

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**GABRIELA DOS SANTOS PEREIRA**

**MELHORAMENTO DE FEIJÃO VERMELHO POR SELEÇÃO RECORRENTE NA  
UFV: POTENCIAL DE LINHAGENS E FAMÍLIAS E PROGRESSO GENÉTICO**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS  
2021**

**GABRIELA DOS SANTOS PEREIRA**

**MELHORAMENTO DE FEIJÃO VERMELHO POR SELEÇÃO RECORRENTE NA  
UFV: POTENCIAL DE LINHAGENS E FAMÍLIAS E PROGRESSO GENÉTICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro

**VIÇOSA – MINAS GERAIS  
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

P436p  
2021  
Pereira, Gabriela dos Santos, 1996-  
Melhoramento de feijão vermelho por seleção recorrente na  
UFV : potencial de linhagens e famílias e progresso genético /  
Gabriela dos Santos Pereira. – Viçosa, MG, 2021.  
66 f. : il. ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 51-59.

1. Feijão - Melhoramento genético. 2. Índice de seleção. 3.  
*Phaseolus vulgaris* L. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em  
Genética e Melhoramento. II. Título.

CDD 22. ed. 635.6525

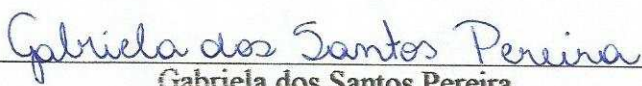
**GABRIELA DOS SANTOS PEREIRA**

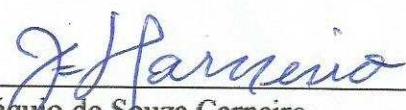
**MELHORAMENTO DE FEIJÃO VERMELHO POR SELEÇÃO RECORRENTE NA  
UFV: POTENCIAL DE LINHAGENS E FAMÍLIAS E PROGRESSO GENÉTICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 22 de março de 2021

Assentimento:

  
\_\_\_\_\_  
Gabriela dos Santos Pereira  
Autora

  
\_\_\_\_\_  
José Eustáquio de Souza Carneiro  
Orientador

Ao meu pai Mauricio.

A minha mãe Gilce.

Aos meus irmãos, Bruno e Helen.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Acima de tudo agradeço a Deus, por ser meu amparo em todos os momentos e iluminar minha caminhada, tornando possível a conclusão dessa etapa em minha vida.

Aos meus pais, Gilce e Mauricio, pelo suporte e apoio em minhas decisões. Aos meus irmãos, Bruno e Helen, pelo companheirismo, amizade e momentos de descontração.

Agradeço a Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento pela oportunidade de realizar o mestrado. Também agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao meu orientador José Eustáquio de Souza Carneiro, pela orientação e todos os conhecimentos compartilhados ao longo dessa caminhada.

Ao professor Pedro Crescêncio Souza Carneiro, pelos ensinamentos transmitidos.

Aos funcionários do Programa Feijão, Vale da Agronomia e da Estação Experimental de Coimbra, pela disponibilidade e pelo auxílio na condução dos experimentos.

Aos colegas do Programa Feijão pelas trocas de experiências, por toda ajuda durante a condução dos experimentos, pela amizade, pelos momentos de descontração e pela convivência ao longo dessa caminhada.

Ao meu grande amigo Robert, pelo carinho, pelas conversas, amizade e momentos de descontração. A minha amiga Ana Laura, pela parceria em todos os momentos. A minha amiga Brenda pelos conselhos, e que mesmo a distância, sempre esteve disponível para nossas conversas. As minhas amigas Daiane, Danúbia e Sabrina, pelo companheirismo e amizade de sempre.

Enfim, agradeço a todos que estiveram ao meu lado e contribuíram para realização desse trabalho.

**MUITO OBRIGADA!**

## **BIOGRAFIA**

GABRIELA DOS SANTOS PEREIRA, filha de Mauricio Pereira Lopes e Gilce Maria dos Santos Lopes, nasceu em Viçosa, Minas Gerais, Brasil, em 26 de dezembro de 1996.

Em janeiro de 2019 obteve o título de Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

Em março de 2019 iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa em março de 2021.

## RESUMO

PEREIRA, Gabriela dos Santos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2021. **Melhoramento de feijão vermelho por seleção recorrente na UFV: Potencial de linhagens e famílias e progresso genético.** Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro.

O feijão vermelho é amplamente cultivado e consumido na região da Zona da Mata Mineira. Visando disponibilizar novos cultivares de feijão para os produtores, especialmente desta região, a Universidade Federal de Viçosa (UFV) tem em curso um programa de seleção recorrente com vistas ao desenvolvimento de linhagens de feijão vermelho. Assim, os objetivos com este trabalho foram: avaliar e selecionar linhagens do ciclo C<sub>III</sub>, visando a composição de futuros Ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU); avaliar e selecionar famílias do C<sub>IV</sub>, visando recombinação e extração de linhagens; e estimar o progresso genético do último ciclo de seleção recorrente (C<sub>III</sub> para o C<sub>IV</sub>). Inicialmente, foram avaliadas 600 linhagens oriundas do C<sub>III</sub> nas safras das águas de 2018 e seca de 2019. O delineamento experimental foi em blocos aumentados e foram avaliados a arquitetura da planta, o aspecto comercial dos grãos e a produtividade. Com base nesse experimento, e utilizando o índice genótipo-ideótipo, foram selecionadas 220 linhagens. Estas e cinco testemunhas foram novamente avaliadas nas águas de 2019, no delineamento em látice quadrado com três repetições. Utilizando o índice genótipo-ideótipo, foram selecionadas 59 linhagens elites com potencial para compor os futuros Ensaios de VCU no estado de Minas Gerais. Também foram avaliadas 380 famílias do C<sub>IV</sub> nas gerações S<sub>0:1</sub> e S<sub>0:2</sub>, nas safras das águas de 2018 e seca de 2019, respectivamente. Estas progênies e 20 testemunhas foram avaliadas no delineamento em látice 20 x 20, com duas repetições na geração S<sub>0:1</sub> e três repetições na geração S<sub>0:2</sub>. Por meio do índice genótipo-ideótipo, foram selecionadas 115 famílias que, posteriormente, foram avaliadas na safra das águas de 2019 (S<sub>0:1</sub>), no delineamento em látice quadrado triplo. A seleção de famílias, visando a recombinação e extração de linhagens, foi realizada por meio do índice genótipo-ideótipo, utilizando as médias dos caracteres avaliados nas três gerações. O progresso genético foi estimado com base em experimentos de avaliação de famílias nas gerações S<sub>0:1</sub> e S<sub>0:2</sub>, dos ciclos C<sub>III</sub> e C<sub>IV</sub>, por meio das médias ajustadas com base em testemunhas comuns aos vários experimentos. O progresso genético para produtividade de grãos foi em torno de 5%, enquanto para arquitetura da planta foi de 6,31%. Para aspecto comercial dos grãos não houve progresso genético, evidenciando a necessidade de inclusão de novos genitores na etapa de recombinação. Foram obtidas linhagens de feijão vermelho com desempenho médio superior ao das testemunhas Ouro Vermelho e CIAT 22, portanto, com

potencial para serem incluídas em futuros Ensaios de VCU no estado de Minas Gerais. Foram identificadas vinte famílias, provenientes do ciclo C<sub>IV</sub>, com potencial para extração de linhagens superiores.

Palavras-chave: Índice de seleção. Melhoramento do feijoeiro. *Phaseolus vulgaris* L.

## ABSTRACT

PEREIRA, Gabriela dos Santos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2021. **Improvement of red beans through the UFV's recurrent selection program: Potential of lineages and families and genetic progress.** Advisor: José Eustáquio de Souza Carneiro.

Red beans are widely cultivated and consumed in the Zona da Mata Mineira region. Aiming to make new bean cultivars available to producers, especially in this region, the Federal University of Viçosa (UFV) has ongoing a recurrent selection program with a view to developing red bean lineages. Thus, the objectives of this work were: to evaluate and select lineages of the cycle  $C_{III}$ , aiming at the composition of future Value of Cultivation and Use Trials (VCU); to evaluate and select families of the cycle  $C_{IV}$ , aiming at recombination and extraction of lineages; and to estimate the genetic progress of the last cycle of recurrent selection (cycle  $C_{III}$  to cycle  $C_{IV}$ ). Initially, 600 lineages from  $C_{III}$  were evaluated in the 2018 rainy season and 2019 dry season. The experimental design was augmented blocks and the plant architecture, the commercial aspects of the grains and the productivity were evaluated. Based on this experiment, and using the genotype-ideotype index, 220 lineages were selected. These and five controls were evaluated again in the 2019 rainy season, in a square lattice design with three replications. Using the genotype-ideotype index, 59 elite lineages with potential to compose future VCU trials in the state of Minas Gerais were selected. A total of 380 families from the  $C_{IV}$  were also evaluated in the  $S_{0:1}$  and  $S_{0:2}$  generations, in the 2018 rainy season and 2019 dry season, respectively. These progenies and 20 controls were evaluated in a 20 x 20 lattice design, with two replicates in the  $S_{0:1}$  generation and three replicates in the  $S_{0:2}$  generation. Using the genotype-ideotype index, 115 families were selected and subsequently evaluated in the 2019 rainy season ( $S_{0:1}$ ), in a triple square lattice design. The selection of families, aiming at recombination and extraction of lineages, was performed using the genotype-ideotype index, using the means of the evaluated characters in the three generations. Genetic progress was estimated based on experiments to evaluate families in the generations  $S_{0:1}$  and  $S_{0:2}$  of cycle  $C_{III}$  and cycle  $C_{IV}$ , using adjusted means based on common controls in several experiments. Genetic progress for grain yield was around 5%, while for plant architecture it was 6,31%. For the commercial aspect of the grains, there was no genetic progress, evidencing the need to include new parents in the recombination stage. Red bean lineages were obtained with an average superior performance to that of the Ouro Vermelho and CIAT 22 controls, therefore, with the potential to be

included in future VCU trials in the state of Minas Gerais. Twenty families, from the cycle C<sub>IV</sub>, with potential for extracting superior lineages were identified.

Keywords: Selection index. Bean breeding. *Phaseolus vulgaris* L.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	11
2 OBJETIVOS .....	12
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
3.1 Cultivo de feijão no Brasil .....	12
3.2 Melhoramento do feijoeiro no Brasil.....	14
3.2.1 Tipos de grãos.....	16
3.2.2 Principais métodos de melhoramento .....	17
3.2.3 Seleção recorrente .....	20
3.3 Métodos de avaliação do progresso genético.....	22
3.4 Seleção recorrente no melhoramento do feijoeiro.....	23
3.5 Estratégias de seleção de linhagens para composição dos Ensaios de VCU .....	25
3.6 Índices de seleção .....	26
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	27
4.1 Localização e manejo dos experimentos .....	27
4.2 Programa de seleção recorrente de feijão vermelho da UFV.....	27
4.2.1 Obtenção da população base ( $C_0$ ) .....	27
4.2.2 Obtenção do ciclo um ( $C_I$ ).....	28
4.2.3 Obtenção do ciclo dois ( $C_{II}$ ) .....	28
4.2.4 Obtenção dos ciclos três ( $C_{III}$ ) e quatro ( $C_{IV}$ ) .....	29
4.3 Avaliação de linhagens oriundas de três ciclos de seleção recorrente .....	29
4.4 Avaliação de famílias oriundas de quatro ciclos de seleção recorrente.....	30
4.5 Caracteres avaliados .....	30
4.6 Análises genético-estatísticas.....	31
4.7 Ganho genético do ciclo $C_{III}$ para o $C_{IV}$ .....	34
5 RESULTADOS .....	35
5.1 Avaliação e seleção de linhagens do ciclo $C_{III}$ .....	35
5.2 Avaliação e seleção de famílias do ciclo $C_{IV}$ .....	38
5.3 Progresso genético do ciclo $C_{III}$ para o $C_{IV}$ .....	43
6 DISCUSSÃO .....	44
7 CONCLUSÕES .....	50
REFERÊNCIAS .....	51
APÊNDICE.....	59

## 1 INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) apresenta grande importância socioeconômica no Brasil, que é o maior produtor mundial dessa leguminosa (IBRAFE, 2020). É cultivado em praticamente todo o território nacional, por pequenos, médios e grandes produtores, que adotam diferentes níveis tecnológicos no cultivo. Além disso, o feijão é constituinte da dieta da maioria dos brasileiros, sendo uma importante fonte de proteínas e minerais.

O feijoeiro apresenta grande diversidade de grãos, sendo os feijões do tipo carioca e preto os mais consumidos no Brasil. Por isso, os programas de melhoramento visam desenvolver, principalmente, cultivares com esses tipos de grãos. Entretanto, há outros tipos de grãos que apresentam importância regionalizada, como por exemplo, o feijão vermelho, amplamente cultivado na Zona da Mata Mineira. Apesar da recomendação de alguns cultivares para a região, há uma demanda crescente por cultivares de feijão vermelho que associem maior número de fenótipos favoráveis, como arquitetura ereta de planta, resistência a patógenos e boa qualidade comercial dos grãos, além do potencial de produção.

Em função dessa importância do feijão vermelho, a Universidade Federal de Viçosa (UFV) vem conduzindo um programa voltado ao melhoramento deste tipo de grão. Um dos primeiros cultivares oriundo desse programa foi o Ouro Vermelho, com ganhos significativos em produtividade e qualidade de grãos (Carneiro et al., 2006).

Uma das metodologias adotadas no programa de melhoramento de feijão vermelho da UFV é a seleção recorrente, já utilizada com sucesso no melhoramento do feijoeiro (Alves et al., 2015; Arantes et al., 2010; Menezes Júnior et al., 2008; Ramalho et al., 2005). Além disso, essa metodologia também é empregada em outras espécies, como o arroz (Moraes Júnior et al., 2017; Cordeiro e Rangel, 2011), o trigo (Zhang et al., 2015; Niu et al., 2010) e a soja (Posadas et al., 2014).

De acordo com Ramalho et al. (2012a) a seleção recorrente é um processo cíclico, que abrange as etapas de obtenção de uma população base, avaliação de indivíduos ou famílias e recombinação dos melhores indivíduos ou famílias, cujo resultado é o aumento da frequência de alelos favoráveis na população. O sucesso obtido por esse método é dependente da eficiência da seleção das melhores famílias a serem recombinadas. Além disso, a cada ciclo são extraídas linhagens visando à composição dos futuros Ensaios de Valor de Cultivo e Uso (Ensaios de VCU).

A obtenção de estimativas de progresso genético ao longo dos ciclos de seleção, é importante para direcionar as futuras ações em um programa de seleção recorrente (Melo, 2016). Existem diversas metodologias que permitem estimar o progresso genético em um programa de melhoramento, como o método direto, o método de Vencovsky et al. (1986), o método da regressão com dados originais, o método da testemunha como fator de correção, o método da regressão com dados standardizados, entre outros. A escolha do melhor método depende dos objetivos dos melhoristas, dos recursos disponíveis dentro do programa e do prazo estabelecido.

Na literatura são encontrados trabalhos relativos ao programa de seleção recorrente de feijão vermelho da UFV. Menezes Júnior (2011) obteve em média 7% de progresso genético para produtividade dos grãos, avaliando os ciclos  $C_0$  e  $C_I$  do programa de seleção recorrente apresentado neste trabalho. Da mesma forma, Melo (2016) obteve estimativa média de 4,81% de progresso genético para produtividade, avaliando os  $C_0$ ,  $C_I$  e  $C_{II}$ .

## 2 OBJETIVOS

Dar continuidade ao programa de seleção recorrente de feijão vermelho da UFV, com vistas à recomendação de novos cultivares para o estado de Minas Gerais;

Avaliar e selecionar linhagens de feijão vermelho do ciclo  $C_{III}$ , visando à composição de futuros Ensaios de VCU em Minas Gerais;

Avaliar e selecionar famílias de feijão vermelho do ciclo  $C_{IV}$ , visando recombinação e extração de linhagens;

Estimar o progresso genético do ciclo  $C_{III}$  para o  $C_{IV}$  do programa de seleção recorrente no melhoramento de feijão vermelho da Universidade Federal de Viçosa.

## 3 REFERENCIAL TEÓRICO

### 3.1 Cultivo de feijão no Brasil

O feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) apresenta grande importância no agronegócio brasileiro, em razão da sua ampla adaptação edafoclimática que permite o cultivo em praticamente todo o país, além de ser consumido diariamente pela maioria da população. É reconhecido como um alimento de alto valor nutricional, devido ao seu teor de proteínas e minerais (Ribeiro, 2010). Apresenta também, grande importância socioeconômica pela

geração de emprego, em virtude da demanda de mão-de-obra durante o ciclo da cultura (Moura e Brito, 2015).

Na safra 2020/2021, a estimativa de produção do Brasil foi de 2,43 milhões de toneladas de feijão-comum, em uma área de 1,61 milhões de hectares (Conab, 2020a). Os maiores estados produtores, Paraná, Minas Gerais e Mato Grosso são responsáveis por aproximadamente 47% dessa produção. Além disso, nosso país se destaca como um dos maiores consumidores dessa leguminosa, já que na temporada 2019/2020 o consumo total estimado foi de 3,05 milhões de toneladas (Conab, 2020b). Em 2018 o consumo *per capita* foi de 14,5 kg/ano (Conab, 2019).

Em algumas regiões brasileiras é possível fazer até três safras por ano. A primeira safra é conhecida como “safra das águas”, com semeadura de agosto a dezembro, concentrando-se nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. A segunda safra, denominada “safra da seca”, possui semeadura entre os meses de janeiro a abril e abrange alguns estados da região Sul e as regiões Centro-Oeste, Nordeste e Sudeste. Por fim, a terceira safra ou “safra de outono/inverno”, apresenta semeadura entre os meses de maio a julho, e é realizada nas regiões Centro-Oeste e Sudeste, além dos estados do Paraná e Bahia (Moura e Brito, 2015). As duas primeiras safras do feijoeiro são cultivadas basicamente por pequenos e médios produtores, que empregam menor nível tecnológico e muitas vezes adotam sistemas consorciados. Já a terceira safra, é cultivada principalmente por grandes produtores, que adotam maior nível tecnológico, como a irrigação durante o cultivo (Heinemann et al., 2016; Moura e Brito, 2015).

No Brasil, o feijão pode ser produzido em monocultivo ou em sistemas consorciados. O consórcio é adotado principalmente em pequenas áreas, devido a dificuldade na condução da lavoura, especialmente quando se utiliza mecanização (Soares e Portes, 2014; Carneiro et al., 2015). O feijoeiro é preferido nos consórcios devido ao seu ciclo curto e possibilidade de plantio em diferentes épocas do ano, além de ser um alimento básico da população, com mercado garantido (Carneiro et al., 2015). A cultura apresenta desempenho satisfatório quando consorciada com o milho, o café, a mandioca, a cana-de-açúcar ou o eucalipto.

Em cultivos com adoção de tecnologias avançadas, como a irrigação, é possível alcançar produtividades superiores a  $3.000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , o que evidencia o potencial de rendimento do feijoeiro (Borém e Carneiro, 2015). Entretanto, a média nacional ainda está abaixo desse potencial, pois na safra 2020/2021 a estimativa é de  $1.492 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Conab, 2020a). A causa dessa baixa média de produtividade brasileira é o baixo nível tecnológico adotado por pequenos e médios produtores (Melo, 2016; Tsutsumi et al., 2015).

De acordo com Mitidiero Junior et al. (2017), os pequenos produtores são responsáveis pela produção de aproximadamente 70% do feijão nacional. Além disso, os grandes produtores são desestimulados a explorar o feijoeiro devido à dificuldade de mecanização da colheita, e ao elevado risco de perdas, uma vez que pode ocorrer déficit hídrico nas fases críticas de desenvolvimento da cultura ou a colheita pode coincidir com o período chuvoso, conforme a época de plantio (Borém e Carneiro, 2015).

O feijoeiro apresenta grande diversidade quanto à cor do tegumento dos grãos, que são comercializados e consumidos de forma regionalizada. Na década de 1970, feijões com tegumento bicolor, como os rajados, eram muito pouco utilizados, pois predominava os feijões com tegumento de coloração única, como o feijão preto, amarelo, rosinha, roxinho e jalo (Bulisani, 2008). Atualmente, feijões do tipo carioca, preto, vermelho, roxo, rosinha, mulatinho e manteigão, são os mais cultivados no Brasil (Melo, 2016). Entretanto, os tipos carioca e preto, são os mais aceitos no mercado (Menezes Júnior et al., 2011). Ressalta-se que o tipo carioca é o mais cultivado e consumido no país (Ramalho e Abreu, 2015), enquanto o feijão preto é mais consumido na região Sul, e nos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. Além da cor do tegumento, existem outros fatores que influenciam na comercialização, como o brilho, a forma e o tamanho do grão.

No passado, o feijão preto era muito cultivado em Minas Gerais, principalmente na região da Zona da Mata. Atualmente, nessa região, há preferência por grãos do tipo vermelho, que geralmente alcançam bons preços no mercado e são muito importantes para a economia da região (Ramalho e Abreu, 2015; Prado, 2014; Freitas, 2012). Portanto, desde os anos 1990 a Universidade Federal de Viçosa (UFV) vem desenvolvendo um programa de melhoramento genético com ênfase em grãos vermelhos, para atender as demandas dos produtores da Zona da Mata Mineira (Prado, 2014; Freitas, 2012; Menezes Júnior et al., 2011).

### **3.2 Melhoramento do feijoeiro no Brasil**

O uso de cultivares melhorados é uma alternativa de baixo custo, que beneficia pequenos e grandes produtores, pois visa aumentar a produtividade e diminuir o custo de produção, resultando em maior lucro. Assim, os programas de melhoramento buscam constantemente por novos cultivares que apresentem vantagens em comparação aos demais, além de estabilidade em diferentes condições de cultivo (Ramalho e Abreu, 2015; Martins, 2015).

O melhoramento genético do feijoeiro no Brasil é realizado desde a década de 1970, predominantemente através de instituições públicas (Coelho et al., 2017; Matos et al., 2007). As principais instituições são: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Universidade Federal de Lavras (UFLA) e UFV (Freitas, 2012).

Os principais objetivos dos programas de melhoramento estão relacionados às características da própria espécie, como por exemplo, fixação biológica de nitrogênio (FBN), resistência a doenças e insetos, arquitetura da planta, aumento na produção de grãos e aspectos nutricionais e tecnológicos (Coelho et al., 2017; Ramalho e Abreu, 2015; Tsutsumi et al., 2015; Assefa et al., 2019).

A FBN é um processo que diminui a dependência de insumos externos, o que contribui para reduzir o custo de produção. Existe variabilidade genética em relação à eficiência desse processo, devido a maior capacidade de nodulação em alguns genótipos (Salgado et al., 2012; Alcantara et al., 2009). Logo, o melhoramento desempenha um importante papel na otimização do fornecimento de nitrogênio através da fixação biológica, trazendo benefícios ao produtor e ao meio ambiente (Marques et al., 2018; Alcantara et al., 2009).

As doenças que acometem o feijoeiro são uma das principais causas de redução da produtividade de grãos, uma vez que essa leguminosa é hospedeira de inúmeros fitopatógenos (Passos, 2016; Tsutsumi et al., 2015). Pode-se citar como principais doenças a antracnose, a mancha-angular, o crestamento-bacteriano-comum, a ferrugem e o mosaico-dourado, a murcha-de-fusarium e o mofo-branco, sendo essas duas últimas doenças muito importantes em cultivos irrigados (Júnior et al., 2015; Martins, 2015; Tsutsumi et al., 2015). Nesse cenário, o melhoramento de plantas visa desenvolver cultivares tolerantes ou resistentes a essas doenças, pois essa medida é de fácil adoção pelos agricultores, por ser de baixo custo, além de reduzir a poluição ambiental (Ramalho e Abreu, 2015; Cândida et al., 2009). Esse processo de melhoramento deve ser contínuo, pois existe um grande desafio, que é desenvolver resistência duradoura, já que os patógenos apresentam variabilidade genética, assim como o feijoeiro, implicando na quebra de resistência (Ramalho e Abreu, 2015; Di Piero e Garda, 2008).

As condições de cultivo em muitas regiões brasileiras favorecem a multiplicação de pragas, devido principalmente à sucessão e rotação de culturas, mantendo o hospedeiro no campo durante o ano inteiro. Mosca-branca, cigarrinha-verde, vaquinhas, lagartas, ácaros e

percevejos, são as pragas que mais causam redução da produção do feijoeiro (Quintela e Barbosa, 2015). Segundo Tsutsumi et al. (2015), a resistência de um genótipo a pragas normalmente ocorre pela redução da atratividade da planta ao inseto.

De acordo com Moura et al. (2013), o diâmetro do hipocótilo, o ângulo de inserção dos ramos e a altura de plantas na colheita apresentam uma relação de causa e efeito com a arquitetura do feijoeiro. Além desses caracteres, a arquitetura também é influenciada por fatores ambientais, pois em locais com elevada umidade e temperatura, as plantas apresentam tendência ao acamamento (Melo, 2016). Então, os programas de melhoramento buscam cultivares com arquitetura ereta, para facilitar os tratos culturais, reduzir a incidência de doenças, como o mofo-branco, e permitir a colheita mecanizada, uma vez que a colheita manual apresenta alto custo com a mão de obra (Silva et al., 2009).

Segundo Martins (2015), é atribuído ao melhoramento genético o incremento de 50% na produtividade das principais espécies cultivadas. Portanto, os programas de melhoramento buscam constantemente por cultivares mais produtivas e com maior estabilidade de produção, associadas a resistência a fatores bióticos e abióticos, assim como características de qualidade nutricional (Martins, 2015; Carmo et al., 2007).

O feijão também é um alimento estratégico para suprir algumas carências nutricionais da população, visto que é a principal fonte de proteínas de origem vegetal na alimentação humana, especialmente para vegetarianos e veganos (Pereira et al., 2018; Steckling et al., 2017). Por isso, visando atender as exigências do mercado consumidor, os programas de melhoramento desenvolvem pesquisas objetivando melhorias na qualidade nutricional e tecnológica do feijoeiro (Di Prado, 2017). Como resultado, os melhoristas ofertam produtos com maiores teores de minerais, principalmente ferro e zinco, sem custo adicional e sem alterações em relação à cor, sabor do alimento e sua forma de preparo (Di Prado, 2017; Martins, 2015; Ribeiro, 2010).

### **3.2.1 Tipos de grãos**

Os consumidores brasileiros apresentam maior preferência por feijões do tipo carioca e preto, por isso os programas de melhoramento visam desenvolver, principalmente, cultivares com esses padrões de grãos. O primeiro cultivar com grãos do tipo carioca foi lançado em 1970 pelo IAC, e foi denominado “Carioca” ou “Carioquinha” (Carbonell et al., 2012). Em relação ao feijão preto, destacam-se os cultivares Rico 23 que foi recomendado para Minas Gerais em 1959, e o cultivar Ouro Negro, inserido no estado em 1991 (Silva,

2018). Então, desde o início dos programas de melhoramento genético, vários cultivares já foram recomendados para o Brasil.

Com o aumento da apreciação pelo feijão vermelho na Zona da Mata Mineira, a UFV e a EPAMIG empenharam-se no desenvolvimento de cultivares com esse tipo de grão. Até meados da década de 2000, o cultivar crioulo, denominado Vermelhinho era amplamente cultivado na região (Melo, 2016). A partir de 2002, esses estudos ganharam mais força devido ao convênio intitulado “Melhoramento de Feijão para o Estado de Minas Gerais”, estabelecido entre a UFV, a UFLA, a EPAMIG e a EMBRAPA (Prado, 2014).

Para iniciar o programa da UFV, realizou-se cruzamentos envolvendo o cultivar Vermelhinho, e outros cultivares já melhorados, inclusive com diferentes tipos de grãos, como o carioca (Prado, 2014). A partir desse trabalho, foi recomendado em 2005, o cultivar Ouro Vermelho, que apresentava um aumento de 31% na produção, em comparação ao cultivar Vermelhinho (Carneiro et al., 2006). Esse cultivar apresentou grande aceitação pelos agricultores, devido a sua cor vermelho brilhante, seu formato e tamanho uniformes, além de um tempo de cocção de aproximadamente 30 minutos (Prado, 2014).

A susceptibilidade do cultivar Ouro Vermelho às doenças antracnose, ferrugem e mancha angular levou a um trabalho de piramidação de genes de resistência aos patógenos causadores destas doenças, desenvolvido pelo Programa de Melhoramento do Feijoeiro do Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária (BIOAGRO/UFV). O resultado desse trabalho foi a obtenção do Ouro Vermelho Piramidado (OVR), com genes de resistência a essas doenças (Freitas, 2012). Apesar dos avanços obtidos em relação ao feijão do tipo vermelho, a busca por novos cultivares deve ser contínua, visto que a demanda por esse grão é crescente (Menezes Júnior, 2011).

### **3.2.2 Principais métodos de melhoramento**

Na cultura do feijoeiro, as principais estratégias de melhoramento adotadas são a introdução de linhagens superiores de outros programas ou outros países; utilização da variabilidade natural em uso pelos agricultores; e a hibridação, que permite explorar a variabilidade genética dos genótipos.

A introdução de linhagens foi uma estratégia muito utilizada no passado, e inúmeros cultivares provenientes principalmente do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) foram introduzidas por pesquisadores brasileiros (Menezes Júnior, 2011). Essas linhagens eram avaliadas nas condições locais e recomendadas de acordo com seu

desempenho. Os exemplos de grande sucesso no Brasil são os cultivares Rico 23 e Ouro Negro, que são originários da Costa Rica e Honduras, respectivamente (Menezes Júnior, 2011). Entretanto, esse método atualmente está em desuso, principalmente devido à lei de proteção de cultivares, no qual deve haver acordo prévio entre a instituição que obteve a linhagem e a que irá recomendá-la (Ramalho e Abreu, 2015).

A seleção de linhas puras é outro método de melhoramento, que utiliza a variabilidade natural em uso pelos agricultores. Essa variabilidade é proveniente de misturas mecânicas, mutações e cruzamentos naturais entre diferentes genótipos, já que a maioria dos produtores utilizam os grãos colhidos como sementes para a próxima safra. O cultivar Carioca foi o maior sucesso brasileiro obtido por esse método, pois ele foi identificado pelo engenheiro agrônomo Waldimir Antunes em uma lavoura semeada com o cultivar Chumbinho, que possuía uma única cor no tegumento (Wutke e Mascarenhas, 2012). Hoje, cultivares com grãos do tipo carioca são os mais cultivados no Brasil.

Com a redução da variabilidade natural, os melhoristas buscaram outras estratégias de melhoramento para explorar a variabilidade genética e permitir uma seleção mais eficiente (Borém e Miranda, 2013). Assim, surgiu o método conhecido como hibridação, sendo o mais utilizado atualmente. Essa técnica visa reunir em um novo cultivar fenótipos de interesse agrônomo, mas que estão em cultivares diferentes (Ramalho e Abreu, 2015; Borém e Miranda, 2013). O melhoramento por hibridação começa com a escolha dos genitores para realização dos cruzamentos, seguido pelo avanço das populações segregantes até atingir a homozigose, com posterior seleção e avaliação das linhagens.

Existem algumas metodologias que auxiliam na escolha dos genitores, como por exemplo, a utilização das médias dos experimentos de avaliação de cultivares, os cruzamentos dialélicos, as análises multivariadas e o desempenho *per se* dos genitores (Menezes Júnior, 2011; Silva, 2009). Essa é a etapa mais importante, pois o sucesso de um programa de melhoramento depende dessa escolha. Com os genitores estabelecidos procede-se aos cruzamentos.

Os cruzamentos podem ser simples, duplos, triplos ou múltiplos. O potencial de populações segregantes, provenientes desses cruzamentos, pode ser predito por meio de estimativas de  $m + a'$  e  $d$  e pelo método de Jinks e Pooni (1976).

Além disso, o melhorista deve decidir qual o melhor método para a condução das populações segregantes a homozigose. Os métodos mais utilizados para a cultura do feijoeiro são o método genealógico ou “pedigree”, o da população ou *bulk*, o da descendência por uma

única semente (SSD) e o método *bulk* dentro de famílias  $S_0$ ,  $S_1$  ou  $S_2$  (Menezes Júnior, 2011; Silva, 2009).

O método genealógico também conhecido como “pedigree”, foi muito utilizado para obtenção de linhagens em plantas autógamas até a década de 1970, mas seu uso está sendo reduzido (Borém e Miranda, 2013). Esse método se baseia na seleção individual de plantas a partir da geração  $S_0$ , que serão avaliadas separadamente. Nessas avaliações são selecionadas as melhores famílias e as melhores plantas dentro de cada família. Esse processo é repetido até se atingir o nível de homozigose desejado. Esse método apresenta como vantagens, o controle do grau de parentesco durante as seleções e o descarte de progênes indesejadas em gerações precoces (Borém e Miranda, 2013; Silva, 2009). Entretanto, questiona-se sua eficiência para caracteres de baixa herdabilidade, já que a seleção realizada nas gerações iniciais é apenas fenotípica (Menezes Júnior, 2011; Silva, 2009).

O método da população ou *bulk* é um método simples, no qual as plantas  $S_0$  são colhidas em conjunto (*bulk*) e uma amostra dessas sementes é utilizada para obter a geração  $S_1$ . Esse processo é repetido por algumas gerações até a seleção de plantas superiores dentro da população, e essas plantas selecionadas são conduzidas a homozigose. Portanto, esse método explora a capacidade produtiva e competitiva dos genótipos, pois os indivíduos que deixam mais descendentes contribuem de forma expressiva para a próxima geração. A maior limitação desse método é a perda de um genótipo desejável devido a baixa capacidade de competição (Borém e Miranda, 2013).

Para aumentar a eficiência do processo seletivo, no qual a seleção intensiva é realizada após algumas gerações de endogamia, o método *bulk* dentro de famílias vem sendo utilizado. Esse método consiste na seleção de plantas individuais dentro da geração  $S_0$ ,  $S_1$  ou  $S_2$ , no qual cada planta origina uma família. Essas famílias obtidas são colhidas em *bulk* e avaliadas em experimentos com repetições, em diferentes safras e locais (Menezes Júnior, 2011). Logo, os efeitos da interação GxA são atenuados, obtendo-se uma seleção mais criteriosa entre as famílias, especialmente para caracteres de baixa herdabilidade (Carneiro, 2002). Esse método vem sendo muito utilizado em programas de melhoramento do feijoeiro no Brasil, especialmente em programas de seleção recorrente (Menezes Júnior et al., 2008; Ramalho et al., 2005).

O método da descendência por uma única semente, também conhecido como SSD (*Single Seed Descent*), é baseado na utilização de uma única semente de cada indivíduo a partir da geração  $S_0$ , para constituir a geração seguinte. Esse processo é realizado por várias gerações, até se atingir a homozigose desejada. Então, cada linhagem corresponde a uma

planta  $S_0$ , o que garante melhor amostragem dos indivíduos (Silva, 2009; Carneiro, 2002). A principal vantagem desse método é o rápido avanço de gerações, que podem ocorrer fora da época, em casas de vegetação. Entretanto, para o feijoeiro no Brasil, essa vantagem não é tão importante, visto que é possível conduzir até três safras por ano em algumas regiões (Menezes Júnior, 2011; Carneiro, 2002). Ressalta-se como desvantagens, a pequena oportunidade de seleção em gerações precoces e perda de variabilidade dentro das famílias, com o avanço da endogamia (Borém e Miranda, 2013; Menezes Júnior, 2011).

Portanto, a escolha do melhor método de seleção em populações segregantes depende de inúmeros fatores, como mão de obra disponível, características de interesse e objetivos dos programas. Devido a dificuldade em obter genótipos com todos os alelos favoráveis em um único ciclo de seleção, a estratégia que vem sendo utilizada com sucesso nos programas de melhoramento é a seleção recorrente.

### **3.2.3 Seleção recorrente**

Segundo Ramalho et al. (2012a), a seleção recorrente é qualquer processo cíclico de melhoramento, envolvendo a obtenção de progênes, avaliação e recombinação das melhores visando um novo ciclo de seleção. Através dessa estratégia, espera-se o aumento da frequência de alelos favoráveis, expressos pela melhoria da característica de interesse, mantendo a variabilidade genética.

Inicialmente esse método foi proposto para espécies alógamas, devido à facilidade na condução dos cruzamentos. Entretanto, a utilização da seleção recorrente em plantas autógamas como o arroz (Morais Júnior et al., 2017; Cordeiro e Rangel, 2011), feijão (Alves et al., 2015; Arantes et al., 2010; Menezes Júnior et al., 2008; Ramalho et al., 2005), trigo (Zhang et al., 2015; Niu et al., 2010) e soja (Posadas et al., 2014) têm sido empregada com sucesso.

Como as espécies autógamas sofrem sucessivas autofecundações, não é possível aproveitar alelos favoráveis em diferentes indivíduos, se fazendo necessário o uso de novas hibridações (Ramalho et al., 1993). Além disso, os melhoristas trabalham com muitos caracteres quantitativos, o que dificulta o processo de seleção e faz com que o melhoramento seja realizado em etapas (Ramalho et al., 2012a). Por isso, a seleção recorrente tem alcançado bons resultados em plantas autógamas. Essa estratégia apresenta como vantagens a manutenção da variabilidade genética através dos intercruzamentos, aumento na frequência de

alelos favoráveis e facilidade para inclusão de novos genitores a cada ciclo, na etapa de recombinação.

A primeira etapa de um programa de seleção recorrente é a obtenção da população base. O objetivo nessa etapa é obter uma população que associe média alta e maior variabilidade genética possível (Ramalho et al., 2012a). A escolha dos genitores precisa ser realizada de forma criteriosa, pois implicará no sucesso do programa. Logo, recomenda-se que esses genitores sejam bem adaptados, como cultivares já recomendados, uma vez que genitores exóticos podem aumentar a variabilidade genética, mas reduzir a média populacional (Freitas, 2012; Menezes Júnior, 2011).

O número de genitores para formar a população base também merece atenção, pois a utilização de muitos genitores diminui a probabilidade de encontrar uma boa expressão do caráter para todos, além de reduzir a contribuição alélica parental. Em contrapartida, a utilização de poucos genitores diminui a probabilidade de associar a maioria dos alelos favoráveis para a característica de interesse. Então, segundo Ramalho et al. (2012a), é recomendado utilizar de 10 a 20 genitores para formar a população inicial.

Durante a etapa de recombinação é importante estabelecer a melhor forma para inter cruzar os genitores. A macho esterilidade é uma opção para realizar esses inter cruzamentos. Entretanto, para o feijoeiro essa opção não é muito utilizada, pois o pólen não se dispersa naturalmente e a identificação e manutenção das plantas macho estéreis são de difícil controle (Freitas, 2012). Nesse contexto, há como alternativa a hibridação manual através de cruzamentos múltiplos. Assim, a metodologia proposta por Bearzoti (1997) é utilizada com sucesso em muitos programas de melhoramento. Esse método sugere que 20 linhagens ou progênies sejam cruzadas de forma direcionada, seguindo um esquema de dialelo circulante, no qual um dos pais participa de dois cruzamentos, visando manter em 20 o número total de populações em cada ciclo.

Após a obtenção da população base, prossegue-se a avaliação e seleção das melhores progênies. A seleção fenotípica é recomendada para caracteres de alta herdabilidade, ao passo que a avaliação das progênies é recomendada para caracteres de baixa herdabilidade (Borém e Miranda, 2013; Ramalho et al., 2012a). Os experimentos de avaliações de progênies, normalmente são realizados com repetições e em diferentes safras, para identificar o efeito da interação GxA.

Após as avaliações, realiza-se então a seleção das melhores progênies para recombinação e para extração de linhagens superiores. Portanto, todo esse processo é repetido a cada novo ciclo da seleção recorrente.

### 3.3 Métodos de avaliação do progresso genético

O progresso genético é uma medida da eficiência do método de melhoramento aplicado, pois verifica se as médias genotípicas estão se deslocando para a direção desejada, ao longo dos ciclos de seleção (Campos, 2019). Assim, é de grande importância a avaliação do ganho genético em um programa de melhoramento, pois pode direcionar os trabalhos futuros, além de avaliar a eficiência do método empregado. Em programas de seleção recorrente, a estimativa do progresso genético auxilia também na tomada de decisão para seleção nos próximos ciclos.

Segundo Cargnin (2007a), existem diversas metodologias para se estimar o progresso genético em um programa de melhoramento, como o método direto, o método de Vencovsky et al. (1986), o método proposto por Fernandes (1998), o método de Morais e Abbud (1993), o método de Breseguello et al. (1998), o método de Fonseca Júnior (1997), o método da regressão com dados originais, o método da testemunha como fator de correção e o método da regressão com dados standardizados.

Em programas de seleção recorrente com plantas alógamas, pode-se estimar o progresso genético através da avaliação de populações de diferentes ciclos, visto que o equilíbrio de Hardy-Weinberg é restabelecido na etapa de recombinação (Farias, 2018; Ramalho et al., 2012a). Em plantas autógamas essa avaliação não pode ser realizada, visto que após cada autofecundação a média dos genótipos será alterada em virtude das frequências genotípicas e da presença de dominância (Ramalho et al., 2012a; Cargnin, 2007b).

Portanto, na avaliação do progresso genético em programas de seleção recorrente com plantas autógamas é comum se utilizar: famílias de diferentes ciclos utilizando testemunhas comuns ou avaliação simultânea das melhores famílias de cada ciclo; linhagens de diferentes ciclos utilizando testemunhas comuns; e avaliação simultânea das melhores linhagens de cada ciclo (Farias, 2018; Leite et al., 2016).

A escolha da melhor metodologia a ser utilizada depende dos objetivos dos melhoristas, dos recursos disponíveis, como por exemplo, área experimental e da disponibilidade de testemunhas comuns durante todo o período de avaliação. Além disso, o tempo é um fator determinante, pois a utilização de linhagens para estimativa do ganho genético demanda o avanço de várias gerações, o que nem sempre é viável, devido aos prazos estabelecidos.

Diante de todas as metodologias existentes para se estimar o progresso genético, quando há diferentes estimativas para uma mesma cultura, em um dado período de tempo,

deve-se ter prudência ao analisar e interpretar os dados. Devido às diferenças entre essas metodologias, ao período analisado e à condução dos programas de melhoramento, especialmente programas de seleção recorrente, a comparação entre diferentes estimativas de ganho nem sempre é possível ou apresentam interpretações satisfatórias (Farias, 2018; Cargnin, 2007b; Abbud, 1991).

### 3.4 Seleção recorrente no melhoramento do feijoeiro

A seleção recorrente é utilizada para melhoria de várias características na cultura do feijoeiro. Ramalho et al. (2005) avaliaram o progresso genético para o feijão carioca após quatro ciclos de seleção recorrente em relação a produtividade e aspecto de grão. Nesse estudo foram avaliadas as famílias  $S_{0:1}$  e  $S_{0:2}$ , e recombinadas as famílias  $S_{0:3}$ . O progresso genético foi estimado utilizando as cinco melhores linhagens de cada ciclo. A estimativa média do progresso foi de 5,75% para produtividade de grãos, enquanto para aspecto de grão foi de 10,5%. Os autores ressaltaram o dinamismo desse método, pois é possível adicionar a cada ciclo novas linhagens para recombinação.

Arantes et al. (2010) estimaram o progresso genético em um programa de seleção recorrente visando resistência ao fungo causador da mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*), em oito ciclos de seleção. Assim, os autores obtiveram ganho de 2,34% por ciclo para produtividade de grãos, 2,49% para resistência a mancha angular e 2,47% para melhoria no aspecto dos grãos.

Um programa de seleção recorrente visando resistência ao mofo branco foi avaliado por Terán e Singh (2010). Nesse trabalho, foram utilizadas duas populações com genitores diferentes em dois ciclos de seleção. O ganho para a primeira população foi de 12%, enquanto para a segunda foi de 5%. Também observaram que o número de plantas resistentes foi maior que o número de plantas suscetíveis, sugerindo o aumento na frequência de alelos favoráveis a resistência. Portanto, a seleção recorrente foi efetiva para melhorar a média das famílias em relação ao mofo branco.

Garcia et al. (2003) conduziram um estudo com a seleção recorrente visando resistência a doenças causadas por patógenos de solo. Esse programa de melhoramento foi iniciado em 1988 no México, com o objetivo de obter altos níveis de resistência quantitativa aos patógenos de importância local, mantendo a produtividade em níveis satisfatórios. Após a avaliação de linhagens provenientes do  $C_{III}$ ,  $C_{IV}$ ,  $C_V$  e  $C_{VI}$  em relação aos inóculos de *Pythium aphanidermatum*, *Rhizoctonia solani* e *Macrophomina phaseolina*, foi constatado um

aumento progressivo na produtividade de grãos, assim como um aumento no número de plantas sobreviventes ao longo dos ciclos.

Visando identificar famílias com potencial para a extração de linhagens superiores, Alves et al. (2015) avaliaram dois ciclos de seleção recorrente. As famílias foram avaliadas por três gerações:  $S_{0:1}$ ,  $S_{0:2}$  e  $S_{0:3}$ . O progresso genético foi estimado através da comparação simultânea das 40 melhores famílias obtidas nos ciclos  $C_0$  e  $C_1$ . Foi constatada variabilidade genética para as famílias em ambos os ciclos em relação à produtividade, arquitetura da planta e aspecto comercial dos grãos, indicando a possibilidade de se obter ganho com a seleção. O ganho médio para produtividade de grãos foi de 8,6%, o que equivale a um incremento de 293 kg.ha<sup>-1</sup>. Além disso, foram identificadas famílias com potencial para gerar linhagens superiores as testemunhas Pérola, BRSMG Majestoso e BRSMG Madrepérola, o que corrobora a eficiência da seleção recorrente no melhoramento do feijoeiro.

Segundo Pereira e Souza (1992), a faseolina é a principal proteína do feijoeiro comum, podendo representar até 50% do nitrogênio total presente nas sementes. Delaney e Bliss (1991) conduziram um estudo com seleção recorrente para aumentar o teor de faseolina no grão do feijoeiro. Foi avaliado o aumento da frequência de seis alelos que afetam a quantidade dessa substância acumulada no grão, durante três ciclos de seleção. Portanto, para essa população, a seleção de famílias  $S_1$  foi eficaz para promover o aumento da maioria dos alelos favoráveis, além de ser eficiente para diminuir a frequência de alelos deletérios.

Para determinar a eficiência da seleção recorrente em aumentar o número de nódulos no feijoeiro, Pereira et al. (1993) avaliaram três ciclos de seleção ( $C_0$ ,  $C_I$  e  $C_{II}$ ). Nesse estudo foi constatado um aumento de 211% no número de nódulos por planta, evidenciando que a seleção para essa característica é eficiente em gerar linhagens com maior capacidade de fixar nitrogênio atmosférico ( $N_2$ ). Nesse contexto, Barron et al. (1999) também conduziram um trabalho para verificar a eficiência da seleção para produtividade de grãos e fixação de  $N_2$ . Após a avaliação de três ciclos, constataram um ganho genético médio de 11% para produtividade e 13% para a quantidade de nitrogênio fixado por planta.

O trabalho de Pires et al. (2014) utilizou a seleção recorrente para melhorar o porte do feijoeiro. Através da avaliação de progênies  $S_{0:3}$  e  $S_{0:4}$  provenientes do quinto e oitavo ciclos de seleção, foi constatado um ganho genético de 1,62% por ciclo para a arquitetura da planta, ou seja, as plantas ficaram com o porte mais ereto. Quanto a produtividade de grãos, foi identificado um progresso de 6,81%. Além disso, após o oitavo ciclo de seleção, essa população ainda possuía variabilidade genética, o que favorece o sucesso contínuo no programa de seleção recorrente.

O cultivar Ouro Vermelho, proveniente do programa de seleção recorrente da UFV, também comprova a eficiência dessa estratégia de melhoramento. No ciclo zero desse programa, foram obtidas algumas linhagens com desempenho superior ao cultivar Vermelhinho, em relação à produtividade e aspecto comercial de grãos (Menezes Júnior, 2011). Essas linhagens foram inseridas em Ensaios de VCU no estado de Minas Gerais, resultando na recomendação do cultivar Ouro Vermelho, que possui ampla aceitação pelos produtores (Carneiro et al., 2006).

### **3.5 Estratégias de seleção de linhagens para composição dos Ensaios de VCU**

A avaliação de linhagens elites em Ensaios de VCU ocorre nas etapas finais de um programa de melhoramento, no qual se comparam os melhores genótipos com o objetivo de os recomendarem como futuros cultivares. Esses ensaios são obrigatórios para inscrição do novo cultivar no Registro Nacional de Cultivares (RNC), junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Essas avaliações devem ocorrer em pelo menos três locais de importância para a cultura, por um período mínimo de dois anos e devem seguir as instruções do MAPA em relação aos tratos culturais, delineamento experimental e características a serem avaliadas (Brasil, 2006). A cada dois anos o Programa de Melhoramento de Feijão da UFV disponibiliza novas linhagens de feijão vermelho para participarem dos Ensaios de VCU no estado de Minas Gerais (Prado, 2014).

Como o feijoeiro é cultivado em diversas condições ambientais, por diferentes tipos de agricultores e níveis tecnológicos, é esperado que o desempenho dos genótipos não seja consistente nos vários ambientes (Ramalho et al., 1993). Portanto, na avaliação de linhagens, especialmente do feijoeiro, a interação GxA é um fator a ser considerado, já que é de grande importância na manifestação do fenótipo (Prado, 2014). Essa interação é detectada através do desempenho dos genótipos avaliados em uma série de ambientes (Ramalho et al., 1993). Além disso, análises de adaptabilidade e estabilidade auxiliam na identificação de linhagens com comportamento previsível e responsivas às variações ambientais (Cruz et al., 2012).

De acordo com Cruz et al. (2012), existem muitas metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade, sendo que a escolha do melhor método depende dos dados experimentais, da precisão requerida e do tipo de informação desejada. Como exemplos de metodologias, podem ser citados: o método proposto por Plaisted e Peterson (1959), baseado na análise de variância; os métodos propostos por Finlay e Wilkinson (1963), Eberhart e Russell (1966) e Verma et al. (1978), que se baseiam em análises de regressão linear; o

método baseado na análise de regressão bissegmentada, apresentado por Cruz et al. (1989); e alguns métodos não paramétricos, como: Lin e Binns (1988), Carneiro (1998) e Rocha et al. (2005).

### 3.6 Índices de Seleção

Para a seleção dos melhores genótipos, basear-se em apenas uma ou em poucas características, não tem sido uma estratégia muito eficiente, visto vez que os genótipos selecionados podem apresentar desempenho desfavorável para outros caracteres agrônômicos. Por isso, as metodologias baseadas em índices de seleção são mais utilizadas para auxiliar o melhorista na tomada de decisão.

De acordo com Cruz et al. (2012), os índices de seleção são estabelecidos por uma combinação ótima de vários caracteres, efetuando, com eficiência, a seleção simultânea das diferentes características. Ressalta-se que é importante conhecer a associação entre os caracteres avaliados, para ampliar o sucesso com a seleção. Além disso, os genótipos devem ser avaliados em vários ambientes de cultivo, para que a interação GxA possa ser capitalizada durante a seleção, visto que há possibilidade de o melhor genótipo em um ambiente não o ser em outro (Cruz et al., 2012).

Na literatura são encontradas várias opções de índices de seleção (Ramalho et al., 2012a). Como exemplos, podem ser citados o índice proposto independentemente por Smith (1936) e Hazel (1943); o índice base, proposto por Willians (1962); o índice proposto por Mulamba e Mock (1978), que se baseia na soma de postos ou *ranks*; o índice com base nos ganhos desejados, sugerido por Pesek e Baker (1969); o índice “livre de pesos e parâmetros” apresentado por Elston (1963); o índice multiplicativo, de Subandi et al. 1973; e o índice baseado na distância genótipo-ideótipo (Carvalho et al. 2002). Portanto, através de recursos computacionais, esses índices identificam de maneira rápida e eficiente os genótipos adequados aos objetivos dos melhoristas (Cruz et al., 2012).

O índice proposto por Smith (1936) e Hazel (1943), também conhecido por índice clássico, é um índice genotípico caracterizado pela necessidade de estabelecer pesos econômicos, relativos aos vários caracteres. Devido à dificuldade de se estabelecer com exatidão esses pesos econômicos, Pesek e Baker (1969) propuseram um índice com base nos ganhos desejados (Cruz et al., 2012).

O índice base pondera os valores fenotípicos pelos seus respectivos pesos econômicos, entretanto é um índice eficaz somente quando a característica apresenta elevada

herdabilidade. O índice apresentado por Mulamba e Mock (1978) é um índice fenotípico, que utiliza o mesmo peso econômico para todas as características, selecionando as progênes que apresentarem menor ranque, de acordo com o interesse do melhorista. Entretanto, esse índice não considera a precisão das variáveis em estudo. O índice “livre de pesos e parâmetros” também é um índice fenotípico que elimina a necessidade de estabelecer pesos econômicos para as diferentes características, possibilitando a inclusão de uma restrição durante o processo seletivo (Cruz et al., 2012; Barbosa e Pinto, 1998). Segundo Garcia e Souza Júnior (1999) o índice multiplicativo não utiliza estimativas de parâmetros genéticos, nem supõe a existência de um valor genotípico populacional.

De acordo com Bem (2012), o índice da distância genótipo-ideótipo é promissor para a seleção de linhagens no feijoeiro. Nesse índice, é fixado um valor ótimo para cada característica gerando um ideótipo, que talvez nem exista na população, e os valores dos índices são expressos pela distância das médias de cada genótipo em relação a esse ideótipo estabelecido (Lessa et al., 2010; Bem, 2012). Portanto, quanto menor a distância de um genótipo a esse ideótipo, melhor será a sua classificação. Além disso, esse índice possibilita a inclusão de pesos econômicos para cada característica individualmente, considerando a importância relativa dos caracteres (Carvalho et al., 2002).

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Localização e manejo dos experimentos**

Os experimentos foram conduzidos na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão de Coimbra (UEPE Coimbra), pertencente ao Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa, localizada no município de Coimbra, MG (latitude 20°51'24" S, longitude 42°48'10" W e 720 m de altitude). A adubação e os tratos culturais foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para cultivo do feijoeiro na região (Vieira et al., 2015).

### **4.2 Programa de seleção recorrente de feijão vermelho da UFV**

#### **4.2.1 Obtenção da população base (C<sub>0</sub>)**

O programa de seleção recorrente para o melhoramento do feijão vermelho na UFV iniciou-se no final da década de 1990. O cultivar Vermelhinho, único cultivar de grãos vermelhos disponível para a região da Zona da Mata Mineira na época, foi recombinada com

as linhagens Aporé, Pérola, IAPAR31, IAPAR81, AN9022180, LR720982CP, AFR19521, AFR19535, AB136 e Vermelho2157. Assim, foram obtidas 18 combinações provenientes de cruzamentos simples, duplos e retrocruzamentos (Menezes Júnior, 2011). Essas populações constituíram o ciclo zero ( $C_0$ ) do programa de seleção recorrente de feijão vermelho da UFV (Tabela 1).

**Tabela 1.** Cruzamentos utilizados na composição da população base ( $C_0$ ).

Cruzamento	Genealogia
1 - RVC072	Vermelinho/AB136//Vermelinho/AFR19521
2 - RVC040	Vermelinho//Vermelinho/AN9022180
3 - RVC043	Vermelinho//Vermelinho/Pérola
4 - RVC069	Vermelinho/AN9022180//Vermelinho/Vermelho2157
5 - RVC053	Vermelinho/AB136//Vermelinho/Vermelho2157
6 - RVC041	Vermelinho//Vermelinho/IAPAR31
7 - RVC038	Vermelinho//Vermelinho/Aporé
8 - RVC061	Vermelinho/Pérola//Vermelinho/AFR19521
9 - RVC065	Vermelinho/IAPAR31//Vermelinho/AFR19535
10 - RVC039	Vermelinho//Vermelinho/LR720982CP
11 - RVC042	Vermelinho//Vermelinho/IAPAR81
12 - RVC057	Vermelinho/Aporé//Vermelinho/AFR19521
13 - RVC066	Vermelinho/Pérola//Vermelinho/AB136
14 - RVC052	Vermelinho/IAPAR31//Vermelinho/AB136
15 - RVC067	Vermelinho/LR720982CP//Vermelinho/AB136
16 - RVC054	Vermelinho/AFR19521//Vermelinho/Vermelho2157
17 - RVC071	Vermelinho/AB136//Vermelinho/Vermelho2157
18 - RVC068	Vermelinho/LR720982CP//Vermelinho/AFR19521

#### 4.2.2 Obtenção do ciclo um ( $C_I$ )

A partir das 18 populações do  $C_0$ , 243 famílias  $S_{1:3}$  foram derivadas e avaliadas quanto à produtividade, aspecto comercial dos grãos e severidades de mancha-angular e ferrugem. O cruzamento de número 18 (Vermelinho/LR720982CP//Vermelinho/AFR19521) foi descartado em função de suas famílias não atenderem aos pré-requisitos mínimos necessários para serem incluídas na recombinação. Assim, o ciclo  $C_I$  foi obtido pela recombinação de 20 genitores, sendo a melhor família de cada um dos 17 cruzamentos do  $C_0$  e mais três linhagens elites (BRS Timbó, VR-2 e VR-3), totalizando 380 famílias, conforme relatado por Melo (2016).

#### 4.2.3 Obtenção do ciclo dois ( $C_{II}$ )

Para obtenção do C<sub>II</sub> também foi selecionada a melhor família de cada população obtida no C<sub>I</sub>. Essas 20 famílias foram cruzadas com plantas provenientes de cruzamentos envolvendo uma linhagem de feijão vermelho, fonte de resistência à antracnose e ferrugem (OVR). Após a obtenção das sementes provenientes do cruzamento com o OVR, foram incluídos 19 novos genitores: CNFC 9437, CNFC 9466, A 805, UTF 0013, Rudá R, VP-9, México, Rudá, Ouro Negro, Pérola R, MAR 2, BAT 332, CAL 143, BJ 4, Horizonte, A170, A525, VC-6 e Supremo, totalizando a obtenção de 380 famílias (Melo, 2016).

#### **4.2.4 Obtenção dos ciclos três (C<sub>III</sub>) e quatro (C<sub>IV</sub>)**

O C<sub>III</sub> foi obtido por meio da recombinação da melhor família de cada população obtida no C<sub>II</sub>, sem a inclusão de novos genitores, totalizando 380 famílias. Enquanto o C<sub>IV</sub> foi obtido pelo cruzamento da melhor família de cada população obtida no C<sub>III</sub>, com a inclusão de dez novos genitores de porte ereto: CIAT 1, CIAT 21, CIAT 22, CNFP 15194, BRSMG UAI, CXI-1, CNFC 11948, CNFP 16680, RPCVIII-1 e VC-25. Cada um desses novos genitores foi cruzado com duas famílias do ciclo C<sub>III</sub>, também totalizando 380 famílias.

### **4.3 Avaliação de linhagens oriundas de três ciclos de seleção recorrente**

Foram avaliadas em campo 600 linhagens provenientes do terceiro ciclo de seleção (C<sub>III</sub>), do programa de seleção recorrente de feijão vermelho da UFV, nas safras das águas de 2018 (geração S<sub>4:5</sub>) e seca de 2019 (geração S<sub>4:6</sub>). Esses experimentos foram conduzidos em delineamento de blocos aumentados, com parcelas constituídas de uma linha de dois metros de comprimento. Foram utilizadas como testemunhas os cultivares Ouro Vermelho, OVR e Vermelhinho, além da linhagem VR 20. As linhagens foram avaliadas quanto à produtividade na safra das águas de 2018 e quanto à produtividade, arquitetura da planta e aspecto comercial dos grãos na safra da seca de 2019.

Posteriormente, na geração S<sub>4:6</sub> foi realizada uma seleção utilizando o índice da distância genótipo-ideótipo, no qual foram selecionadas 220 linhagens (geração S<sub>4:7</sub>). Essas linhagens foram avaliadas a campo, na safra das águas de 2019, em um experimento conduzido em látice triplo 15 x 15, com parcelas de duas linhas de dois metros. Foram utilizadas como testemunhas os cultivares Ouro Vermelho, OVR e Vermelhinho, além das linhagens VR 20 e VR 22. Neste ensaio, os genótipos foram avaliados quanto à produtividade, arquitetura de planta e aspecto comercial dos grãos.

Uma nova seleção foi realizada na geração  $S_{4:7}$  através do índice da distância genótipo-ideótipo, e 59 linhagens do  $C_{III}$  (geração  $S_{4:8}$ ) foram selecionadas, visando identificar as melhores para comporem futuros Ensaios de VCU no estado de Minas Gerais.

#### **4.4 Avaliação de famílias oriundas de quatro ciclos de seleção recorrente**

As sementes provenientes das 20 combinações híbridas que formaram a população base do  $C_{IV}$  foram multiplicadas para obtenção das sementes  $S_0$ . De cada população foram derivadas 19 famílias  $S_{0:1}$ . Portanto, foram avaliadas a campo 380 famílias junto a 20 testemunhas: CIAT 22, CIAT 21, CNFP 15194, BRSMG UAI, CXI-1, CNFC 11948, CNFP 15680, RPCVIII-1, VC-25, CIAT 1, Ouro Vermelho, VR 22, OVR, Vermelhinho, Pérola, Madrepérola, VP 22, Estilo, IPR Tiziu, BRS Esteio, nas safras das águas de 2018 (geração  $S_{0:1}$ ) e seca de 2019 (geração  $S_{0:2}$ ). Esses experimentos foram conduzidos em um látice quadrado 20 x 20. A geração  $S_{0:1}$  foi conduzida com duas repetições e parcelas de uma linha de um metro, enquanto a geração  $S_{0:2}$  foi conduzida com três repetições e parcelas de duas linhas de dois metros. A geração  $S_{0:1}$  foi avaliada quanto à arquitetura da planta e produtividade dos grãos, enquanto na geração  $S_{0:2}$ , além dessas características, avaliou-se também, o aspecto comercial dos grãos.

Com auxílio do índice da distância genótipo-ideótipo, com base nas gerações  $S_{0:1}$  e  $S_{0:2}$ , foi realizada a seleção de 115 famílias (geração  $S_{0:3}$ ). Estas famílias foram então avaliadas na safra das águas de 2019, em delineamento látice triplo 11 x 11 com três repetições, e parcelas constituídas por duas linhas de dois metros. Foram utilizadas como testemunhas os cultivares Ouro Vermelho, Vermelhinho e OVR, e as linhagens VR 20, VR 22 e VC-25. Arquitetura da planta, produtividade e aspecto comercial dos grãos foram as características avaliadas nessa geração.

Posteriormente foi realizada uma seleção através do índice genótipo-ideótipo, com base nas médias das 115 famílias avaliadas nas gerações  $S_{0:1}$ ,  $S_{0:2}$  e  $S_{0:3}$ , visando identificar as 20 melhores para extração de linhagens. Além disso, também foram identificadas as 20 famílias para serem recombinadas e dar continuidade ao programa de seleção recorrente de feijão vermelho da UFV.

#### **4.5 Caracteres avaliados**

Os genótipos foram avaliados em relação à produtividade, arquitetura da planta e aspecto comercial dos grãos. A produtividade de grãos foi convertida em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , considerando a produção obtida em cada parcela.

A arquitetura da planta foi avaliada com base em uma escala de notas, proposta por Ramalho et al. (1998). Essa escala varia de 1 a 5, no qual a nota 1 refere-se a plantas do tipo I ou II, eretas, com uma haste e poucas ramificações; nota 2 a plantas do tipo I ou II, eretas, com algumas ramificações e guia curta; nota 3 a plantas semiprostradas, com muitas ramificações e guia mediana; nota 4 a plantas do tipo III, prostradas, com muitas ramificações e guia longa; e nota 5 a plantas do tipo III, completamente prostradas, com muitas ramificações e guias muito longas.

O aspecto comercial dos grãos também foi avaliado por uma escala de notas, variando de 1 a 5 (Ramalho et al., 1998) adaptada ao feijão vermelho. A nota 1 refere-se ao padrão de grão vermelho: brilhante, não achatado, de formato elíptico e peso médio de 100 sementes entre 22 g e 24 g; nota 2 ao grão tipo vermelho com deficiência em uma das características mencionadas no padrão; nota 3 ao grão tipo vermelho com deficiência em duas das características mencionadas no padrão; nota 4 ao grão tipo vermelho com deficiência em três características mencionadas no padrão; e nota 5 ao grão totalmente fora do padrão vermelho.

#### 4.6 Análises genético-estatísticas

Inicialmente os dados foram submetidos à análise individual de variância (ANOVA), e posteriormente à análise conjunta. A ANOVA individual para os experimentos conduzidos em látice seguiu o modelo estatístico a seguir, no qual todos os efeitos foram considerados aleatórios, exceto a média:

$$Y_{ijl} = m + g_i + b_j + p_{l(j)} + e_{ijl}$$

em que:

$Y_{ijl}$ : valor observado na parcela que recebeu o tratamento  $i$ , no bloco  $l$ , dentro da repetição  $j$ ;

$m$ : média geral do experimento;

$g_i$ : efeito do genótipo  $i$ , sendo ( $i = 1, 2, \dots, n$ );

$b_j$ : efeito da repetição  $j$ , sendo  $j = 1, 2$  e  $3$ ;

$p_{l(j)}$ : efeito do bloco  $l$  dentro da repetição  $j$ , sendo  $l = 1, 2, 3, \dots, n$ ; e

$e_{ijl}$ : erro experimental associado à observação  $Y_{ijl}$ , assumindo que os erros são IID~N(0,  $\sigma_e^2$ ).

Ressalta-se que as análises de variância para arquitetura da planta e aspecto comercial dos grãos foram realizadas considerando o delineamento de blocos ao acaso, pois acreditamos que a avaliação dessas características não seja influenciada pela variação existente entre os blocos do látice da mesma repetição. Dessa forma, esses caracteres não necessitam de ajuste nas médias, como ocorre no delineamento em látice.

Os experimentos conduzidos em delineamento de blocos aumentados foram analisados via modelos mistos, seguindo o modelo a seguir:

$$Y = Xb + e$$

em que:

$Y$ : vetor da variável resposta;

$b$ : vetor composto pelos efeitos fixos de testemunhas, genótipos e blocos, além da média geral;

$e$ : vetor de erros aleatórios; e

$X$ : matriz conhecida, que relaciona os elementos de  $b$  com os elementos de  $Y$ .

A significância desses efeitos fixos testados via modelos mistos, foram determinadas pelo teste de Wald (Gilmour et al., 2009).

A análise conjunta de variância das famílias seguiu o seguinte modelo, considerando como efeitos fixos apenas a média e os ambientes:

$$Y_{ijk} = m + g_i + (b/a)_{jk} + a_j + ga_{ij} + e_{ijk}$$

em que:

$Y_{ijk}$ : valor observado na parcela que recebeu o genótipo  $i$ , no ambiente  $j$  e bloco  $k$ ;

$m$ : média geral do experimento;

$g_i$ : efeito do genótipo  $i$ , sendo ( $i = 1, 2, \dots, n$ );

$(b/a)_{jk}$ : efeito ao bloco  $k$  dentro de ambiente  $j$ ;

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

$ga_{ij}$ : efeito da interação do genótipo  $i$  no ambiente  $j$ ;

$e_{ijk}$ : erro experimental associado à observação  $Y_{ijk}$ .

Ademais, foram calculadas as estimativas do coeficiente de variação ambiental (CV) para todos os caracteres. De acordo com Anjos et al. (2019), para evitar um viés associado a utilização de escala de notas para avaliação, um estimador apropriado para o CV experimental é dado pela seguinte expressão:

$$CV = \frac{100 * \sqrt{QMR}}{|\bar{X} - u|}$$

em que QMR é o quadrado médio do resíduo,  $\bar{X}$  é a média geral das pontuações da característica e  $u$  é o valor numérico da pontuação atribuída ao fenótipo indesejável. Para produtividade de grãos, estimamos o CV desconsiderando  $u$ , visto que essa característica não é avaliada por escala de notas.

Também foi calculada a acurácia seletiva individual para cada ambiente ( $r_j$ ) de avaliação das famílias. Conforme Resende (2002), a acurácia pode ser expressa de acordo com a seguinte expressão:

$$r_j = \left(1 - \frac{1}{F_j}\right)^{1/2}$$

no qual  $F_j$  é a razão de variâncias para os efeitos de genótipos, associada à análise individual de variância no ambiente  $j$ .

Todas as seleções foram realizadas com o auxílio do índice da distância genótipo-ideótipo (Carvalho et al. 2002), utilizando a média de cada característica apresentada pelos genótipos, nos diferentes experimentos. Essa metodologia estabelece:

$X_{ij}$ : valor fenotípico médio do  $i$ -ésimo genótipo em relação a  $j$ -ésima característica;

$Y_{ij}$ : valor fenotípico médio transformado;

$C_j$ : constante relativa à depreciação da média do genótipo, por não estar dentro dos padrões desejados pelo melhorista;

$LI_j$ : limite inferior a ser apresentado pelo genótipo, relativo a característica  $j$ , de acordo com o padrão estabelecido pelo melhorista;

$LS_j$ : limite superior a ser apresentado pelo genótipo;

$VO_j$ : valor ótimo a ser apresentado pelo genótipo, sob seleção.

Se  $LI_j \leq X_{ij} \leq LS_j$ , então  $Y_{ij} = X_{ij}$

Se  $X_{ij} < LI_j$ , então  $Y_{ij} = X_{ij} + VO_{ij} - LI_j - C_j$

Se  $X_{ij} > LS_j$ , então  $Y_{ij} = X_{ij} + VO_j - LS_j + C_j$

Nesse método, considera-se que  $C_j = LS_j - LI_j$ . Esse valor de  $C_j$  garante que qualquer valor de  $X_{ij}$  dentro do intervalo ideal resultará em um valor de  $Y_{ij}$  com magnitude mais próxima do valor ótimo, do que ao valor obtido para  $X_{ij}$ . Além disso, a transformação de  $X_{ij}$  é realizada para depreciar os valores fenotípicos médios fora do intervalo ideal para a característica.

Foram utilizados pesos econômicos iguais para todas as características. Para arquitetura da planta e aspecto comercial dos grãos, o valor ótimo e o limite inferior foram a menor média observada, ao passo que o limite superior foi preestabelecido de acordo com as

médias obtidas em cada safra, como apresentado na tabela 2. O limite superior foi estabelecido dessa forma, porque as notas de avaliação para cada genótipo podem variar de acordo com as condições de cultivo em cada safra, afetando a média geral da característica. Não foi imposto nenhum limite para produtividade de grãos, sendo o valor desejado o máximo possível. As linhagens selecionadas foram comparadas com as testemunhas por meio do teste de Dunnett (5%). Todas as análises foram realizadas com auxílio computacional do programa GENES (Cruz, 2006) e R Core Team (2020).

**Tabela 2.** Peso, valor ótimo, limites inferior e superior das médias estabelecidas para realização do índice da distância genótipo-ideótipo visando a seleção das melhores linhagens do C<sub>III</sub> e melhores famílias do C<sub>IV</sub>.

Safra	Linhagens do C <sub>III</sub>				Famílias do C <sub>IV</sub>		
	Peso	Valor ótimo	Limite inferior	Limite superior	Valor ótimo	Limite inferior	Limite superior
<b>Aspecto de grãos</b>							
Seca 2019	1	1,50	1,50	2,50	1,50	1,50	3,50
Águas 2019	1	1,67	1,67	3,00	1,63	1,63	3,00
<b>Arquitetura da planta</b>							
Seca 2019	1	1,50	1,50	4,00	1,58	1,58	4,00
Águas 2019	1	2,00	2,00	3,83	1,75	1,75	3,50

#### 4.7 Ganho genético do ciclo C<sub>III</sub> para o C<sub>IV</sub>

Para estimar o ganho genético do ciclo C<sub>III</sub> para o C<sub>IV</sub>, foi utilizada a estratégia de comparação de famílias S<sub>0:1</sub> e S<sub>0:2</sub> dos ciclos III e IV, utilizando testemunhas comuns. Para isso foi realizada uma análise agrupada dos experimentos envolvendo avaliação de famílias S<sub>0:1</sub> do ciclo C<sub>III</sub> (seca de 2015) e do ciclo C<sub>IV</sub> (águas de 2018), utilizando cinco testemunhas comuns. Para a geração S<sub>0:2</sub> também foi realizada esse mesmo tipo de análise envolvendo as 380 famílias do C<sub>III</sub> avaliadas no inverno de 2015 e 380 famílias do C<sub>IV</sub> avaliadas na seca de 2019, com cinco testemunhas comuns. Através das médias ajustadas obtidas pela análise agrupada, o progresso genético (PG) com a seleção recorrente foi calculado utilizando o seguinte estimador proposto por Anjos et al. (2019):

$$PG (\%) = \left( \frac{\bar{X}_{C_{IV}} - \bar{X}_{C_{III}}}{\bar{X}_{C_{III}} - u} \right) \times 100$$

em que:

$\bar{X}_{C_{IV}}$ : média das 380 famílias do ciclo IV;

$\bar{X}_{C_{III}}$ : média das 380 famílias do ciclo III; e

$u$ : valor numérico atribuído ao fenótipo indesejável.

Ressalta-se que para produtividade de grãos estimamos o PG desconsiderando  $u$ , visto que essa característica não é avaliada por escala de notas.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Avaliação e seleção de linhagens do ciclo C<sub>III</sub>

Pelo teste de Wald (Tabela 3), foi observado significância para o efeito de linhagens e do contraste linhagens vs. testemunhas sobre as características avaliadas na safra das águas de 2018. Já na avaliação da seca de 2019 não foi observado efeito significativo de linhagens para as características avaliadas, e o contraste linhagens vs. testemunhas foi significativo para arquitetura da planta e aspecto comercial dos grãos. Embora o efeito de linhagens não tenha apresentado significância na safra da seca de 2019, observou-se grande variação entre médias, como apresentado no APÊNDICE A.

**Tabela 3.** Teste de Wald para produtividade de grãos em kg.ha<sup>-1</sup> (PROD), arquitetura da planta (ARQ) e aspecto comercial dos grãos (AG), referentes à avaliação de linhagens S<sub>4:5</sub> e S<sub>4:6</sub> do C<sub>III</sub>, na safra das águas de 2018 e seca de 2019, respectivamente. Coimbra, MG.

Efeito	GL	Águas 2018		Seca 2019	
		PROD	ARQ	PROD	AG
Bloco	14	97,2**	9,0 <sup>ns</sup>	3,3 <sup>ns</sup>	7,0 <sup>ns</sup>
Linhagens (L)	599	946,1**	3,0 <sup>ns</sup>	1,2 <sup>ns</sup>	1,0 <sup>ns</sup>
Testemunhas (T)	3	3,0 <sup>ns</sup>	124,0**	1,4 <sup>ns</sup>	3,0 <sup>ns</sup>
L vs. T	1	6,0*	5,0*	0,5 <sup>ns</sup>	50,0**

<sup>ns</sup>, \*\* e \* Estatística de Wald não significativa e significativa a 1% e 5% respectivamente, pelo teste de qui quadrado.

As 220 linhagens selecionadas com base no índice da distância genótipo-ideótipo apresentaram notas de aspecto comercial de grãos menores que 2,5. Em relação à arquitetura da planta, aproximadamente 30% dessas linhagens apresentaram porte ereto, com notas menores que 2,5.

Na ANOVA das 220 linhagens selecionadas, realizada na safra das águas de 2019, observou-se efeito significativo de linhagens para todos os caracteres avaliados (Tabela 4). O contraste linhagens vs. testemunhas não apresentou significância apenas para produtividade.

O CV experimental variou de 18,81% a 33,33%. Nessa avaliação o delineamento em látice não apresentou eficiência (Tabela 4).

**Tabela 4.** Resumo das análises individuais de variância da arquitetura da planta (ARQ), produtividade de grãos em kg.ha<sup>-1</sup> (PROD), e aspecto comercial dos grãos (AG), referentes à avaliação de linhagens S<sub>4:7</sub> do C<sub>III</sub>, na safra das águas de 2019. Coimbra, MG.

FV	GL	Quadrado Médio		
		ARQ	PROD	AG
Genótipos	224	0,39**	696164,10**	1,02**
Linhagens (L)	219	0,35**	705562,85**	1,02**
Testemunhas(T)	4	2,61**	355263,9 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>
L vs. T	1	0,67*	1440,03 <sup>ns</sup>	3,07**
Erro	406 (448)	0,16	205168,89	0,23
Média geral		3,80	2408,17	2,78
Média (L)		3,81	2408,39	2,79
Média (T)		3,60	2398,48	2,33
CV (%)		33,33	18,81	21,60
Eficiência do látice		-	99,95	-

<sup>ns</sup>, Não significativo,\*\* e \* significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Valor entre parênteses refere-se ao grau de liberdade da análise em blocos ao acaso.

Posteriormente, com auxílio do índice genótipo-ideótipo foram selecionadas 59 linhagens. As médias dessas linhagens foram comparadas com as médias do cultivar Ouro Vermelho e da linhagem CIAT 22, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade (Tabela 5). Para arquitetura da planta, nenhuma linhagem se equiparou a testemunha CIAT 22, que dentro do programa de melhoramento genético do feijoeiro da UFV, é referência de porte ereto para o feijão vermelho e está em fase de recomendação. Em relação à produtividade de grãos, aproximadamente 60% das linhagens apresentaram médias acima de 2.500 kg.ha<sup>-1</sup>, sendo que duas apresentaram produtividades estatisticamente superiores ao CIAT 22, que foi a testemunha mais produtiva. Para o aspecto comercial dos grãos, todas as linhagens apresentaram notas menores ou iguais a três, onde apenas 10% não se equipararam a testemunha Ouro Vermelho, uma das referências do padrão de grão vermelho exigido comercialmente. Ressalta-se que para arquitetura de planta e aspecto comercial dos grãos, menores notas indicam fenótipos mais favoráveis.

**Tabela 5.** Médias da arquitetura da planta (ARQ), produtividade de grãos em kg.ha<sup>-1</sup> (PROD) e aspecto comercial dos grãos (AG), referentes às 59 linhagens classificadas segundo o índice genótipo-ideótipo, na safra das águas de 2019. Coimbra, MG.

<b>Linhagens</b>	<b>ARQ</b>	<b>PROD</b>	<b>AG</b>
206 (1)	4,17 a	3421,28 b	1,92 ab
207 (2)	3,33	2403,13 ab	3,00 b
208 (3)	3,00	2353,05 ab	2,17 ab
219 (4)	3,50 a	4344,33	2,33 ab
216 (5)	3,83 a	2776,48 ab	2,33 ab
39 (6)	3,50 a	2432,77 ab	2,67 ab
33 (7)	3,67 a	2622,93 ab	2,17 ab
32 (8)	3,33	2249,57 ab	2,67 ab
40 (9)	3,83 a	3842,37 b	2,67 ab
44 (10)	3,33	2806,27 ab	2,33 ab
36 (11)	3,50 a	2243,50 ab	2,08 ab
164 (12)	3,17	2177,52 ab	2,83 b
163 (13)	3,33	2492,83 ab	2,75 ab
162 (14)	3,50 a	2617,62 ab	2,67 ab
158 (15)	3,33	2984,83 ab	2,67 ab
161 (16)	3,50 a	2261,52 ab	2,50 ab
165 (17)	3,67 a	2326,48 ab	1,83 ab
4 (18)	3,50 a	2256,85 ab	2,33 ab
14 (19)	3,17	2741,53 ab	2,17 ab
3 (20)	3,33	2127,80 ab	2,67 ab
100 (21)	3,67 a	3440,00 b	2,67 ab
99 (22)	3,67 a	2773,70 ab	2,67 ab
98 (23)	3,50 a	2807,10 ab	1,92 ab
76 (24)	3,83 a	3029,72 ab	2,33 ab
80 (25)	3,00	2107,63 ab	2,42 ab
25 (26)	3,17	2731,68 ab	2,33 ab
175 (27)	3,50 a	3052,40 ab	2,33 ab
176 (28)	3,67 a	2928,75 ab	2,17 ab
168 (29)	3,50 a	2675,83 ab	3,00 b
121 (30)	3,17	2236,08 ab	2,50 ab
125 (31)	3,67 a	3188,45 b	2,00 ab
127 (32)	3,50 a	3359,73 b	2,17 ab
126 (33)	3,83 a	4109,68	2,42 ab
142 (34)	3,50 a	2424,57 ab	2,83 b
144 (35)	3,83 a	2965,30 ab	2,08 ab
148 (36)	3,00	1599,05 a	2,50 ab
140 (37)	3,83 a	2425,68 ab	1,92 ab
71 (38)	3,67 a	2593,33 ab	2,08 ab
62 (39)	3,83 a	3019,87 ab	2,17 ab
65 (40)	4,00 a	3197,37 b	2,17 ab

70 (41)	3,67 a	2408,83 ab	2,33 ab
75 (42)	3,00	2753,02 ab	2,33 ab
64 (43)	3,33	2320,27 ab	3,00 b
181 (44)	3,83 a	2683,02 ab	2,33 ab
111 (45)	3,50 a	2417,58 ab	2,33 ab
118 (46)	3,67 a	2487,90 ab	1,83 ab
107 (47)	4,17 a	2438,52 ab	1,92 ab
109 (48)	3,50 a	2601,00 ab	2,67 ab
112 (49)	3,83 a	2679,10 ab	2,33 ab
108 (50)	3,50 a	2229,17 ab	2,25 ab
119 (51)	3,50 a	2518,28 ab	2,08 ab
114 (52)	3,83 a	2864,17 ab	1,92 ab
120 (53)	3,50 a	2618,55 ab	2,83 b
53 (54)	3,67 a	2642,40 ab	2,17 ab
55 (55)	3,67 a	3422,05 b	2,33 ab
60 (56)	3,50 a	2525,12 ab	2,33 ab
49 (57)	3,50 a	2828,28 ab	1,92 ab
50 (58)	3,67 a	2410,47 ab	2,33 ab
58 (59)	3,67 a	2624,58 ab	2,33 ab
Ouro Vermelho	4,33 a	1944,02 a	1,67 a
CIAT 22	2,00 b	2814,50 b	2,33 b

Médias seguidas pela mesma letra da testemunha, na coluna, não diferem estatisticamente da testemunha (Dunnett, 5%). Valores entre parênteses referem-se à classificação das linhagens pelo índice da distância genótipo-ideótipo.

Assim, considerando todas as características avaliadas é possível identificar algumas linhagens com potencial de participarem dos Ensaio de VCU. As linhagens 219 e 126 foram as que receberam maior destaque nesse ciclo, devido as elevadas produtividades. Além disso, as linhagens 206, 165, 98, 140, 118, 107, 114 e 49 se destacaram pelo excelente aspecto comercial dos grãos, com notas abaixo de dois (Tabela 5).

## 5.2 Avaliação e seleção de famílias do ciclo C<sub>IV</sub>

Para as gerações S<sub>0:1</sub> e S<sub>0:2</sub>, encontrou-se efeito significativo ( $P < 0,01$ ) para a fonte de variação famílias para todos os caracteres avaliados, como apresentado nas tabelas 6 e 7, evidenciando a existência de variabilidade genética. O contraste de famílias vs. testemunhas apresentou significância nas duas gerações para produtividade e somente na geração S<sub>0:2</sub> para aspecto comercial dos grãos. Em ambas as avaliações, as médias de produtividade das testemunhas foram superiores as das famílias, ao passo que na geração S<sub>0:2</sub> as famílias apresentaram melhor média de aspecto comercial dos grãos em relação as testemunhas (Tabelas 6 e 7).

**Tabela 6.** Resumo das análises individuais de variância da arquitetura de planta (ARQ) e produtividade de grãos em kg.ha<sup>-1</sup> (PROD), referentes à avaliação de famílias S<sub>0:1</sub> do C<sub>IV</sub>, na safra das águas de 2018. Coimbra, MG.

FV	GL	Quadrado Médio	
		ARQ	PROD
Genótipos	399	0,55**	1246194,71**
Famílias (F)	379	0,56**	1224979,42**
Testemunhas (T)	19	0,51*	1517454,98**
F vs. T	1	0,08 <sup>ns</sup>	4132843,47**
Erro	361 (399)	0,27	468969,72
Média geral		3,49	2596
Média (F)		3,49	2579
Média (T)		3,45	2909
CV (%)		34,41	26,37
Acurácia		0,71	0,79
Eficiência do látice		-	124,14

<sup>ns</sup>, Não significativo, \*\* e \* significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Valor entre parênteses refere-se ao grau de liberdade da análise em blocos ao acaso.

**Tabela 7.** Resumo das análises individuais de variância da arquitetura de planta (ARQ), produtividade de grãos em kg.ha<sup>-1</sup> (PROD) e aspecto comercial dos grãos (AG), referentes à avaliação de famílias S<sub>0:2</sub> do C<sub>IV</sub>, na safra da seca de 2019. Coimbra, MG.

FV	GL	Quadrado Médio		
		ARQ	PROD	AG
Genótipos	399	1,01**	1034883,44**	1,52**
Famílias (F)	379	1,03**	1039113,33**	1,53**
Testemunhas(T)	19	0,67**	784445,07**	1,09**
F vs. T	1	0,07 <sup>ns</sup>	4190082,16**	5,26**
Erro	741 (798)	0,27	365556,88	0,15
Média geral		3,14	3726	2,82
Média (F)		3,13	3713	2,80
Média (T)		3,17	3984	3,11
CV (%)		27,93	16,22	17,76
Acurácia		0,86	0,81	0,95
Eficiência do látice		-	102,32	-

<sup>ns</sup>, Não significativo, e \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Valor entre parênteses refere-se ao grau de liberdade da análise em blocos ao acaso.

O coeficiente de variação (CV) para produtividade de grãos foi de 26,37% na geração  $S_{0:1}$  (Tabela 6) e 16,22% na geração  $S_{0:2}$  (Tabela 7). A característica arquitetura da planta apresentou maior CV experimental nas duas avaliações, pois na geração  $S_{0:1}$  esse coeficiente foi de 34,41% (Tabela 6), enquanto na geração  $S_{0:2}$  foi de 27,93% (Tabela 7). O aspecto comercial dos grãos apresentou CV de 17,76% (Tabela 7). Além disso, observou-se altos valores de acurácia seletiva, que foram de 0,71 e 0,86 para arquitetura da planta; 0,79, e 0,81 para produtividade, nas gerações  $S_{0:1}$  e  $S_{0:2}$ , respectivamente; e 0,95 para aspecto comercial dos grãos, na geração  $S_{0:2}$  (Tabelas 6 e 7). A eficiência do látice em relação ao delineamento de blocos ao acaso foi de 124,14% na geração  $S_{0:1}$ , e de 102,32% na  $S_{0:2}$ .

Por meio da análise conjunta de variância das gerações  $S_{0:1}$  e  $S_{0:2}$  não se constatou significância para a interação GxA em nenhum dos caracteres avaliados (Tabela 8), indicando consistência no comportamento tanto das famílias quanto das testemunhas, nos diferentes ambientes.

**Tabela 8.** Resumo das análises conjuntas de variância da arquitetura de planta (ARQ) e produtividade de grãos em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (PROD), referentes à avaliação de famílias  $S_{0:1}$  e  $S_{0:2}$  do  $C_{IV}$ , na safra das águas de 2018 e seca de 2019, respectivamente. Coimbra, MG.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio	
		ARQ	PROD
Ambiente (A)	1	10,31	106513284,40
Genótipos (G)	399	0,20**	288321,09**
Famílias (F)	379	0,20**	286751,03**
Testemunhas (Test.)	19	0,15**	334386,88**
F x Test.	1	1,15**	8123,82 <sup>ns</sup>
G x A	399	0,06 <sup>ns</sup>	115036,67 <sup>ns</sup>
F x A	379	0,06 <sup>ns</sup>	115381,45 <sup>ns</sup>
Test. x A	19	0,06 <sup>ns</sup>	113497,03 <sup>ns</sup>
(F x Test.) vs A	1	0,06 <sup>ns</sup>	13618,31 <sup>ns</sup>
Resíduo	1102	0,11	173859,71
Média geral		3,32	3161,61
Média (F)		3,32	3162,74
Média (T)		3,33	3140,09
CV (%)		19,74	16,62

<sup>ns</sup>, Não significativo, e \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Com auxílio do índice genótipo-ideótipo foram selecionadas as 115 melhores famílias classificadas para avaliação na safra das águas de 2019. Nesse caso, foi imposto um limite neste índice, de modo a eliminar as famílias com notas de arquitetura de planta superior a 4.

Na safra das águas de 2019 constatou-se significância para a fonte de variação famílias para todas as características avaliadas (Tabela 9). Entretanto, o contraste famílias vs. testemunhas não foi significativo para nenhuma característica. O CV para arquitetura da planta foi de 29,16%, para produtividade de 16,32% e para aspecto comercial dos grãos 20,80%. Ademais, a acurácia foi de 0,85 para a arquitetura, 0,86 para produtividade e 0,91 para o aspecto comercial dos grãos. Nessa avaliação, a eficiência do látice foi baixa, 104,92% (Tabela 9).

**Tabela 9.** Resumo das análises individuais de variância da arquitetura de planta (ARQ), produtividade de grãos em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (PROD) e aspecto comercial dos grãos (AG), referentes à avaliação de famílias  $S_{0:3}$  do  $C_{IV}$ , na safra das águas de 2019. Coimbra, MG.

FV	GL	Quadrado Médio		
		ARQ	PROD	AG
Genótipos	120	0,87**	703656,0**	1,10**
Famílias (F)	114	0,86**	709700,5**	1,12**
Testemunhas(T)	5	1,17**	703294,0**	0,62*
F vs. T	1	0,01 <sup>ns</sup>	16400,3 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>
Erro	100 (120)	0,24	185449,6	0,20
Média geral		3,32	2638	2,85
Média (F)		3,32	2636	2,84
Média (T)		3,29	2674	2,95
CV (%)		29,16	16,32	20,80
Acurácia		0,85	0,86	0,91
Eficiência do látice		-	104,92	-

<sup>ns</sup>, Não significativo, \*\* e \* significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. Valor entre parênteses refere-se ao grau de liberdade da análise em blocos ao acaso.

Utilizando as médias das 115 famílias avaliadas nas gerações  $S_{0:1}$ ,  $S_{0:2}$  e  $S_{0:3}$ , foi realizado um *ranking* final, com auxílio do índice genótipo-ideótipo, visando a identificação das melhores famílias para recombinação e extração de linhagens. Cada variável avaliada nos diferentes ambientes (safra das águas de 2018, seca de 2019 e águas de 2019) foi considerada como variável distinta, atribuindo-se o mesmo peso para todas. Foram selecionadas 20 famílias para extração de linhagens, independente da população da qual foram provenientes, conforme apresentado na tabela 10. A família proveniente da população 690 se destacou em todas as avaliações, pois apresentou elevada produtividade, associada ao porte ereto da planta

e bom aspecto comercial dos grãos, superando algumas médias das testemunhas CIAT 22 e Ouro Vermelho. Além disso, a população 677 forneceu o maior número de famílias com potencial para extrair linhagens. Apesar da família 8 da população 691 não apresentar aspecto de grãos muito favorável a comercialização, essa família foi a mais produtiva em todas as avaliações, chegando a 5.495 kg.ha<sup>-1</sup>, superando em mais de 1.000 kg.ha<sup>-1</sup> as testemunhas (Tabela 10).

**Tabela 10.** Médias da arquitetura de planta (ARQ), produtividade de grãos em kg.ha<sup>-1</sup> (PROD) e aspecto comercial dos grãos (AG), das 20 famílias selecionadas para extração de linhagens do CIV, referentes às avaliações S<sub>0:1</sub>, S<sub>0:2</sub> e S<sub>0:3</sub>, na safra das águas de 2018, seca de 2019 e águas de 2019, respectivamente. Coimbra, MG.

População	Família	S <sub>0:1</sub>		S <sub>0:2</sub>			S <sub>0:3</sub>		
		ARQ	PROD	ARQ	PROD	AG	ARQ	PROD	AG
690	4	2,25	3068,0	1,58	4236,2	2,33	2,00	3698,2	3,00
677	17	2,75	4099,0	2,42	3786,5	2,33	2,50	2473,3	1,75
686	23	2,75	2348,4	1,58	4077,6	2,17	2,50	3079,9	2,75
677	45	2,50	3087,0	2,50	3409,4	2,00	3,25	2568,9	2,00
677	37	3,25	2988,0	1,92	3396,7	2,00	2,50	2539,2	2,25
677	33	3,00	2737,0	2,08	3726,0	2,33	2,50	2810,9	3,10
677	10	3,50	2716,0	2,33	3981,8	2,50	3,25	3727,3	2,00
686	32	3,00	3321,0	2,17	3572,3	2,33	3,00	2277,1	2,25
686	40	3,50	3236,0	3,50	4656,9	1,67	3,50	2800,1	2,25
687	9	2,25	2404,0	1,92	3358,0	2,50	2,25	3063,9	2,35
677	35	3,25	2547,0	2,08	3738,9	2,00	2,75	2663,3	2,50
691	8	3,75	5495,0	2,67	5394,4	3,17	3,25	4028,1	4,00
677	19	2,25	2794,0	1,83	2905,9	2,33	2,50	3080,1	2,75
682	17	3,50	4319,0	3,50	4563,5	2,50	4,00	3247,3	2,50
687	32	3,25	2622,0	2,17	3318,2	2,33	2,00	3310,2	2,65
677	47	2,75	3253,0	1,83	3368,5	2,67	2,75	3049,6	3,50
686	27	2,75	2538,0	2,50	3210,6	1,50	2,50	2364,0	1,63
677	2	2,25	2033,0	2,33	3444,0	2,17	3,00	2770,3	1,88
687	42	3,00	2977,0	3,17	3674,6	2,17	2,25	2248,1	1,75
677	3	3,25	2402,0	2,00	3336,6	2,17	2,00	3304,8	2,75
CIAT 22		3,00	2987,6	1,92	2947,4	2,00	1,75	2986,5	2,50
Ouro Vermelho		4,00	2214,0	4,50	3438,1	1,83	4,50	2167,6	2,75

Na tabela 11 estão representadas as médias das 20 famílias selecionadas visando à recombinação para originar a população base do quinto ciclo de seleção (C<sub>v</sub>). Por meio do ranqueamento, foram escolhidas as duas melhores famílias das populações 677, 682, 686, 687 e 690, uma vez que contribuíram com maior número de famílias na avaliação das águas de

2019 (geração S<sub>0:3</sub>). Para as demais populações foi selecionada a melhor família em cada, visando manter a variabilidade genética no C<sub>v</sub>. Nessa seleção também é possível identificar famílias que apresentam melhor desempenho que a testemunha CIAT 22 para produtividade, embora seja necessário melhorar as médias de arquitetura da planta e aspecto comercial dos grãos, visto que muitas apresentaram médias superiores a essa testemunha. Oito famílias demonstraram potencial para extração de linhagens e para recombinação, como se observa nas tabelas 10 e 11.

**Tabela 11.** Médias da arquitetura de planta (ARQ), produtividade de grãos em kg.ha<sup>-1</sup> (PROD) e aspecto comercial dos grãos (AG), das 20 famílias selecionadas para recombinação, referentes às avaliações S<sub>0:1</sub>, S<sub>0:2</sub> e S<sub>0:3</sub>, na safra das águas de 2018, seca de 2019 e águas de 2019, respectivamente. Coimbra, MG.

População	Família	S <sub>0:1</sub>		S <sub>0:2</sub>			S <sub>0:3</sub>		
		ARQ	PROD	ARQ	PROD	AG	ARQ	PROD	AG
677	17	2,75	4099,0	2,42	3786,53	2,33	2,50	2473,25	1,75
677	45	2,50	3087,0	2,50	3409,43	2,00	3,25	2568,85	2,00
679	6	2,25	4144,0	1,83	4560,73	4,17	3,00	3240,95	4,50
680	7	3,00	1637,0	2,58	3880,90	2,17	3,00	3012,80	2,50
681	5	3,75	2528,0	2,67	3436,77	2,33	3,50	2413,20	3,50
682	17	3,50	4319,0	3,50	4563,47	2,50	4,00	3247,30	2,50
682	1	3,00	2424,0	3,00	4981,07	2,17	3,50	3345,60	3,50
683	12	4,00	4588,0	3,33	4826,50	3,00	4,00	3640,15	4,00
684	3	4,00	2191,0	3,17	4528,07	2,67	4,50	1071,80	4,25
686	23	2,75	2348,4	1,58	4077,63	2,17	2,50	3079,85	2,75
686	32	3,00	3321,0	2,17	3572,33	2,33	3,00	2277,10	2,25
687	9	2,25	2404,0	1,92	3358,00	2,50	2,25	3063,90	2,35
687	34	2,75	3296,0	1,83	3243,50	2,17	3,25	2816,55	3,00
689	8	3,25	3262,0	2,67	4124,23	2,50	4,00	2106,75	2,75
690	4	2,25	3068,0	1,58	4236,23	2,33	2,00	3698,15	3,00
690	2	3,50	3263,0	2,83	3548,37	2,33	2,75	3121,75	3,00
691	8	3,75	5495,0	2,67	5394,43	3,17	3,25	4028,05	4,00
692	3	4,00	2703,0	3,50	4676,17	2,50	3,75	1998,85	3,00
693	2	4,00	2938,0	3,33	4093,63	2,50	3,75	2575,90	3,00
695	9	4,00	4469,0	3,50	5475,63	2,67	4,25	3688,40	3,00
CIAT 22		3,00	2987,6	1,92	2947,43	2,00	1,75	2986,45	2,50

### 5.3 Progresso genético do ciclo C<sub>III</sub> para o C<sub>IV</sub>

O progresso genético (PG) foi estimado com base na avaliação das 380 famílias nas gerações S<sub>0:1</sub> e S<sub>0:2</sub>, dos ciclos C<sub>III</sub> e C<sub>IV</sub> do programa de seleção recorrente de feijão vermelho, conduzidas em safras diferentes. Para produtividade de grãos, constatou-se um

ganho de 116,65 kg.ha<sup>-1</sup> na geração S<sub>0:1</sub>, o que equivale a 4,09%. Na geração S<sub>0:2</sub> encontrou-se maior estimativa de PG, 6,36%, correspondendo ao ganho de 232,68 kg.ha<sup>-1</sup> (Tabela 12).

**Tabela 12.** Médias da produtividade de grãos em kg.ha<sup>-1</sup> (PROD), arquitetura de planta (ARQ) e aspecto comercial dos grãos (AG) das 380 famílias avaliadas nas gerações S<sub>0:1</sub> e S<sub>0:2</sub>, nos ciclos três (C<sub>III</sub>) e quatro (C<sub>IV</sub>), e progresso genético com base nessas médias.

Ciclo	S <sub>0:1</sub>		S <sub>0:2</sub>	
	PROD	ARQ	PROD	AG
C <sub>III</sub>	2854,98	3,89	3656,96	2,17
C <sub>IV</sub>	2971,63	3,82	3889,64	2,96
Progresso genético (%)				
C <sub>III</sub> para o C <sub>IV</sub>	4,09	6,31	6,36	-27,91

O PG para arquitetura da planta foi estimado somente na geração S<sub>0:1</sub>, pois essa avaliação não foi realizada para as famílias S<sub>0:2</sub> do C<sub>III</sub>. Logo, foi constatado um progresso de 6,31% entre os dois ciclos. Para aspecto comercial dos grãos, avaliado somente na geração S<sub>0:2</sub>, o PG apresenta sinal negativo, indicando ausência de progresso. Para essa característica, observamos um aumento de 27,91% nas médias, ou seja, houve uma piora expressiva no aspecto comercial dos grãos, já que as maiores médias indicam um padrão mais desfavorável (Tabela 12).

## 6 DISCUSSÃO

Em um programa de seleção recorrente, uma etapa importante é a extração de linhagens para comporem os futuros Ensaios de VCU. Por isso, apesar da falta de significância do efeito de linhagens do C<sub>III</sub> na seca de 2019 (Tabela 3), optou-se pela seleção com base no índice da distância genótipo-ideótipo, visto que muitos genótipos apresentaram médias favoráveis para arquitetura de planta e aspecto comercial dos grãos (APÊNDICE A).

De acordo com Santos e Araújo (2001), a seleção com base em um ou em poucos caracteres pode ocasionar a seleção de um genótipo superior em relação a esses caracteres considerados, mas desempenho insatisfatório em relação aos demais. Por isso, os índices de seleção são uma técnica de grande utilidade no melhoramento de plantas, já que permitem uma combinação das múltiplas avaliações dos genótipos em análise.

Após a seleção e avaliação das 220 linhagens, detectou-se efeito significativo de linhagens para as três características avaliadas (Tabela 4), demonstrando a possibilidade de selecionar genótipos com melhor desempenho. Apesar da significância do contraste linhagens

vs. testemunhas, não houve grandes diferenças entre as médias desses dois grupos, pois para arquitetura da planta essa diferença foi de 4,2%, enquanto para o aspecto comercial dos grãos essa diferença foi de 9,2%. Nessa avaliação, os valores dos CVs para produtividade e aspecto comercial dos grãos, estão em concordância com valores relatados na literatura para experimentos de avaliação de linhagens do feijoeiro (Melo, 2016; Prado, 2014; Menezes Júnior, 2011; Ramalho et al., 2005). A arquitetura da planta apresentou maior CV experimental, porque é uma característica que sofre influência do ambiente e é avaliada por meio de uma escala de notas, sofrendo interferência da subjetividade do avaliador. Quanto menor o erro experimental, maiores são as chances de se detectar diferenças significativas entre os genótipos, por isso o CV demonstra a confiabilidade dos resultados.

Ainda na avaliação das 220 linhagens do C<sub>III</sub>, o delineamento em látice 15 x 15 não apresentou eficiência. Segundo Federer (1955), pode-se utilizar nesse caso o erro padrão para blocos ao acaso, não necessitando de ajuste nas médias dos tratamentos. De acordo com Ramalho et al. (2012b), existem recomendações para desprezar a análise do látice e analisar o experimento em blocos casualizados completos quando a sua eficiência é menor que 100. As análises para arquitetura da planta e aspecto comercial dos grãos foram realizadas considerando o delineamento de blocos ao acaso, pois acredita-se que a avaliação dessas características não seja influenciada pela variação existente entre os blocos do látice da mesma repetição.

Uma nova seleção foi realizada, visando identificar as 59 melhores linhagens com potencial para comporem futuros Ensaios de VCU. Por meio do teste de Dunnett, a 5% de probabilidade (Tabela 5), observou-se que a maioria das linhagens apresentaram aspecto de grão favorável à comercialização, ou seja, não diferindo do padrão Ouro Vermelho. Destaca-se que essa característica é um fator limitante para recomendação de um cultivar de feijão, visto que existem consumidores exigentes no mercado quanto à aparência dos grãos (Menezes Júnior, 2011). Assim, fica evidente o número de linhagens desse programa com potencial para serem incluídas nos Ensaios de VCU.

Entretanto, essas 59 linhagens do C<sub>III</sub> não apresentaram bom desempenho em relação à arquitetura da planta. Essa performance já era esperada, pois na obtenção da população base do C<sub>III</sub> não foram incluídos genitores de porte ereto, além do fato de que os cultivares de feijão vermelho disponíveis no mercado ainda deixam a desejar quanto a arquitetura da planta. Atualmente, a linhagem CIAT 22, que está em fase de recomendação, será o cultivar de feijão vermelho referência para o porte ereto da planta. Por isso, já foram incluídos genitores de porte ereto na obtenção da população base do C<sub>IV</sub>, visto que já se esperava esse

resultado. Essa possibilidade de incluir novos genitores a cada ciclo durante as fases de recombinação é uma das grandes vantagens da seleção recorrente (Ramalho et al., 2005).

Em relação à produtividade dos grãos, essas linhagens apresentaram grande potencial, visto que a mais produtiva superou em 1.529,83 kg.ha<sup>-1</sup> a linhagem CIAT 22 (Tabela 5). Embora tenham apresentado potencial, essas linhagens foram avaliadas somente em três ambientes (safra das águas de 2018, seca de 2019 e águas de 2019), por isso recomenda-se que esses genótipos sejam avaliados em mais ambientes antes de serem incluídos nos Ensaios de VCU para o estado de Minas Gerais.

Em programas de seleção recorrente, as etapas de recombinação e extração de linhagens também são de suma importância para garantir os ganhos futuros. Durante a etapa de recombinação, o objetivo é gerar uma população com suficiente variabilidade genética para se praticar a seleção, visando obter linhagens que possuam alelos favoráveis para os caracteres de interesse (Ramalho et al., 1993). Dessa forma, essas linhagens poderão participar de novos cruzamentos, possibilitando o aumento dos ganhos dentro do programa de melhoramento.

A fim de tornar a seleção de famílias mais eficiente, no caso do feijoeiro, deve-se submeter a população a pelo menos duas ou três gerações de avaliação em cada ciclo (Ramalho et al., 2012a). No presente estudo, a seleção de famílias do C<sub>IV</sub> para recombinação e extração de linhagens foi realizada a partir de experimentos conduzidos com as gerações S<sub>0:1</sub>, S<sub>0:2</sub> e S<sub>0:3</sub>.

A avaliação da geração S<sub>0:1</sub> foi conduzida em um experimento em látice com duas repetições e parcelas menores, devido a limitação no número de sementes disponíveis para cada genótipo. Nas três gerações avaliadas encontrou-se variabilidade genética entre as famílias para todas as características analisadas. Nas três avaliações, as médias das famílias, quanto a arquitetura da planta, mostraram-se satisfatórias, assim como para produtividade e aspecto comercial dos grãos, ou seja, observamos genótipos com porte ereto, elevada produtividade e bom aspecto comercial dos grãos.

Em relação aos CVs da avaliação de famílias, de forma geral as características apresentaram altos valores para esse coeficiente. Como mencionado anteriormente, a arquitetura da planta é uma característica influenciada pelo ambiente e pela subjetividade do avaliador, gerando CVs mais altos. Para o aspecto comercial dos grãos, esperava-se mesmo CVs mais altos, visto que dentro das famílias é esperado alguma segregação e isto dificulta a atribuição da nota. Em relação à produtividade dos grãos, na geração S<sub>0:1</sub>, foi encontrado alto

valor de CV. Esse valor pode ser resultado da influência de fatores ambientais da safra das águas, como chuva na colheita.

Resende e Duarte (2007) consideram que esses limites estabelecidos para o CV são valores relativamente empíricos, na medida em que não informam sobre a acurácia seletiva da avaliação, e conseqüentemente, não consideram o nível de variação genotípica e o número de repetições. Desse modo, além do CV, a acurácia seletiva é um parâmetro recomendado para avaliar a capacidade de sucesso com a seleção.

De acordo com Ramalho et al. (2012a) a acurácia seletiva representa a correlação entre os valores genéticos estimados e os verdadeiros, podendo-se inferir que quanto maior a magnitude da acurácia, melhor é a qualidade experimental para discriminação dos genótipos, para seleção. Os elevados valores de acurácia estão relacionados à existência de variabilidade genética para discriminação dos genótipos e baixa variação residual, a fim de se obter resultados mais confiáveis (Souza, 2019). Ressalta-se que além da variação residual e do número de repetições, a acurácia também é dependente da proporção entre as variações de natureza genética e residual associadas ao caráter em avaliação (Resende e Duarte, 2007).

Resende e Duarte (2007) sugeriram uma classificação dos valores de acurácia, no qual valores de 0,1 a 0,49 indicam baixa acurácia, 0,5 a 0,69 moderada acurácia, 0,7 a 0,89 alta e acima de 0,9 acurácia muito alta. De acordo com essa escala, em todos os experimentos de avaliação de famílias, observou-se, de modo geral, acurácia alta e muito alta para a arquitetura da planta, produtividade e aspecto comercial dos grãos, evidenciando que os experimentos apresentaram boa qualidade para discriminação dos genótipos (Tabelas 6, 7 e 9).

Visto que os experimentos de avaliações de famílias  $S_{0:1}$ ,  $S_{0:2}$  e  $S_{0:3}$  foram conduzidos em látice, é importante atentar-se a sua eficiência. Segundo Ramalho et al. (2012b) a eficiência de um delineamento é uma medida relativa, associada a capacidade do delineamento em propiciar condições para discriminação das médias dos tratamentos em teste, ou seja, a eficiência será tanto maior quanto menor for a variância da diferença entre as médias de tratamentos. Os mesmos autores enfatizam que a eficiência do látice depende basicamente das condições do ambiente onde o experimento é conduzido, pois em ambientes onde os tratamentos não podem ser distribuídos sem comprometer a homogeneidade dentro dos blocos (repetições), o látice deve ser mais eficiente.

Nessas avaliações, a geração  $S_{0:1}$  apresentou maior eficiência (124,14%), que pode ser explicada pelo fato de alguns blocos terem sido mais acometidos por doenças, principalmente murcha-de-fusarium, visto que essa geração apresenta muitos tratamentos, ocupando grande

área experimental. As demais avaliações apresentaram eficiências menores que 105%, indicando condições de cultivo mais uniformes dentro dos blocos da mesma repetição.

De acordo com Prado (2014) o desempenho destacado de uma família em relação a um ou outro caráter, de forma individualizada, não é a melhor estratégia para seleção, principalmente quando se objetiva extrair linhagens. Por isso, também se utilizou o índice da distância genótipo-ideótipo para todas as seleções envolvendo as famílias do C<sub>IV</sub>. Através do índice foi possível combinar as múltiplas avaliações envolvendo as famílias, levando em consideração os caracteres de interesse, de forma que as famílias selecionadas apresentassem o desempenho desejado.

Visando a extração de linhagens, foram selecionadas 20 famílias independentemente da população na qual pertenciam (Tabela 10). Algumas famílias apresentaram oscilações nas notas de arquitetura da planta ao longo das três gerações de avaliação (S<sub>0:1</sub>, S<sub>0:2</sub> e S<sub>0:3</sub>), pois a avaliação é realizada apenas visualmente, assim como ocorre com o aspecto comercial dos grãos. Entretanto, de forma geral, as famílias selecionadas corresponderam a expectativa em relação à arquitetura da planta, apresentando boas médias, explicado pelo fato de terem sido incluídos nesse ciclo, genitores de porte ereto.

As famílias selecionadas para extração de linhagens incluíram somente seis populações das 15 populações segregantes avaliadas na geração S<sub>0:3</sub>, sendo uma única população responsável pela metade dessas famílias. Na geração S<sub>0:3</sub> foram avaliadas apenas 15 populações porque as demais foram eliminadas pela seleção, visto que o número de tratamentos foi reduzido de 380 para 115 famílias. O principal critério para eliminação de algumas populações foi o desempenho quanto ao aspecto comercial dos grãos, pois para obtenção do C<sub>IV</sub> foram incluídos genitores com grãos do tipo carioca. Muitas famílias apresentaram produtividades superiores e melhores médias de arquitetura e aspecto comercial dos grãos em relação às testemunhas Ouro Vermelho e CIAT 22, demonstrando o potencial dessas famílias para extração de linhagens.

De acordo com Borém e Miranda (2013) a escolha dos genitores, assim como o planejamento dos cruzamentos, são importantes etapas para o sucesso de um programa de melhoramento. Além disso, os autores ressaltam que em programas de seleção recorrente, a população deve apresentar elevado desempenho médio e suficiente variabilidade genética para assegurar contínuo progresso ao longo dos vários ciclos de seleção. Portanto, visando à recombinação para formação da população base do quinto ciclo seletivo, também foram selecionadas 20 famílias (Tabela 11). A fim de garantir a variabilidade genética e elevado desempenho médio, foram selecionadas as melhores famílias em cada população. Durante a

seleção, procurou-se associar o maior número de caracteres favoráveis nas famílias selecionadas, que também apresentaram algumas médias superiores à testemunha CIAT 22.

Em um programa de seleção recorrente, o progresso genético deve ser estimado periodicamente, visto que está relacionado às alterações obtidas em relação ao desempenho dos genótipos nos ciclos de seleção (Farias, 2018). Dessa forma, os melhoristas podem inferir se a estratégia de seleção está correta ou necessita ajustes, auxiliando-os na tomada de decisão e condução dos ciclos seguintes, visando aumentar a eficiência do programa (Ramalho et al., 2012a).

É comum encontrar na literatura estimativas de progresso genético em programas de seleção recorrente utilizando o feijoeiro, por meio de avaliações em um ou poucos ambientes (Alves et al., 2015; Freitas, 2012; Menezes Júnior et al., 2008; Ramalho et al., 2005). Além disso, existem diversas metodologias para se estimar o progresso genético em plantas autógamas, tais como avaliação de famílias de diferentes ciclos utilizando testemunhas comuns ou avaliação simultânea das melhores famílias de cada ciclo; avaliação de linhagens de diferentes ciclos utilizando testemunhas comuns ou avaliação simultânea das melhores linhagens de cada ciclo (Farias, 2018; Leite et al., 2016). Nesse estudo a metodologia utilizada foi a comparação de famílias obtidas em diferentes ciclos de seleção, utilizando testemunhas comuns e avaliações em duas gerações.

Foi verificado um progresso genético de 4,09% para produtividade dos grãos entre os ciclos  $C_{III}$  e  $C_{IV}$  na geração  $S_{0:1}$ , enquanto na geração  $S_{0:2}$  o progresso foi de 6,36% (Tabela 12). Menezes Júnior (2011) avaliou de forma simultânea, as melhores linhagens dos ciclos  $C_0$  e  $C_I$  do programa de seleção recorrente apresentado nesse estudo, com feijão vermelho, obtendo estimativas de progresso para produtividade de grãos de 8,5%, 9,6% e 2,9%, nas diferentes safras avaliadas. Utilizando a mesma metodologia, Melo (2016) também avaliou o progresso de três ciclos desse programa de seleção recorrente, verificando a ausência de progresso do  $C_0$  para o  $C_I$ , e progressos de 8,32% do  $C_I$  para o  $C_{II}$  e de 6,12% do  $C_0$  para o  $C_{II}$  quanto a produtividade dos grãos.

Para arquitetura da planta, o progresso genético estimado nesse trabalho foi de 6,31% (Tabela 12). Por meio da avaliação das melhores progênies após três ciclos de seleção recorrente, Menezes Júnior et al. (2008) encontrou 5,11% de progresso genético para a mesma característica.

Atualmente, os programas de melhoramento do feijoeiro buscam por cultivares de porte ereto, no qual as vagens não tocam o solo, com guias curtas e tolerantes ao acamamento, proporcionando a colheita mecanizada com menores perdas, além de propiciar um produto

final de melhor qualidade, visto que uma boa aeração na lavoura diminui a incidência de doenças (Farias, 2018; Melo et al., 2010). Desse modo, o progresso genético obtido nesse trabalho foi satisfatório, demonstrando a eficiência da seleção recorrente em obter famílias no C<sub>IV</sub> com arquitetura da planta melhor que o ciclo anterior.

No presente estudo, não foi detectado progresso genético do C<sub>III</sub> para o C<sub>IV</sub> em relação ao aspecto comercial dos grãos (Tabela 12). Esse resultado já era esperado, pois foram incluídos novos genitores no C<sub>IV</sub> com diferentes tipos de grãos. Essa decisão proporcionou ganhos em arquitetura da planta e produtividade, como previsto, mas promoveu essa perda em relação ao aspecto comercial dos grãos.

Em virtude do dinamismo de um programa de seleção recorrente, no próximo ciclo seletivo na etapa de recombinação, sugere-se a inclusão de novos genitores com grãos de bom aspecto comercial, visando melhorar o desempenho dos genótipos para essa característica. Um dos grandes desafios dos melhoristas é reunir em um único genótipo as características de maior interesse, pois na prática ganhos em alguns caracteres requerem perdas em outros.

Na literatura encontram-se inúmeras estimativas de progresso genético para as características avaliadas nesse trabalho (Farias, 2018; Melo, 2016; Alves et al., 2015; Menezes Júnior, 2011; Arantes et al., 2010; Menezes Júnior et al., 2008; Ramalho et al., 2005; Garcia et al., 2003; Barron et al., 1999). Entretanto, para plantas autógamas, as comparações entre estimativas de progresso genético são dificultadas pelas diferentes metodologias adotadas nos programas de seleção recorrente. As estimativas de ganho genético obtidas nesse trabalho, assim como as estimativas encontradas na literatura, comprovam a eficiência da seleção recorrente como estratégia de melhoramento para o feijoeiro.

## 7 CONCLUSÕES

Após quatro ciclos de seleção recorrente ainda foi detectado progresso genético em torno de 5% para produtividade de grãos, enquanto que para arquitetura da planta esse progresso foi de 6,31%. Não foi detectado ganho em termos de aspecto comercial de grãos, evidenciando a necessidade de inclusão de novos genitores para esta característica na etapa de recombinação.

Foram identificadas linhagens de feijão vermelho com desempenho médio superior as testemunhas Ouro Vermelho e CIAT 22, portanto, com potencial para serem incluídas em futuros Ensaios de VCU para Minas Gerais.

Foram identificadas vinte famílias provenientes do ciclo C<sub>IV</sub> com potencial para extrair novas linhagens.

## REFERÊNCIAS

ABBUD, N. S. **Melhoramento genético do arroz de sequeiro (*Oryza sativa* L.) no Estado do Paraná de 1975 a 1989**. 1991. 141 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1991.

ALCANTARA, R. M. C. M.; ROCHA, M. M.; XAVIER, G. R.; RUMJANEK, N. G. **Estado atual da arte quanto à seleção e o melhoramento de genótipos para a otimização da FBN**. Teresina, Embrapa Meio-Norte, 2009. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAMN-2010/24173/1/doc196.pdf>. Acesso em: 11 de junho de 2020.

ALVES, Anatórcia; MENEZES JÚNIOR J. A. N.; MENEZES SILVA, V. M. P.; CARNEIRO, J. E. S.; CARNEIRO, P. C. S.; ALVES, Andreia. Genetic progress and potential of common bean families obtained by recurrent selection. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, vol. 15, p. 218-226, 2015.

ANJOS, R. S. R.; MARÇAL, T. S.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. S. New proposals to estimate unbiased selection gain and coefficient of variation in traits evaluated using score scales. **Crop Science**, vol. 59, p. 937-944, 2019.

ARANTES, L. C.; ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P. Eight cycles of recurrent selection for resistance to angular leaf spot in common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, vol. 10, p. 232-237, 2010.

ASSEFA, T; MAHAMA, A. A; BROWN, A. V; CANNON, E. K. S; RUBYOGO, J. C; RAO, I. M; BLAIR, M. W; CANNON, S. B. A review of breeding objectives, genomic resources, and marker-assisted methods in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Molecular Breeding**, vol. 39, p. 1-23, 2019.

BARBOSA, M. H. P.; PINTO, C. A. B. P. Eficiência de índices de seleção na identificação de clones superiores de batata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 33, p. 149-156, 1998.

BARRON, J. E.; PASINI, R. J.; DAVIS, D. W.; STUTHMAN, D. D.; GRAHAM, P. H. Response to selection for seed yield and nitrogen (N<sub>2</sub>) fixation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Field Crops Research**, vol. 62, p. 119-128, 1999.

BEARZOTI, E. **Simulação de seleção recorrente assistida por marcadores moleculares em espécies autógamas**. 1997. 230 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

BEM, E. M. A. de; **Seleção de linhagens de feijão carioca para ensaios de Valor de Cultivo e Uso**. 2012. 45 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. A cultura. In: CARNEIRO, J. E.; JÚNIOR, T. J. P.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, p. 9-15, 2015.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de Plantas**. Viçosa: Editora UFV, 523 p., 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 25, de 23 de maio de 2006**. Requisitos mínimos para determinação do valor de cultivo e uso de feijão (*Phaseolus vulgaris*) para a inscrição no registro nacional de cultivares (RNC), Brasília, DF, 2006.

BRESEGHELLO, F.; MORAIS, O. P.; RANGEL, P. H. N. A new method to estimate genetic gain in annual crops. **Genetics and Molecular Biology**, vol. 21, p. 551-555, 1998.

BULISANI, E.A. **Feijão carioca - uma história de sucesso**. 2008. Artigo em Hypertexto. Disponível em: [http://www.infobibos.com/Artigos/2008\\_4/FeijaoCarioca/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2008_4/FeijaoCarioca/index.htm). Acesso em: 10 de junho de 2020.

CAMPOS, L. H. R. **Estimativa do progresso genético: um exemplo aplicado em 18 anos do melhoramento de soja**. 2019. 37 p. Dissertação (Mestrado em Bioenergia e Grãos) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, 2019.

CÂNDIDA, D. V.; COSTA, J. G. C.; RAVA, C. A.; CARNEIRO, M. S. Controle genético da murcha do fusário (*Fusarium oxysporum*) em feijoeiro comum. **Tropical Plant Pathology**. Brasília, vol. 34, num. 06, p. 379-384, 2009.

CARBONELL, S. A. M.; GUERREIRO FILHO, O.; SIQUEIRA, W. J. Contributions of the Instituto Agrônômico (IAC) for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, vol. 12, p. 15-24, 2012.

CARGNIN, A. **Melhoramento de plantas: progresso genético e ambiental**. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2007a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/571971/melhoramento-de-plantas-progresso-genetico-e-ambiental>. Acesso em: 02 de janeiro de 2021.

CARGNIN, A. **Seleção Recorrente no Melhoramento Genético de Plantas Autógamas**. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2007b. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/571979>. Acesso em: 05 de janeiro de 2021.

CARMO, S. L. M.; SANTOS, J. B. H.; HAGIWARA, W. E.; FERREIRA, J. L. Avaliação do 'stay green' em famílias segregantes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, vol. 31, num. 04, p. 953-957, 2007.

CARNEIRO, J. E. S. **Alternativas para obtenção e escolha de populações segregantes no feijoeiro**. 2002. 147 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

CARNEIRO, J. E. S.; CARVALHO, A. J.; OLIVEIRA, M. B. Cultivos consorciados. In: CARNEIRO, J. E.; JÚNIOR, T. J. P.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, p. 300-326, 2015.

CARNEIRO, J. E. S.; SILVA, L. C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; ARAÚJO, G. A. A.; CARNEIRO, P. C. S.; GIUDICE, M. P.; MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; RAMALHO, M. A. P.; PELOSO, M. J.; ABREU, A. F. B.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. ‘Ouro Vermelho’: New red bean cultivar for Minas Gerais, Brazil. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, vol. 49, p. 281-282, 2006.

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

CARVALHO, C. G. P.; CRUZ, C. D.; VIANA, J. M. S.; SILVA, D. Selection based on distances from ideotype. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, vol. 2, p. 171-178, 2002.

COELHO, C. G.; OLIVEIRA, L. S. G.; BERNARDES, L. Melhoramento do feijoeiro no Brasil: uma revisão de literatura. In: **Ciência que aproxima ciência que liberta**, XXI, 2017, São José dos Campos. Anais...São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2017. Disponível em: [http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2017/anais/arquivos/RE\\_0869\\_1360\\_01.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2017/anais/arquivos/RE_0869_1360_01.pdf). Acesso em: 22 de abril de 2020.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira grãos**. V. 7 – SAFRA 2019/20 – N. 7 – Sétimo levantamento – abril 2020b. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 08 de junho de 2020.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Estimativas – Produção e Balanço de Oferta e Demanda**. 2020a. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 29 de dezembro de 2020

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Mercado de feijão**. 2019. Disponível em: [https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/feijao/2019/41a-ro/app\\_41ro\\_feijao\\_mercado.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/feijao/2019/41a-ro/app_41ro_feijao_mercado.pdf). Acesso em: 08 de junho de 2020.

CORDEIRO, A. C. C.; RANGEL, P. H. N. Avaliação de populações de arroz irrigado conduzidas por seleção recorrente em várzea de Roraima. **Revista Agro@mbiente**, vol. 5, p. 182-187, 2011.

CRUZ, C. D. **Programa Genes – Biometria**. Viçosa: Editora UFV, 382 p., 2006.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento de genético**. Viçosa: Editora UFV, 514 p., 2012.

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

DELANEY, D. E.; BLISS, F. A. Selection for increased percentage phaseolin in common bean; Changes in frequency of seed protein alleles with S1 family recurrent selection. **Theoretical and applied genetics**, vol. 81, p. 306-311, 1991.

DI PIERO, R. M.; GARDA, M. V. Quitosana reduz a severidade da antracnose e aumenta a atividade de glucanase em feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, vol. 43, num. 09, p.1121-1128, 2008.

DI PRADO, P. R. C. **Melhoramento genético para altos teores de ferro e zinco em feijoeiro-comum**. 2017. 134 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, vol. 6, p. 36-40, 1966.

ELSTON, R. C. A weight-free index for the purpose of ranking or selection with respect to several traits at a time. **Biometrics**, vol. 19, p. 85-97, 1963.

FARIAS, F. C. **Progresso genético do programa de seleção recorrente para produtividade de grãos de feijoeiro-comum da Embrapa**. 2018. 53 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018.

FEDERER, W. T. Experimental design. Nova York, **The Macmillan Company**, 544 p, 1955.

FERNANDES, J. S. C. **Estabilidade ambiental de cultivares de milho (*Zea mays* L.) na região Centro Sul do Brasil**. 1998. 94 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1998.

FINLAY, K. W.; WILKINSON, G. N. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. **Australian Journal of Agriculture Research**, vol. 14, p. 742-754, 1963.

FONSECA JÚNIOR, N. S. da. **Progresso genético na cultura do feijão no Estado do Paraná para o período de 1977 a 1995**. 1997. 160 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1997.

FREITAS, R. M. **Progresso genético de três ciclos de seleção recorrente no melhoramento de feijão vermelho**. 2012. 50 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

GARCIA, A. A. F.; SOUZA JÚNIOR, C. L. Comparação de índices de seleção não paramétricos para a seleção de cultivares. **Bragantia**, vol. 58, p. 253-267, 1999.

GARCIA, R. E.; ROBINSON, R. A.; AGUILAR, J. A. P.; SANDOVAL, S. I.; GUZMAN, R. P. Recurrent selection for quantitative resistance to soil borne diseases in beans in the Mixteca region, México. **Euphytica**, vol. 130, p. 241-247, 2003.

GILMOUR, A.R., GOGEL, B.J., CULLIS, B.R.; THOMPSON, R. **ASReml - User Guide Release 3.0**. VSN International Ltd, Hemel Hempstead, HP1 1ES, Reino Unido, 2009. Disponível em: <https://www.vsnl.co.uk/downloads/asrem1/release3/UserGuide.pdf>. Acesso em: 08 de janeiro de 2021.

HAZEL, L. N. The genetic basic for constructing selection indexes. **Genetics**, vol. 28, p. 476-490, 1943.

HEINEMANN, A. B.; VILLEGAS-RAMIREZ, J.; SOUZA, T. L. P. O.; DIDONET, A. D.; STEFANO, J. G. di; BOOTE, K. J.; JARVIS, A. Drought impact on rainfed common bean production areas in Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, vol. 225, p. 57–74, 2016.

IBRAFE – Instituto Brasileiro de Feijão e Pulses. **O que são pulses?** 2020. Disponível em: <https://www.ibrafe.org/o-que-sao-pulses/>. Acesso em: 08 de janeiro de 2021.

JINKS, J. L.; POONI, H. S. Predicting the properties of recombinant inbred lines derived by single seed descent. **Heredity**, vol. 36, p. 253–266, 1976.

JÚNIOR, T. J. P.; VIEIRA, R. F.; TEIXEIRA, H.; JUNIOR, M. L.; WENDLAND, A. Doenças do feijoeiro: estratégias integradas de manejo. In: CARNEIRO, J. E.; JÚNIOR, T. J. P.; BOREM, A. **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, p. 270-299, 2015.

LEITE, M. E.; DIAS, J. A.; SOUZA, D. A. de; ALVES, F. C.; PINHEIRO, L. R.; SANTOS, J. B. Increasing the resistance of common bean to white mold through recurrent selection. **Scientia Agricola**, vol. 73, p. 71-78, 2016.

LESSA, L. S.; LEDO, C. A. S.; SANTOS, V. S.; SILVA, S. O.; PEIXOTO, C. P. Seleção de híbridos diplóides (AA) de bananeira com base em três índices não paramétricos. **Bragantia**, vol. 69, p. 525-534, 2010.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A. Superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal Plant Science**, vol. 68, p. 193-198, 1988.

MARQUES, B.; CARDOSO, I. L.; FERREIRA, M.; SILVA, R.; LIMA, H. V.; SANTOS, M. P. **Fixação biológica do nitrogênio reduz custos e os impactos ao meio ambiente contribuindo para a sustentabilidade do cultivo do feijoeiro-comum**. Sistema Integrado de Publicações Eletrônicas da Faculdade Araguaia – SIPE, vol. 07, num. 01, p. 19-25, 2018. Disponível em: <http://www.fara.edu.br/sipe/index.php/anuario/article/view/853/721>. Acesso em: 11 de junho de 2020.

MARTINS, S. M. **Estratégias de melhoramento do feijoeiro-comum para altos teores de ferro e zinco**. 2015. 94 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

MATOS, J. W. de; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Trinta e dois anos do programa de melhoramento genético de feijoeiro comum em Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, vol. 31, num. 6, p. 1749-1754, 2007.

MELO, L. C.; PELOSO, M. J Del; PEREIRA, H. S.; FARIA, L. C.; COSTA, J. G. C. da; DÍAZ, J. L. C.; RAVA, C. A.; WENDLAND, A. ABREU, A. F. B. BRS Estilo - Common

bean cultivar with Carioca grain, upright growth and high yield potential. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, vol. 10, p. 377-379, 2010.

MELO, V. L. **Progresso genético e potencial de famílias e linhagens de dois ciclos de seleção recorrente no melhoramento de feijão vermelho**. 2016. 49 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

MENEZES JÚNIOR J. A. N.; RAMALHO M. A. P.; ABREU A. F. B. Seleção recorrente para três caracteres do feijoeiro. **Bragantia**, vol. 67, p. 833-838, 2008.

MENEZES JUNIOR, J. A. N. **Seleção recorrente no melhoramento de feijão vermelho**. 2011. 83 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; CARNEIRO, J. E. S.; SILVA, V. M. P.; SILVA, L. C.; PETERNELLI, L. A.; CARNEIRO, P. C. S. Common bean breeding to improve red grain lines. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, vol. 11, p. 50-58, 2011.

MITIDIERO JUNIOR, M. A. M.; BARBOSA, H. J. N.; SÁ, T. H. de. Quem produz comida para os brasileiros? 10 anos do censo agropecuário 2006. **Pegada**, vol. 18, num. 03, 2017.

MORAIS JÚNIOR, O. P.; BRESEGHELLO, F.; DUARTE, J. B.; MORAIS, O. P.; RANGEL, P. H. N.; COELHO, A. S. G. Effectiveness of Recurrent Selection in Irrigated Rice Breeding. **Crop Science**, vol. 57, p. 3043-3058, 2017.

MORAIS, O. P.; ABBUD, N. S. **Subsídios para avaliação do progresso genético dos programas estaduais de melhoramento de arroz no Brasil**. Goiânia: Embrapa- CNPAF, 26 p., 1993.

MOURA, A. D.; BRITO, L. M. Aspectos socioeconômicos. In: CARNEIRO, J. E.; JÚNIOR, T. J. P.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, p. 16-36, 2015.

MOURA, M. M.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. S.; CRUZ, C. D. Potencial de caracteres na avaliação da arquitetura de plantas de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, vol. 48, num. 04, p. 417-425, 2013.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco Maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, vol. 7, p. 40- 51, 1978.

NIU, Na; ARIEF, V. N.; DeLACY, I. H.; LUSH, D.; SHEPPARD, J. ZHANG, G.; DIETERS, M. J. Genetic gain in yield and protein over two cycles of a wheat recurrent selection program. **Breeding Science**, vol. 60, p. 181–186, 2010.

PASSOS, A. L. P. **Mapeamento de locos de resistência ao crestamento bacteriano comum do feijoeiro (*Phaseolus Vulgaris* L.)**. 2016. 81 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; DI PRADO, P. R. C.; MELO, P. G. S.; FARIA, L. C.; SOUZA, T. L. P. O.; AGUIAR, M. S.; CABRERA DIAZ, J. L.; ALMEIDA, V. M.; COSTA,

A. F.; MELO, C. L. P.; CARVALHO, H. W. L.; PEREIRA FIALHO, I. A. **Cultivares de feijão com maiores teores de ferro, zinco e proteína nos grãos**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2018. 8 p. (Série Comunicado Técnico, 243). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1091838>. Acesso em: 12 de junho de 2020.

PEREIRA, P. A. A.; MIRANDA, B. D.; ATTEWELL, J. R.; KMIĘCIK, K. A.; BLISS, F. A. Selection for increased nodule number in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plant and Soil**, vol. 148, p. 203-209, 1993.

PEREIRA, P. A. A.; SOUZA, C. R. B. Tipos de faseolina em raças "crioulas" de feijão no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 27, p. 1219-1221, 1992.

PESEK, J.; BAKER, R. J. Desired improvement in relation to selected indices. **Canadian Journal of Plant Science**, vol. 49, p. 803-804, 1969.

PIRES, L. P. M.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; FERREIRA, M. C. Recurrent mass selection for upright plant architecture in common bean. **Scientia Agricola**, vol. 71, p. 240-243, 2014.

PLAISTED, R. L.; PETERSON, L. C. A technique for evaluating the ability of selection to yield consistently in different locations or seasons. **America Potato Journal**, vol. 36, p. 381-385, 1959.

POSADAS, L. G.; ESKRIDGE, K. M.; SPECHT, J. E.; GRAEF, G. L. Elite performance for grain yield from unadapted exotic soybean germplasm in three cycles of a recurrent selection experiment. **Crop Science**, vol. 54, p. 2536–2546, 2014.

PRADO, A. L. **Potencial de famílias e linhagens de feijão-vermelho do programa de seleção recorrente da Universidade Federal de Viçosa**. 2014. 46 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

QUINTELA, E. D.; BARBOSA, F. R. Manejo de pragas. In: CARNEIRO, J. E.; JÚNIOR, T. J. P.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, p. 242-269, 2015.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 15 de agosto de 2020.

RAMALHO M. A. P.; ABREU A. F. B.; SANTOS J. B. Genetic progress after four cycles of recurrent selection for yield and grain traits in common bean. **Euphytica**, vol. 144, p. 23-29, 2005.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Obtenção de cultivares. In: CARNEIRO, J. E.; JÚNIOR, T. J. P.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, p. 96-114, 2015.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Editora UFLA, 522 p., 2012a.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em Genética e Melhoramento de Plantas**. Lavras: Editora UFLA, 328 p., 2012b.

RAMALHO, M. A. P.; PIROLA, L. H.; ABREU, A. F. B. Alternativas na seleção de plantas de feijoeiro com porte ereto e grão tipo carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 33, p. 1989-1994, 1998.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. de O. **Genética quantitativa em plantas autógamas; aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: Editora UFG, 271 p., 1993.

RESENDE, M. D. V. de; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, vol. 37, p. 182–194, 2007.

RESENDE, M.D.V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa - Informação Tecnológica, 975 p., 2002.

RIBEIRO, N. D. Potencial de aumento da qualidade nutricional do feijão por melhoramento genético. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina, vol. 31, num. 01, p. 1367-1376, 2010.

ROCHA, R. B.; MURO-ABAD, J. I.; ARAÚJO, E. F.; CRUZ, C. D. Avaliação do método centroide para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clones de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, vol. 15, p. 255-266, 2005.

SALGADO, F. H. M.; SILVA, J.; OLIVEIRA, T. C.; BARROS, H. B.; PASSOS, N. G.; FIDELIS, R. R. Eficiência de genótipos de feijoeiro em resposta à adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, vol. 42, num. 04, p. 368-374, 2012.

SANTOS, C. A. F.; ARAÚJO, F. P. Aplicação de índices de seleção de caracteres agronômicos de feijão-de-corda. **Ciência Agronômica**, vol. 32, p. 78-84, 2001.

SILVA, C. A.; ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P. Associação entre arquitetura de planta e produtividade de grãos em progênies de feijoeiro de porte ereto e prostrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, vol. 44, num. 12, p. 1647-1652, 2009.

SILVA, L. C. **Estratégias de condução de populações segregantes no melhoramento genético do feijoeiro**. 2009. 80 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

SILVA, N. M. **Qualidade tecnológica de cultivares de feijão preto e carioca recomendadas nos últimos 60 anos no Brasil**. 2018. 41 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

SMITH, H. F. A. A discriminat function for plant selection. **Annals of Eugenics**, vol. 7, p. 240-250, 1936.

SOARES, D. M.; PORTES, T. de A. Consórcio. In: GONZAGA, A. C. de O. **Feijão: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, p. 89-96, 2014.

SOUZA, M. H. de. **Potencial genético de cultivares de feijão preto e carioca recomendadas no Brasil**. 2019. 47 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

STECKLING, S. de M.; RIBEIRO, N. D.; ARNS, F. D.; MEZZOMO, H. C.; POSSOBOM, M. T. D. F. Genetic diversity and selection of common bean lines based on technological quality and biofortification. **Genetics and Molecular Research**, vol. 16, 2017.

SUBANDI, W.; COMPTON, A.; EMPIG, L. T. Comparison of the efficiencies of selection indexes for three traits in two variety crosses of corn. **Crop Science**, vol. 13, p. 184-186, 1973.

TERÁN, H.; SINGH, S. P. Recurrent selection for physiological resistance to white mould in dry bean. **Plant Breeding**, vol. 129, p. 327-333, 2010.

TSUTSUMI, C. Y.; BULEGON, L. G.; PIANO, J. T. Melhoramento genético do feijoeiro: avanços, perspectivas e novos estudos, no âmbito nacional. **Nativa**. Sinop, vol. 03, num. 03, p. 217-223, 2015.

VENCOVSKY, R.; MORAES, A. R.; GARCIA, J. C.; TEIXEIRA, N. M. Progresso genético em vinte anos de melhoramento do milho no Brasil. In: Congresso de Milho e Sorgo, 9., 1986, Belo Horizonte. **Anais[...]** Sete Lagoas: Embrapa- CNPMS, 1986. p. 300-307.

VERMA, M. M.; CHAHAL, G. S.; MURTY, B. R. Limitations of conventional regression analysis: a proposed modification. **Theoretical and Applied Genetics**, vol. 53, p. 89-91, 1978.

VIEIRA, R. F.; LIMA, M. S.; NEVES, J. C. L.; ANDRADE, M. J. B. Adubação. In: CARNEIRO, J. E.; JÚNIOR, T. J. P.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, p. 145-172, 2015.

WILLIAMS, J. S. The evaluation of a selection index. **Biometrics**, vol. 18, p. 375-393, 1962.

WUTKE, E. B.; MASCARENHAS, H. A. A. History of Carioca, the most popular landrace cultivar of the modern times on the American continents. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, vol. 55, p. 257-258, 2012.

ZHANG, L.; RICHARDS, R. A.; CONDON, A. G.; LIU, D. C.; REBETZKE, G. J. Recurrent selection for wider seedling leaves increases early biomass and leaf area in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Experimental Botany**, vol. 66, p. 1215–1226, 2015.

## APÊNDICE

**APÊNDICE A** – Médias da arquitetura de planta (ARQ), produtividade de grãos em kg.ha<sup>-1</sup> (PROD) e aspecto comercial dos grãos (AG), das 600 linhagens avaliadas na safra da seca de 2019. Coimbra, MG.

Linhagens	ARQ	PROD	AG	Linhagens	ARQ	PROD	AG
1	2,0	3251,1	2,0	301	2,5	2458,3	2,0
2	3,5	3998,4	2,5	302	3,5	2899,8	2,5

3	4,0	3323,3	2,5	303	4,0	3389,5	2,5
4	2,0	2822,6	2,0	304	3,5	2453,4	2,5
5	3,0	2993,3	2,5	305	3,0	2857,4	2,5
6	2,0	3052,7	2,0	306	3,5	3062,1	2,5
7	2,0	2481,5	3,0	307	2,5	1631,5	2,5
8	3,5	2674,8	2,5	308	3,0	3839,1	2,0
9	4,0	3281,9	2,0	309	3,5	3187,7	2,0
10	3,5	3317,3	2,5	310	3,5	4563,0	2,0
11	2,5	3683,7	1,5	311	3,0	3626,0	2,0
12	3,0	2838,1	2,5	312	3,5	2241,5	2,0
13	3,0	2530,4	2,0	313	3,0	3491,7	2,0
14	2,0	3362,3	3,0	314	3,5	3203,1	2,0
15	3,0	3031,7	3,0	315	3,5	3300,2	2,0
16	3,5	3728,8	2,5	316	4,0	4686,9	2,5
17	2,5	2639,3	3,0	317	3,0	3175,6	2,5
18	2,5	3355,6	2,5	318	2,5	4190,3	2,5
19	3,5	3647,3	2,5	319	2,5	3897,4	2,5
20	3,5	3410,6	2,5	320	3,5	3292,4	2,5
21	3,0	3490,2	2,0	321	4,0	3390,8	2,0
22	4,0	2856,2	2,5	322	3,5	3561,3	2,5
23	3,5	3638,9	2,5	323	2,5	2375,5	2,0
24	4,0	3505,1	2,5	324	3,0	2534,2	2,5
25	3,5	3269,2	2,5	325	3,0	2337,1	2,0
26	2,5	3968,5	2,0	326	2,5	4087,3	2,0
27	2,5	3181,3	3,0	327	4,0	4030,3	2,0
28	3,5	2419,2	3,0	328	3,5	3004,4	2,0
29	2,0	3723,5	3,0	329	3,5	3068,6	2,5
30	4,0	2739,4	2,5	330	3,5	4037,5	2,0
31	4,5	3458,1	2,5	331	2,5	3364,0	3,0
32	2,0	3066,1	2,0	332	3,5	3935,4	2,0
33	2,5	4133,2	3,0	333	3,5	3885,3	2,5
34	2,5	2717,9	2,5	334	3,0	3919,9	2,0
35	2,5	3206,3	3,0	335	3,5	3015,7	2,0
36	2,5	2981,0	2,0	336	3,0	3297,6	2,5
37	3,5	3387,8	2,5	337	3,5	2724,3	2,0
38	3,5	3190,6	2,5	338	2,0	3978,0	2,5
39	1,5	3067,4	2,5	339	3,5	3493,6	2,5
40	1,5	3972,2	2,5	340	3,5	3219,8	2,5
41	3,5	1993,9	2,5	341	3,0	2861,2	2,0
42	3,5	3121,1	2,5	342	4,0	1533,8	3,0
43	3,5	4362,3	2,5	343	4,0	2834,3	2,0
44	3,5	3661,7	2,0	344	3,0	2520,6	2,5
45	4,0	3247,5	3,0	345	2,5	4191,3	2,0
46	3,5	2990,1	2,0	346	3,5	2992,1	2,5
47	3,5	4017,0	2,5	347	4,0	4564,2	2,0
48	2,5	3494,2	2,0	348	2,5	4522,6	2,0
49	2,5	3628,3	2,5	349	3,0	2641,9	2,5

50	3,5	4853,0	2,5	350	3,0	2665,5	2,0
51	3,5	3924,1	2,5	351	3,5	3037,4	2,0
52	3,0	2932,3	2,5	352	4,0	3169,1	2,5
53	2,5	4500,2	2,0	353	2,5	3642,4	2,5
54	3,5	4204,1	2,0	354	4,0	3298,2	3,0
55	3,5	3664,7	2,0	355	3,5	2237,1	2,5
56	4,0	3134,3	2,0	356	3,5	4530,8	2,0
57	3,5	3382,2	2,0	357	3,5	3554,3	2,5
58	4,0	2865,7	2,5	358	3,0	3136,5	2,0
59	3,5	4037,0	2,5	359	3,5	3158,6	1,5
60	4,0	3179,7	2,5	360	3,0	3422,8	2,5
61	3,5	3961,2	2,5	361	3,5	3687,6	2,5
62	3,0	3752,2	2,5	362	4,0	3998,1	2,5
63	4,5	3637,5	2,5	363	2,5	3271,1	3,0
64	3,5	3725,3	2,5	364	3,0	3734,2	2,5
65	3,0	3410,2	2,0	365	4,5	3646,1	2,5
66	4,5	3466,2	2,0	366	3,0	3263,2	2,5
67	4,0	3835,2	2,0	367	3,5	2626,1	3,5
68	3,5	4703,1	2,0	368	2,5	4321,2	2,5
69	1,5	2812,2	2,0	369	2,5	3035,9	3,0
70	4,0	3728,2	2,0	370	2,5	3217,9	2,5
71	4,0	1952,4	2,5	371	4,0	2810,4	2,5
72	4,0	4345,4	2,5	372	3,0	2230,4	2,0
73	3,0	2876,4	2,5	373	4,5	3788,1	2,5
74	3,5	4041,4	2,5	374	3,5	3659,6	3,0
75	3,0	3698,3	2,5	375	4,0	1283,6	3,0
76	4,0	5166,7	2,5	376	3,5	3068,0	2,5
77	2,5	3650,9	2,5	377	3,5	2942,1	3,5
78	3,5	3386,9	2,0	378	3,5	4475,7	2,0
79	3,5	3654,0	2,0	379	3,5	3357,6	3,0
80	4,0	3666,3	3,0	380	4,5	2838,1	2,5
81	4,0	2743,0	2,0	381	3,5	3840,8	2,5
82	4,0	4185,1	2,0	382	3,5	3471,8	2,5
83	4,0	3585,6	2,0	383	4,5	2458,3	2,5
84	2,5	2867,4	2,5	384	3,0	3049,1	2,5
85	2,5	3079,5	2,5	385	4,0	3786,5	2,5
86	4,5	4067,3	2,5	386	4,0	2958,6	3,0
87	3,5	3237,2	2,5	387	3,5	3339,5	3,0
88	3,0	3186,1	2,5	388	2,0	2904,6	4,0
89	3,5	3503,3	2,0	389	3,5	3079,2	2,5
90	3,5	3449,1	2,5	390	2,5	3021,2	2,0
91	3,5	4254,6	2,5	391	4,0	3106,6	3,0
92	3,0	3008,6	2,5	392	4,0	3196,2	2,5
93	3,5	2628,9	2,0	393	4,5	1968,5	2,5
94	2,5	4198,7	2,5	394	3,5	2685,6	2,5
95	4,5	3340,1	2,5	395	3,0	2102,6	3,0
96	2,0	3467,8	2,0	396	3,5	3277,0	2,5

97	2,0	2981,4	2,0	397	3,5	4138,7	2,5
98	3,5	4079,8	2,0	398	2,5	3684,6	2,5
99	4,0	3356,6	2,5	399	3,5	3262,8	2,5
100	4,0	3231,1	2,0	400	4,0	2861,2	2,5
101	3,0	3207,8	2,5	401	4,0	1375,8	2,5
102	3,5	2024,8	2,0	402	3,5	4056,1	2,5
103	3,5	3245,9	2,5	403	2,0	3044,6	3,0
104	3,5	3280,1	2,5	404	3,5	3599,3	3,0
105	4,0	3378,0	2,0	405	3,5	3722,3	3,0
106	4,0	3585,2	2,0	406	3,5	3523,7	2,5
107	4,0	3246,6	2,5	407	4,0	2235,5	3,0
108	2,5	3540,4	2,5	408	3,5	3820,0	2,0
109	4,0	3195,9	2,0	409	3,5	3754,4	2,0
110	4,0	3892,0	2,5	410	3,5	4044,0	1,5
111	3,0	3893,8	2,5	411	3,0	4070,3	3,5
112	2,5	3272,9	2,0	412	3,5	3002,4	3,0
113	3,5	2435,4	2,5	413	3,0	3687,7	2,5
114	4,0	4080,6	2,5	414	3,0	3178,3	2,5
115	4,0	2971,4	2,5	415	3,5	3483,3	2,5
116	3,5	2996,0	2,5	416	3,5	1771,6	2,0
117	3,5	2695,2	2,5	417	3,5	3043,0	3,5
118	2,5	2197,2	3,0	418	3,5	2026,7	3,5
119	4,0	3964,1	2,5	419	2,5	1125,1	3,0
120	3,5	3199,3	2,0	420	3,5	2934,6	2,5
121	4,0	3496,0	2,5	421	3,0	3006,2	2,5
122	3,0	3374,6	2,5	422	3,5	2227,4	3,0
123	1,75	3667,6	2,5	423	3,0	1971,4	2,0
124	2,5	2798,3	2,5	424	2,5	3246,7	2,5
125	4,5	3413,3	2,5	425	4,0	2314,1	2,5
126	2,5	3965,2	2,5	426	2,5	2587,1	3,0
127	3,5	4670,0	2,0	427	3,0	2740,9	2,0
128	2,5	3643,2	2,0	428	3,0	3450,9	2,5
129	3,5	3321,5	2,0	429	3,0	2275,4	2,5
130	4,0	2618,5	2,0	430	3,5	1718,8	3,0
131	3,5	3396,2	2,0	431	2,5	3176,6	2,5
132	2,5	3827,4	2,0	432	2,5	1523,0	2,5
133	4,5	3210,0	2,5	433	3,5	3176,9	2,5
134	3,5	2899,9	2,0	434	2,5	2978,9	3,0
135	3,5	3800,4	2,0	435	4,5	2198,4	2,5
136	3,5	3589,1	2,5	436	4,0	2082,7	2,5
137	2,5	3013,2	3,0	437	3,0	3326,2	2,5
138	3,5	2880,4	2,0	438	3,5	3615,7	2,0
139	3,5	4495,3	2,0	439	4,0	4242,0	2,0
140	3,5	3332,0	2,5	440	3,0	2774,4	2,5
141	4,0	3825,1	2,0	441	3,0	3270,1	2,5
142	2,0	4304,6	3,0	442	3,0	3862,9	2,5
143	4,0	2139,6	2,5	443	2,5	1958,1	2,0

144	4,5	2928,4	2,0	444	4,0	2120,7	2,5
145	3,0	4177,2	2,5	445	4,0	3279,2	2,5
146	4,0	3239,7	2,0	446	3,5	4118,4	2,5
147	4,5	3119,4	2,5	447	3,5	1477,7	2,5
148	3,0	2489,5	2,5	448	4,0	3512,4	2,0
149	3,5	3473,6	2,5	449	3,5	2735,9	2,0
150	4,5	3886,0	2,0	450	2,5	3374,0	2,0
151	3,5	2845,8	2,0	451	3,5	3220,8	3,0
152	3,5	2672,8	2,5	452	3,0	3730,7	2,5
153	2,5	3747,4	2,0	453	3,5	3070,2	2,5
154	2,5	2928,8	2,5	454	3,5	2671,5	2,0
155	3,5	3631,1	2,5	455	3,0	3212,4	3,0
156	3,5	3962,5	1,5	456	3,5	3381,3	2,0
157	4,5	3199,2	2,0	457	3,5	3695,5	3,0
158	3,5	3189,3	3,0	458	3,5	2087,4	2,5
159	2,0	1676,5	2,0	459	4,0	3910,9	2,5
160	4,5	2902,1	2,5	460	3,0	3229,5	2,5
161	4,0	3499,0	2,0	461	3,5	2491,6	2,5
162	4,5	3110,6	2,5	462	4,0	3256,1	3,0
163	4,0	3810,9	2,5	463	3,0	2070,3	2,5
164	4,5	3410,3	2,5	464	3,0	1793,2	3,5
165	3,5	2489,9	3,0	465	3,0	4355,8	2,0
166	4,0	3529,0	2,0	466	3,5	3751,9	3,0
167	2,5	2892,4	2,5	467	3,5	2399,5	3,5
168	3,5	3336,4	2,5	468	3,0	3545,0	2,5
169	3,0	3159,9	1,5	469	2,5	3436,3	2,0
170	3,0	1969,3	2,5	470	4,0	2264,8	2,5
171	4,0	2885,3	2,0	471	3,0	2515,2	3,0
172	3,5	3776,5	2,0	472	3,5	4613,2	3,0
173	2,5	4111,3	2,5	473	4,0	2665,9	2,5
174	3,0	3020,9	2,0	474	2,5	1854,4	3,0
175	3,5	4783,7	2,0	475	3,5	2683,9	3,0
176	3,5	2761,4	2,5	476	3,5	3631,1	3,0
177	2,0	3617,8	2,5	477	3,5	1818,1	3,0
178	4,0	3500,8	2,5	478	2,0	3079,7	3,5
179	3,5	2351,8	2,0	479	3,5	4116,9	3,0
180	2,5	2354,7	2,5	480	3,5	3682,9	2,5
181	3,5	3199,5	2,5	481	2,5	2643,4	2,5
182	3,5	2935,7	2,0	482	3,5	4330,9	2,0
183	3,5	3566,9	2,0	483	2,5	3912,4	2,5
184	3,5	3712,2	2,0	484	3,0	3069,6	2,0
185	2,5	3547,9	3,5	485	3,5	3154,1	2,5
186	2,5	2452,7	2,0	486	3,5	1241,7	2,5
187	4,0	2949,5	2,5	487	3,5	5162,2	2,0
188	3,5	3591,2	2,0	488	3,5	3081,1	3,0
189	4,5	3553,7	2,0	489	3,5	3794,5	1,5
190	3,5	3449,8	2,5	490	3,5	3831,8	2,0

191	3,0	2335,5	2,0	491	3,5	3292,6	2,5
192	3,5	2820,3	2,5	492	2,5	1688,6	2,5
193	3,5	2798,6	2,5	493	2,5	2568,1	2,5
194	3,5	3957,7	2,5	494	2,5	2766,1	2,5
195	4,5	3108,0	2,0	495	3,5	2668,9	2,0
196	3,5	3772,9	2,5	496	2,5	2763,4	2,5
197	3,5	2643,1	3,0	497	3,5	4134,8	2,0
198	4,0	3588,1	2,5	498	4,5	2571,1	2,5
199	4,5	3354,0	3,0	499	2,5	4537,9	2,0
200	3,5	2861,7	2,0	500	3,0	3301,8	3,0
201	3,0	3494,4	3,0	501	3,5	4411,5	2,0
202	3,5	3973,4	2,5	502	3,5	3488,1	2,5
203	3,0	3093,1	2,5	503	3,0	3717,1	2,5
204	3,5	5083,8	2,5	504	3,5	3263,4	3,0
205	4,0	3382,0	2,5	505	3,5	3690,5	1,5
206	3,0	2993,7	2,5	506	3,5	4235,7	2,5
207	4,5	3019,3	2,0	507	3,5	3148,5	3,0
208	3,5	3747,5	2,5	508	4,0	1818,7	3,0
209	4,0	2732,7	2,0	509	4,0	3223,8	2,5
210	2,5	2155,8	2,5	510	3,5	2820,5	2,5
211	3,5	3355,3	2,5	511	3,5	3437,8	2,5
212	3,5	3084,5	2,5	512	4,0	2666,0	2,5
213	4,0	3394,8	2,0	513	3,0	3772,2	2,0
214	3,5	3575,7	2,5	514	3,5	3413,6	3,0
215	4,5	3540,8	2,0	515	4,0	2513,5	2,0
216	3,5	3531,2	2,0	516	3,0	3275,3	2,0
217	4,5	3198,8	2,5	517	3,5	3344,9	2,5
218	3,5	3998,2	2,0	518	3,5	2002,0	2,5
219	3,5	3380,3	2,5	519	3,0	4130,7	2,5
220	3,0	2942,2	2,5	520	3,0	3171,8	3,0
221	3,0	3362,2	2,5	521	3,0	3013,9	3,0
222	3,5	3229,0	2,5	522	3,0	2187,3	3,0
223	4,0	3066,4	2,5	523	3,5	3004,2	2,5
224	4,0	4476,2	2,5	524	2,5	2512,6	3,0
225	3,5	3691,3	2,5	525	2,5	2437,7	2,5
226	3,5	4130,0	2,5	526	3,5	4464,7	2,0
227	3,5	3778,6	2,0	527	3,5	3908,6	2,5
228	3,5	2666,3	2,5	528	5,0	3658,3	2,0
229	3,5	2530,1	2,5	529	4,0	3820,3	3,0
230	4,0	3116,0	2,5	530	2,5	2966,0	3,0
231	3,5	3684,6	2,0	531	3,5	3429,5	2,5
232	3,5	2673,1	2,5	532	3,5	2266,8	2,5
233	3,5	3041,9	2,5	533	4,0	2171,3	2,0
234	3,5	3827,9	2,5	534	4,5	3632,1	2,5
235	4,0	4518,8	2,5	535	3,5	2952,1	2,5
236	3,5	3070,0	2,5	536	3,5	3146,9	2,0
237	2,5	2616,7	2,0	537	3,5	3280,3	1,5

238	4,0	3369,8	3,0	538	3,0	2346,5	3,0
239	3,5	3819,8	2,5	539	4,0	2895,7	2,5
240	4,5	3435,6	2,5	540	3,5	2385,4	3,0
241	3,5	1834,9	2,5	541	2,5	3692,5	2,0
242	3,5	3223,4	1,5	542	3,5	2923,9	1,5
243	3,0	3486,6	2,0	543	3,5	2098,6	2,5
244	3,5	3078,0	2,5	544	4,0	4382,5	2,5
245	3,5	3431,1	2,5	545	3,0	2053,3	3,0
246	2,5	2741,0	2,0	546	4,0	3180,2	3,5
247	3,5	2531,5	2,5	547	3,5	3057,1	2,5
248	3,5	2787,3	2,0	548	3,0	2994,3	3,0
249	4,0	2962,4	2,5	549	3,5	2466,6	2,5
250	3,0	2334,9	2,0	550	3,5	4077,3	2,5
251	3,0	3093,3	2,5	551	3,5	2522,9	2,0
252	2,5	4138,6	2,5	552	2,5	2300,6	2,5
253	3,5	3376,8	2,0	553	3,0	4325,5	2,5
254	3,5	4291,7	2,5	554	2,5	3379,6	2,5
255	2,5	4036,1	2,5	555	2,5	3801,4	2,5
256	3,0	3431,0	2,5	556	3,5	2538,7	2,5
257	2,5	3096,0	2,0	557	3,5	3520,5	2,5
258	3,5	3347,5	2,0	558	3,0	3255,7	3,0
259	3,5	2908,8	2,5	559	3,5	3340,0	2,0
260	3,0	3879,3	2,5	560	3,0	2103,2	2,5
261	3,0	3112,8	2,5	561	3,5	2307,7	2,5
262	3,5	3450,5	2,0	562	3,5	1581,5	2,5
263	3,5	3207,5	2,5	563	4,0	3485,0	2,0
264	3,0	3643,1	2,0	564	2,0	2147,3	3,0
265	4,0	2496,3	2,5	565	2,5	2874,0	2,5
266	3,0	3094,7	2,5	566	2,0	4189,3	2,5
267	3,0	2692,1	2,5	567	3,0	3753,4	2,0
268	2,5	2887,0	2,5	568	2,0	2738,3	3,0
269	3,0	3980,2	2,5	569	3,5	2722,4	2,5
270	3,5	3371,2	2,0	570	3,5	3374,5	2,5
271	2,5	3135,8	2,5	571	3,5	1623,3	2,0
272	4,0	3964,4	2,0	572	3,5	3389,1	1,5
273	3,5	3058,5	2,0	573	3,0	3876,3	2,0
274	3,0	3175,8	2,0	574	3,5	3176,1	3,0
275	4,0	3009,0	2,5	575	2,0	2919,5	3,0
276	4,0	3932,5	2,5	576	3,0	2942,4	2,5
277	3,5	3640,8	2,0	577	3,5	2915,8	2,5
278	4,5	2416,5	2,0	578	2,5	3739,2	2,5
279	3,5	3239,2	2,5	579	3,5	3653,0	2,5
280	4,0	2853,9	2,5	580	2,0	2096,8	2,5
281	3,5	3770,4	2,5	581	3,5	3096,2	3,0
282	4,0	2413,9	2,0	582	3,5	3629,3	2,0
283	4,0	3606,0	2,5	583	1,75	2372,0	2,5
284	3,5	3274,3	2,5	584	2,5	2955,8	2,5

285	3,5	3326,1	2,0	585	2,5	2493,7	3,0
286	3,5	3484,3	2,5	586	3,0	2760,1	2,0
287	3,5	2995,5	2,5	587	3,5	2834,5	2,5
288	3,5	3834,9	2,5	588	3,5	4492,1	2,0
289	4,0	3243,6	2,0	589	3,5	2517,5	2,5
290	3,0	3623,8	2,5	590	3,0	4139,0	2,0
291	4,0	2294,2	2,5	591	3,0	2489,9	2,5
292	3,5	2973,9	2,0	592	3,0	2611,1	3,0
293	3,5	2173,7	2,0	593	3,0	2530,7	2,0
294	2,0	3308,0	2,5	594	2,5	3224,1	2,5
295	3,5	2570,4	2,5	595	3,0	4440,2	1,5
296	4,0	1765,2	2,5	596	3,0	3096,7	3,0
297	4,0	4359,8	2,0	597	3,0	3125,9	3,0
298	3,5	3935,1	2,5	598	4,0	3586,7	3,0
299	2,5	3538,7	2,0	599	2,5	3379,5	2,5
300	4,0	3275,3	2,5	600	3,0	2220,6	3,0
Ouro Vermelho	4,0	2911,7	1,9				
OVR	3,8	2740,4	2,2				
Vermelhinho	3,4	2571,9	2,2				
CIAT 22	1,7	2795,7	2,1				