	0,435	0,937	-0,368	0,334
G.Precoce x Madrep.	0,999	-1,099	0,871	0,257
Eripar. x Amarel.	1,225	0,133	1,448	0,935
MAII22 x Amarel.	-0,133	1,388	1,476	0,910
MAII22 x Eripar	-0,854	0,81	-1,873	-0,639
MAII22 x Madrep.	-0,533	1,534	-2,144	-0,381
Madrep. x Eripar	2,796	2,966	0,607	2,123
Madrep. x Amarel.	-2,333	-0,616	-0,628	-1,192
DP(Sii)	1,441	1,204	0,663	1,149
DP(Sij)	1,745	1,458	0,803	1,392
DP(Sii - Sjj)	1,969	1,645	0,906	1,571
DP(Sij - Sik)	2,605	2,176	1,198	2,077
DP(Sij - Skl)	2,411	2,014	11,095	1,924

Tabela 10: Estimativa do número de dias para o início do florescimento (NDF).
 Dados obtidos na avaliação das três gerações (F₂, F₃ e F₄) em
 cruzamento dialélicos de feijão.

Cruzamentos	F ₂	F ₃	F ₄	Média
Paraná	40	40	57	46
Amarelinho	42	40	57	46
Goiano Precoce	34	32	45	37
Eriparsa	35	32	46	38
MAII-22	41	40	57	46
Madrepérola	39	39	55	44
Paraná x Amarel.	42	41	57	47
Paraná x G.Precoce	35	35	47	39
Paraná x Eripar.	37	36	48	40
Paraná x MAII22	41	40	56	46
Paraná x Madrep.	40	39	56	45
G.Precoce. x Amarel.	38	34	49	40
G.Precoce x Eripar.	34	32	45	37
G.Precoce x MAII22	37	34	47	39
G.Precoce x Madrep.	35	34	48	39
Eripar. x Amarel.	37	33	51	40
MAII22 x Amarel.	41	41	57	46
MAII22 x Eripar.	37	36	49	41
MAII22 x Madrep.	40	39	54	44
Madrep. x Eripar.	37	36	48	40
Madrep. x Amarel.	41	41	56	46

Tabela 11: Estimativa das correlações entre a variável índice de colheita (IC), com produtividade de grãos por planta (PG) e com o número de dias para o início do florescimento (NDF).

Variáveis	F2	F3	F4	Média
IC e PG	0,43*	0,66**	0,64**	0,60**
IC e NDF	-0,01	0,19	0,22	0,25

** * : Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t.

5 DISCUSSÃO

O índice de colheita (IC) estima a proporção da matéria seca (MS) dos grãos em relação a MS total. O IC é importante como medida da eficiência fisiológica, contudo, é muito difícil de ser obtido na prática. No primeiro momento pela dificuldade de obter a MS das raízes com precisão. Por essa razão as estimativas de IC existentes não consideram as raízes da planta (Zimmermann et al. 1984; Durães et al, 2002; Echarte et al. 2013).

Mesmo quando se considera apenas a parte aérea das plantas, tratando-se de leguminosas, por exemplo, a avaliação da parte área vegetativa não é precisa, pois ocorre perda de folhas ou de vagens em crescimento e desenvolvimento, superestimando o valor do IC. Assim, as estimativas obtidas em feijão ou soja foram obtidas contendo esse erro (Zimmermann et al. 1984; Snyder; Carlson, 1984; Alves, 2014).

Nesse trabalho para se ter estimativas de IC, mais próximas da realidade foi utilizado um receptáculo de tela de nylon, em que as folhas ou parte vegetativa que caíssem pudessem ser recuperadas. Esse receptáculo foi usado inicialmente visando a coleta apenas de flores/vagens abortadas para se ter o índice de vingamento floral em soja (Izquierdo; Hosfield 1981). A estimação do IC como foi realizado neste trabalho, não foi encontrado nenhuma referência.

Contudo, trabalhando com feijão Costa et al. (1985), também estimaram o IC, tentando coletar todas as partes vegetativas das plantas. Entretanto, eles coletaram a cada dois dias o que caiu no solo. Evidentemente que nesse caso o processo não é preciso, pois não necessariamente as folhas ou vagens que caem permanecem próximo da planta. Eles comparam os dados de IC, com a coleta periódica e sem a coleta, e verificaram que nesse último caso o IC é superestimado.

Outro ponto a ser considerado é que na literatura há inúmeras informações em várias espécies com relação ao IC (Demétrio et al., 2008; Pedersen; Joseph, 2004; Alvarez et al. 2005). Contudo, não foram encontrados relatos do possível controle genético de IC como foi realizado nesse trabalho.

No caso do feijoeiro, existem dois centros de origem (pools gênicos) principais. Um de origem Andina e outro Mesoamericano (Gepts et al, 1986). Eles diferem em vários aspectos mas, sobretudo no tamanho dos grãos e das folhas. O Andino tem folhas e grãos maiores. As linhagens de feijão também diferem amplamente na duração do ciclo vegetativo e reprodutivo (Arriel et al, 1990; Mendes et al, 2008) Adicionalmente as linhagens disponíveis foram obtidas em momentos diferentes. Existem linhagens que são bem antigas, já outras foram obtidas recentemente no programa de melhoramento. Tanto a origem, como o ciclo, e o momento de obtenção da cultivar provavelmente afetam o IC. Por essa razão, os genitores utilizados nesse trabalho, foram escolhidos em função de diferirem com relação a esses aspectos.

O feijoeiro na região Sul do estado de Minas Gerais é cultivado em três épocas; semeadura em fevereiro/março; julho e outubro/novembro. Essas épocas diferem amplamente nas condições climáticas (Ramalho; Abreu; Guilherme, 2014). Para verificar se as condições climáticas afetam a estimativa do IC no feijoeiro, os experimentos foram conduzidos nas três épocas. Como no dialelo as populações híbridas estavam segregando, o efeito de épocas confunde com o de gerações. Assim muito embora no trabalho fosse destacado o efeito de gerações, a questão ambiental esteve sempre presente e pode ser realçada considerando a informação apenas dos genitores. Nesse caso a estimativa da F_2 , semeadura realizada em novembro e F_3 em fevereiro, apresentaram maior IC (0,38) do que a obtida na F_4 , semeadura em julho (0,33) (Tabela 4). A ocorrência de interação na cultura do feijoeiro, na região, principalmente para produtividade de grãos é frequente (Lima et al, 2014; Ferreira et al, 2015). A interação genótipos x

ambientes/gerações foi significativa. Ou seja, o comportamento dos genitores e das populações segregantes não foi coincidente nos diferentes ambientes com relação ao IC e produtividade de grãos.

O IC médio foi de 0,33, ou seja, 33% da matéria seca da parte aérea é devida aos grãos. Os relatos encontrados na cultura do feijão são variáveis, porém a maioria com valores de IC superior ao obtido nesse trabalho ou seja, Zimmermann et al. (1984), obteve IC = 0,44 e Alves (2014), IC = 0,40. Em soja também podem ser encontradas estimativas superiores a essa, Braga (1983) encontrou 0,52. Em princípio esse fato mostra que a eficiência fisiológica nesses experimentos foram melhores do que a obtida nesse trabalho. Contudo, como já salientado eles não coletaram todas as folhas e vagens abortadas que caíram no solo. Portanto, as estimativas de IC devem estar superestimadas. No caso da cultura do milho, esse problema de queda de folhas é menor e mesmo assim as estimativas de IC são bem superiores às obtidas com leguminosas Monteiro et al. (1998) e Durães et al. (2002), por exemplo obtiveram estimativas de IC variando de 0,45 a 0,60.

Como já mencionado os genitores diferem em alguns caracteres agronômicos e na origem. Inicialmente é preciso salientar que as duas linhagens mais modernas, a MAII-22 e Madrepérola, apresentaram, na média, maior índice de colheita que as demais (Tabela 4). Esse resultado evidencia que os programas de melhoramento do feijoeiro, independe de terem observado o IC durante a seleção, indiretamente têm contribuído para maior eficiência em termo de acúmulo de matéria seca nos grãos em relação à matéria seca da parte vegetativa. Resultado semelhante a esse não foram encontrados na literatura com relação a cultura do feijão. Contudo, existem relatos em milho (Echarte et al., 2013) e arroz (Li et al, 2012), que as cultivares mais modernas apresentam maior índice de colheita que às antigas.

A linhagem com menor índice de colheita foi a Amarelinho. Ela não é precoce como o G. Precoce e Eriparsa e pertence ao grupo Mesoamericano como a MAII-22 e Paraná. Portanto, não pode ser inferido, a princípio, que o IC depende do pool gênico e/ou do ciclo. Nesse último aspecto é oportuno salientar que a estimativa de correlação envolvendo IC e número de dias para o florescimento (NDF), foi de pequena magnitude (Tabela 11). Com a cultura da soja, foi observada associação positiva entre o IC e NDF (Pedersen; Lauer, 2004)

As linhagens Eriparsa e G. Precoce possuem grãos maiores que as demais. Embora o IC, fosse inferior ao observado para Madrepérola e MAII-22, não diferiu da linhagem Paraná, que possui grãos de tamanho mediano. Depreende-se que não é possível associar o IC com tamanho dos grãos da planta.

Nenhuma combinação híbrida apresentou estimativa de IC, superior aos dois genitores de maior média. Adicionalmente, verifica-se (Tabela 4) que a média dos genitores (IC = 0,37) foi superior à média dos híbridos (IC = 0,31). Esse fato indica que ocorre heterose no sentido de reduzir o IC. Isto é, possivelmente as plantas das populações segregantes apresentaram maior desenvolvimento vegetativo em relação a parte reprodutiva dos que os genitores. Infelizmente não foi encontrado nenhum resultado na literatura a esse respeito quando se estimou o IC. Deve ser enfatizado que para o IC, a estimativa da capacidade específica de combinação (CEC) foi significativa, reforçando a existência de heterose e indicando que ocorre dominância na expressão do caráter.

As estimativas de capacidade geral de combinação (CGC), são como era esperado, bem coerentes com as médias de IC dos genitores. As linhagens MAII-22 e Madrepérola foram as de maiores CGC, indicando que elas contribuem para aumentar a expressão do caráter nos cruzamentos que participam. A média das populações híbridas, em que um dos genitores era uma

dessas linhagens, quase sempre apresentaram maiores estimativas de IC (Tabela 4), realçando o que foi comentado anteriormente. Depreende-se que no controle genético do IC, devem ocorrer genes tanto com efeito aditivo como de dominância.

No caso da produção de grãos por planta os resultados foram bem semelhantes aos relatados para o IC, exceto que a CEC não foi significativa. A produtividade média dos grãos dos genitores foi muito semelhante à média dos híbridos, reforçando não ocorrência de dominância para a PG. Os resultados disponíveis na literatura com a cultura do feijão, a respeito da manifestação da dominância para PG são contraditórios. Existem alguns trabalhos que foram semelhantes aos relatados aqui (Leal et al., 1979; Silva et al., 2004; Guilherme et al., 2014). Contudo, outros indicam que ocorre dominância (Carvalho et al. 1999; Santos; Vencovsky, 1986)

A estimativa das correlações entre IC e PG foram todas significativas. Na média das gerações, a correlação foi superior a 0,6. Esse fato indica que normalmente plantas com maior IC devem apresentar maior produtividade de grãos (Donald; Hamblin, 1976; Sinclair, 1998). As medidas de IC e PG apresentadas nas tabelas 4 e 7, justificam essa estimativa positiva e alta. Tomando como referência apenas os genitores, observa-se que as duas linhagens com maior IC, foram classificadas no grupo de maior produtividade média de grãos. O inverso ocorreu com as linhagens do grupo de menor IC. Esse resultado reforça o que já foi comentado, que quando se seleciona para maior produtividade de grãos, indiretamente está sendo selecionado para maior proporção de matéria seca acumulada nos grãos em detrimento da parte vegetativa.

5 CONCLUSÃO

O índice de colheita (IC) foi maior nas cultivares modernas e também nas safras cuja semeadura foram realizadas em fevereiro e novembro.

Para a produtividade de grãos por planta (PG) a capacidade geral de combinação explicou a maior parte da variação, indicando a predominância de efeitos aditivos. Já para o IC a heterose foi negativa permitindo inferir que ocorre dominância no sentido de reduzir a expressão do caráter.

Os genitores diferiram na capacidade geral de combinação (CGC), para IC e PG. As cultivares mais modernas estiveram entre as de maior CGC para ambos os caracteres.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, R. C. F. et.al. Marcha de absorção de nitrogênio de cultivares de arroz de terras altas com diferentes tipos de plantas. **Científica (Jaboticabal, Online)**, v. 34, p. 162-169, 2005.

ALVES, D.S. **Aspectos produtivos e fisiológicos de cultivares de feijão irrigado**. 2014. 88 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2014.

ANDRADE, C. A. et. al. Produtividade, crescimento e partição de matéria seca em duas cultivares de feijão. **Acta Scientiarum. Agronomy (Online)**, v. 31, p. 683-688, 2009.

ANDRADE, A.G. et al. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays* L.) 1. Acumulação de macronutrientes. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 32, p. 115 - 149, 1975.

ANTUNES, I. F.; TEIXEIRA, M. O.; ZIMMERMANN, M. J. Maximização da eficiência de cruzamentos artificiais em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Goiânia: **Embrapa** Arroz e Feijão, 1980.24 p.

ARANTES L. de O ; RAMALHO, M. A, P. ABREU, Á. de F. B . Controle Genético da Incompatibilidade do Cruzamento entre Cultivares Andinas e Mesoamericanas de Feijoeiro Comum. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 978-980, 2008.

ARRIEL, E. F. ; RAMALHO, M. A. P. ; SANTOS, J. B. Análise Dialética do número de dias para o florescimento do Feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, n.5, p. 759-764, 1990.

BRAGA, N. R. ; COSTA, J. A. Avaliação de dez cultivares de soja pelo índice de colheita. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, 1983

BULISANI, E. A. **Crescimento e absorção de nutrientes em cinco cultivares de feijoeiro** (*Phaseolus vulgaris* L.). 1994. 150 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1994.

BUGBEE, B.G. ; SALISBURY, F.B. **Current and potential productivity of wheat for a Controlled Environment Life Support System**. Adv Space Res. v.9, n.8. p. 5-15. 1989.

CARVALHO, A.C.P.P. Capacidade de combinação para oito caracteres agronômicos em cultivares rasteiras de feijão-de-vagem. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.17, n.2, p. 102-105, 1999.

CIAT. Etapas de desarrollo de la planta de frijol coníun (*Phaseolus vulgaris* L.). [SI,], CIAT, p. 33, 1986.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. 2015. **Acompanhamento da Safra Brasileira Feijão**, Safra 2014/2015. Brasília.

COSTA, J.G.C. da; SHIBATA, J.K. ; MIRANDA COLIN, S. Índice de Colheita em Feijoeiro Comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 6, n.20, p. 737-739, 1985.

DIDONET, A. D. ; COSTA. G. C. População de plantas e rendimento de grãos em feijoeiro comum de ciclo precoce. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.34, n.2. P. 105-109, 2004.

DONALD, C. M.; HAMBLIN, J. **Advances in Agronomy**. [S1] s.n.j, 1976. p. 411

DUARTE, E. A. A.; MELO FILHO, P. D. A.; SANTOS, R. C. Características agronômicas e índice de colheita de diferentes genótipos de amendoim submetidos a estresse hídrico. Agronomic characteristics and harvest index of different peanut genotypes submitted to water stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 8, p. 843-847, 2013.

DURÃES, F.O.M.; MAGALHÃES, P.C.; OLIVEIRA, A.C. Índice de colheita genético e as possibilidades da genética fisiológica para melhoramento do rendimento de milho. **Rev. Bras. de Milho e Sorgo**, v. 1, n.1, p.33-40, 2002.

ECHARTE L., L. et al. Grain Yield Determination and Resource use Efficiency in Maize Hybrids Released in Different Decades. In: M. Stoytcheva (Ed.) "Agricultural Chemistry" p.19-35, 2013.

EVANS, R.A ; FISCHER, L.T., Fischer Yield potential: its definition, measurement, and significance **Crop Sci.**, 39 (1999), p. 1544-1551
FALCONER, D.S. ; MACKAY, T.F.C. Introduction to quantitative genetics. 4.ed. Edinburgh: **Longman Group Limited**, 1996. 464p.

FERREIRA, A.C.B. et al. Feijão de alta produtividade. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.25, n.223, p.61-72, 2004

FERREIRA, R. A. C. et. al. Implications of the number of years assessment on recommendation of common bean cultivars. **Plant. Breeding**, v.134, p. 599-604, 2015.

GARDNER , C.O.; EBERHART, S.A. Analysis *and* interpretation of the variety cross diallel *and* related populations. **Biometrics**, v.22, p.439-452, 1966.

GRIFFING, B. (1956). A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. **Heredity** v.10, p.31-50.

GUILHERME. S. R. et al. Genetic control of inflorescence in common bean. **Genetics and Molecular Research**, v.13, p. 103-49. 2014.

IZQUIERDO, J. and G.L. HOSFIELD. 1981. A collection receptacle for field abscission studies in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Crop Sci.** v.21, p. 622- 625.

JINKS, J. L. and B. 1. HAYMAN, 1953. The analysis of diallel crosses. **Maize Genetics News Letter** v.27, p.48-54.

KAWANO, K. Harvest index and evolution of major food crop cultivars in the tropics. **Euphytica**, v. 46, n.3, p. 195-202, abr. 1990.

KELLY, J.D. 2001. Remaking bean plant architecture for efficient production. **Advances in Agronomy** v.7 p.109-143

LEAL, N.R.; HAMAD, 1.; BLISS, F. Combining ability estimates for snap bean traits using early and advanced generations. **HortScience.** v.4, n.3, p.405, 1979.

LI, X. et al. Unraveling the complex trait of harvest index with association mapping in rice (*Oryza sativa* L.). **PLoS One.** v.7, n.1, 2012.

LIMA, L. K. Implications of predictable and unpredictable environmental factors in common bean VCU trials in Minas Gerais. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** (Online), v. 14, p. 146-153, 2014.

LOPES, A.S. CARVALHO, J.G. Micronutrientes: Critérios de diagnose para solo e planta, correção de deficiências e excessos, In: **REUNIAO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO**, v.17, Londrina, 1988

MAGALHÃES, P. C. et al. Caracterização ecofisiológica de linhagens de milho submetidas a baixa disponibilidade hídrica durante o florescimento. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo** (Impresso), v. 8, p. 223-232, 2009.

MEHLA, R.S.; SINGH, T.A. Comparison of dry matter and nutrient accumulation in hybrid and composite maize. **Indian Journal of Agronomy**, v.25, n.3, p.370-377. 1980.

PEDERSEN, P. ; J.G. LAUER. 2004. Response of soybean yield components to management system and planting date. **Agron. J.** v.96 p.1372-1381.

PIMENTA, H.S.; FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Modelo matemático para estimar o acúmulo de matéria seca e prever as épocas do florescimento e do ponto de maturidade fisiológica da cultura de feijão. **Scientia Agrícola**, v.56, p.915-920, 1999.

PIRES, LUIZ PAULO MIRANDA. Recurrent mass selection for upright plant architecture in common bean. **Scientia Agrícola (USP. Impresso)**, v. 71, p.240-243, 2014.

RAMALHO, M. A. P. ; PIROLA, L. H. ; ABREU, A. F. B. Alternativas na Seleção de Plantas de Feijoeiro com Porte Ereto e Grãos Tipo Carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n.12, p. 1989-1994, 1998.

RAMALHO, M A. P. ABREU, A. de F.B. SANTOS, P. S. J. Interação Genótipos X Épocas de Semeadura, anos e locais na Avaliação de Cultivares de Feijão nas Regiões Sul e Alto Paranaíba, em Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 22, n.2, p. 176-181, 1998

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da Genética Quantitativa no Melhoramento de Plantas Autógamas**. 1. Ed. Lavras, 2012. v. 1. 522p.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A.F.B. ; GUILHERME, S. R. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na região Central-Brasileira**. p.2015- 2017, v.1, Lavras: FUNDECC, 2014. 168 p.

RIBEIRO, N. D. et al. Variabilidade e interrelações das características morfológicas das sementes de grupos comerciais de feijão. **Revista Brasileira de Agrociência**, Santa Catarina, v. 6, n.3, p.213-217, set-dez, 2000.

SANTOS, J. B.; VENCOVSKY, R. . Controle Genetico de Alguns Componentes do Porte da Planta do Feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 21, n.9, p. 957-963, 1986.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, n.2, p.507-512, 1974.

SILVA, F. B. RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. de. Genetic progress after five cycles of phenotypic recurrent selection for early flowering of carioca common bean. **Annual Report of the bean improvement Cooperative**, v. 50, p. 29-30, 2007.

SILVA, M. P. et al. Análise dialélica da capacidade combinatória cru feijão-de-vagem, **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 2, p. 277-280, 2004.

SINCLAIR, T. R. Historical changes in harvest index and crop nitrogen accumulation. **Crop. science**, v. 38, p. 638-643, 1998.

SNYDER, F. W.; CARLSON, G.E. Selecting for partitioning of photosynthetic products in crops. **Advances in Agronomy**, New York. v.37, p.47-72, 1984.

STEEL, R.G.D., ; TORRIE, J.H. ; DICKEY, D.A. (1997) Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 3rd Edition, McGraw Hill, Inc. Book Co., New York, p,352-358.

VENCOVSKY, R. ; RAMALHO, M. A. P. . Contribuição do melhoramento de plantas no Brasil.. In: ERNESTO PATERNIANI. (Org.). **Agricultura Brasileira e Pesquisa Agropecuária**. Brasília: EMBRAPA, 2000, v. , p. 57-89.

VIEIRA, N.M.B. **Crescimento e marcha de absorção de nutrientes no feijoeiro cvs. BRS MG Talismã e Ouro Negro, no ambiente 1 e ambiente 2.** 2006. 145p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras: Lavras, MG.

VIEIRA, C. ; PAULA JÚNIOR, T. J. ; BORÉM, A. Feijão. 3ed. Viçosa: UFV, p. 13-19, 2014.

WHITE W.J. FRIJOL: Investigaciony Produccion. Cali: **CIAT**, 1985. p. 419

ZIMMERMANN, M.J.O. ; ROSIELLE, A.A. ; WAINES, J.G. Heritabilities of grain yield of common bean in sole crop and in intercrop with maize. **Crop Science**, Illinois, v.24, n.3, p.641-644, 1984

ANEXO

Tabela 1A: Análise de variância dialélica para o índice de colheita nas gerações F₂, F₃ e F₄.

FV	GL	F ₂ (x 100)		F ₃ (x 100)		F ₄ (x 100)	
		QM	P	QM	P	QM	P
Tratamentos	20	1,59	0,00	1,16	0,00	0,81	0,00
CGC	5	2,63	0,00	2,09	0,00	0,58	0,22
CEC	15	1,25	0,00	0,85	0,12	0,88	0,00
Erro	60	0,26		0,28		0,13	
Média		0,33		0,35		0,3	
Acurácia		91,45		87,04		91,28	

Tabela 2A: Análise de variância dialélica para peso de grãos por planta nas gerações F₂, F₃ e F₄.

FV	GL	F ₂		F ₃		F ₄	
		QM	P	QM	P	QM	P
Tratamentos	20	43,96	0,00	22,18	0,01	20,99	0,00
CGC	5	130,53	0,00	53,73	0,00	23,98	0,00
CEC	15	15,11	1,00	11,66	0,39	19,99	0,00
Erro	60	15,51		10,82		3,28	
Média		14,45		10,68		8,76	
Acurácia		80,45		71,56		91,84	