



SAMANTA GABRIELA MEDEIROS CARVALHO

**MISTURAS DE LINHAGENS DE FEIJÃO CARIOCA COMO
ESTRATÉGIA NA OBTENÇÃO DE RESISTÊNCIA DURÁVEL
A DIFERENTES RAÇAS DE *Colletotrichum lindemuthianum***

LAVRAS – MG

2018

SAMANTA GABRIELA MEDEIROS CARVALHO

**MISTURAS DE FEIJÃO CARIOCA COMO ESTRATÉGIA NA OBTENÇÃO DE
RESISTÊNCIA DURÁVEL A DIFERENTES RAÇAS DE *Colletotrichum*
*lindemuthianum***

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

Profa. Dra. Elaine Aparecida de Souza
Orientadora

LAVRAS - MG

2018

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

Carvalho, Samanta Gabriela Medeiros.

Misturas de linhagens de feijão carioca como estratégia na
obtenção de resistência durável a diferentes raças de *Colletotrichum*
lindemuthianum / Samanta Gabriela Medeiros Carvalho. - 2018.

54 p. : il.

Orientador(a): Elaine Aparecida de Souza.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. *Phaseolus vulgaris*. 2. Multilinhas. 3. Antracnose. 4.
Colletotrichum lindemuthianum. I. Souza, Elaine Aparecida de. . II.
Título.

**MISTURAS DE FEIJÃO CARIOCA COMO ESTRATÉGIA NA OBTENÇÃO
DE RESISTÊNCIA DURÁVEL A DIFERENTES RAÇAS DE *Colletotrichum
lindemuthianum***

**CARIOCA BEAN MIXTURES AS STRATEGY IN OBTAIN DURABLE
RESISTANCE TO DIFFERENT RACES OF *Colletotrichum lindemuthianum***

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

APROVADA em 20 de Fevereiro de 2018.

Dra. Flávia Barbosa Silva Botelho

UFLA

Prof. Dr. Magno Antônio Patto Ramalho

UFLA

Dr. Thiago Lívio Pessoa Oliveira de Souza

Embrapa Arroz e Feijão



Prof. Dra. Elaine Aparecida de Souza
Orientadora

LAVRAS - MG

2018

*À minha mãe Vanete por ser meu maior exemplo de perseverança e incentivo ao estudo,
estando comigo sempre, mesmo que hoje pelo plano espiritual.*

*Ao meu irmão, Guilherme, por ter sido meu companheiro inseparável durante memoráveis 15
anos, sendo meu exemplo na busca por grandes desafios.*

*Ao meu pai Ronaldo por seu amor, carinho e apoio incondicionais, por ser meu porto seguro
sempre, e a pessoa mais importante da minha vida.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me dar uma segunda chance de viver e realizar meus sonhos, pela força diária para vencer meus desafios, e por seu infinito amor e compaixão.

Ao meu pai Ronaldo, por me apoiar durante todos esses anos de reconstrução, desafios e muito estudo. Por seu amor incondicional, sentido por mim em cada sacrifício em prol do meu bem estar, mas principalmente, em cada olhar de carinho quando chego em casa. Te amo pai!

À minha mãe, Vanete (*in memorian*), por todos os ensinamentos, nos melhores anos da minha vida. Sem dúvida, meu maior exemplo de garra, persistência e amor, e que hoje é o meu reencontro mais desejado no plano espiritual. Te amo mãe!

Ao meu irmão, Guilherme (*in memorian*), pelos 15 anos em que fomos inseparáveis para todas as aventuras de infância, minhas melhores lembranças. Te amo irmão!

A toda minha família, pela preocupação e carinho, em especial às avós Neuza e Terezinha pelo “amor de vó” insubstituível.

Às tias Rosilene, Ildete e Roseli pelo amor de mãe estendido a mim desde sempre, mas que durante o mestrado mostraram o quanto sou importante e que nunca estive sozinha.

Ao tio Denílson, por ser o melhor tio que eu poderia ter, pelo imenso amor, carinho e consideração, e por ser meu grande companheiro de pescaria nos momentos de descanso mais preciosos que tive.

Aos primos-irmãos Mateus, Michele, Victor, Julia, Sofia e Isabela, por todos os momentos de diversão e carinho, e por me dizerem sempre que sou um orgulho para vocês. Isso impulsiona minha caminhada.

Aos amigos da vida, Marina (Nina), Jeiza, Patrícia, Bárbara Negri, Carlos A. Torres, Marina Enes, Laiane e Paula, pelos memoráveis anos de companheirismo e carinho, e por serem grandes inspirações.

Aos amigos de UFLA e agora pra vida, Thaís, Élcio, Yasmim, João Nomura (Samuray), Mariana (Fofinha), Larissa (mãe), Brena, Maiara, Antônio, Mariana Lima e Júlio Miguel, pelo privilégio de conviver e aprender com vocês, e pelas minhas melhores lembranças de Lavras.

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Genética e Melhoramento de Plantas, pela oportunidade de realizar um dos meus maiores sonhos.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos.

À professora e orientadora Dra. Elaine, pelos ensinamentos, confiança e oportunidade, contribuindo valiosamente para o meu crescimento e amadurecimento profissional e pessoal.

Aos colegas do Laboratório de Resistência à Doença e do Grupo do Feijão, por toda contribuição para execução dos meus experimentos, em especial, à Larissa e à Mariana por serem as melhores avaliadoras e companheiras que eu poderia ter, e por todos os ensinamentos; à Ana, Nathália e ao Getúlio, pela boa vontade de me levarem à Vitorinha sempre que precisei; ao Rafael Pereira e Rafael Nalin pela paciência e imensuráveis colaborações nas análises experimentais.

Aos laboratoristas Miller e Lamartine, e ao funcionário de campo Léo, pelo grande auxílio, dedicação e disponibilidade durante a condução dos experimentos.

À Dra. Ângela e ao professor Magno, pelo privilégio de aprender o melhoramento de plantas em campo, pelos valiosos ensinamentos e paciência, e por serem grandes inspirações de profissionais, professores e de seres humanos.

A todos os professores do Programa de Genética e Melhoramento de Plantas, pela honra da convivência e por todo conhecimento a mim transmitido, em especial ao professor José Airton pela disponibilidade para auxiliar em algumas análises de dados.

A todos os funcionários do Departamento de Biologia (DBI) pela boa convivência durante o mestrado.

À Dra. Isabel R. P. de Souza, por ter acreditado mais mim que eu própria em 2015, confiando no meu potencial e me auxiliando de maneira determinante para que eu não desistisse do meu sonho e fosse selecionada para o mestrado.

À professora Tatiana Carneiro, por todo carinho, apoio, amizade e valiosos ensinamentos durante todos esses anos que tive o prazer de ser sua aluna e hoje amiga, e por ser minha maior inspiração de profissional e determinação.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, o meu MUITO OBRIGADA!

RESUMO

O uso de multilinhas é uma das estratégias mais promissoras na busca pela resistência durável à antracnose do feijoeiro, causada pelo fungo *Colletotrichum lindemuthianum*. O objetivo deste estudo foi obter informações a respeito do comportamento das multilinhas em condições de campo a uma mistura de raças de *C.lindemuthianum*, nas diferentes safras de cultivo do feijoeiro. Para isto, foram conduzidos experimentos no delineamento de blocos completos casualizados, com seis repetições, nas safras das águas 2016-2017, seca 2017 e inverno 2017. Nove tratamentos foram avaliados, sendo duas linhagens suscetíveis às quatro raças do patógeno utilizadas (CI-107 e Pérola), quatro linhagens que apresentam alelos de diferentes genes de resistência (MAII-22, MAV-336, CIX-126 e CVIII-39.24), uma multilinha composta pelas linhagens MAII-22 e CIX-126, uma multilinha composta pelas linhagens MAV-336 e CVIII-39.24, e uma multilinha formada pelas quatro linhagens com alelos de resistência. Isolados das raças 65, 73, 81 e 89 de *C. lindemuthianum* foram utilizados para a obtenção de uma mistura equitativa da suspensão de conídios de cada raça, padronizada na concentração de $1,2 \times 10^5$ conídios mL⁻¹ para inoculação artificial. As plantas foram inoculadas quando apresentaram o primeiro trifólio. Avaliou-se a severidade da antracnose seguindo a escala de notas descrita por Van Schoonhoven e Pastor-Corrales (1987), a partir do 12º dia posterior à inoculação, e com intervalos de 10 dias até a colheita. A área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) foi estimada. Foram obtidos os dados de produtividade de grãos (Kg/ha), e as correlações entre as notas de severidade e a produtividade. Foi realizada uma análise de estabilidade e adaptabilidade para as notas médias de severidade da antracnose na última avaliação em cada safra, usando o método gráfico proposto por Nunes et al. (2005). Nas safras das águas e da seca, onde a incidência da antracnose foi maior, constatou-se que as correlações foram significativas e negativas, indicando que, quanto maior a nota média de severidade menor a produtividade média de grãos. No geral, as linhagens CI-107 e Pérola comprovaram a sua suscetibilidade, e a Multilinha 2, composta pelas linhagens MAV-336 e CVIII-39.24, apresentou comportamento semelhante à linhagem mais estável MAV-336, quanto o progresso da doença e produtividade média. Os resultados obtidos indicam que a utilização de multilinhas é uma estratégia eficiente para reduzir a severidade da antracnose no feijoeiro e contribuir para a estabilidade da cultura.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*. Multilinha. Antracnose. *Colletotrichum lindemuthianum*.

ABSTRACT

Use of multilines is one of the most promising strategies in search for durable resistance to anthracnose of common bean, caused by the fungus *Colletotrichum lindemuthianum*. The objective of this study was to obtain information about the behavior of the multiliniers in field conditions to a mixture of *C. lindemuthianum* races, in different seasons of common bean crop. For this, experiments were conducted in design of complete blocks randomized, with six replicates, in wet 2016-2017, dry 2017 and winter 2017 seasons. Nine treatments were evaluated, being two common bean lines susceptible to four races of pathogen used (CI-107 and Pérola), four lines that presents alleles of different resistance genes (MAII-22, MAV-336, CIX-126 and CVIII-39.24), a multiline composed of the MAII-22 and CIX-126 lines, a multiline composed of MAV-336 and CVIII-39.24 lines, and a multiline composed of four lines. Isolates of races 65, 73, 81 and 89 of *C. lindemuthianum* were used for obtaining an equitable mixture of conidia suspension of each race, standardized in concentration of $1,2 \times 10^5$ conidia mL⁻¹ for artificial inoculation. Plants were inoculated when presented the first trifoliolate leaf. Severity of anthracnose was assessed following the score scale of Van Schoonhoven and Pastor-Race (1987), from the 12th day after the inoculation, and with intervals of 10 days until the harvest. The area under the disease progress curve (AUDPC) was estimated. Grain yield data (Kg/ha), and the correlations between severity scores and yield were obtained. Analysis of stability and adaptability was carried out to average scores of anthracnose severity in last evaluation in each season, using the graphic method proposed by Nunes et al. (2005). In the wet and dry seasons, when the incidence of anthracnose was higher, it was found that correlations were significant and negative, indicating that the higher mean average severity note, lower the mean grain yield. In general, the CI-107 and Pérola lineages proved their susceptibility, and multiline 2, composed by the lineages MAV-336 e CVIII-39.24, presented similar behavior to the more stable lineage MAV-336, as well as the progress of disease and average productivity. The results obtained indicate that the use of multilines is an efficient strategy to reduce the severity of anthracnose in the bean and contribute to the stability of the culture.

Keywords: *Phaseolus vulgaris*. Multilines. Anthracnose. *Colletotrichum lindemuthianum*.

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Características das linhagens de feijoeiro avaliadas..... | 24 |
| Tabela 2 – Notas médias de severidade da antracnose nas safras das águas 2016, da seca 2016-2017 e de inverno 2017..... | 30 |
| Tabela 3 – Estimativas dos coeficientes de regressão linear (b_1) entre as notas médias de severidade de <i>C. lindemuthianum</i> em cada época de avaliação com as variáveis climáticas, nas linhagens e multilinhas, nas safras das águas, da seca e de inverno. | 31 |
| Tabela 4 – Resumo da análise conjunta para as notas médias de severidade de antracnose na primeira avaliação e na última avaliação, para a área abaixo da curva de progresso da doença e para a produtividade. | 33 |
| Tabela 5 – Notas médias de severidade da antracnose na primeira avaliação e na última avaliação, nas safras das águas 2016, da seca 2016-2017 e de inverno 2017. | 33 |
| Tabela 6 – Valores médios da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e da produtividade, nas safras das águas 2016, da seca 2016-2017 e de inverno 2017. | 34 |
| Tabela 7 – Resumo da análise de variância conjunta para produtividade (Kg/ha) considerando os experimentos com inoculação e sem inoculação, nas safras das águas 2016 e da seca 2016-2017..... | 35 |
| Tabela 8 – Médias de produtividade, nos experimentos com e sem inoculação, nas safras das águas 2016 e da seca 2016-2017..... | 36 |
| Tabela 9 – Coeficientes de correlação de Pearson entre as notas médias de severidade da antracnose nas linhagens e nas multilinhas, em cada época de avaliação, e a produtividade média de grãos (Kg/ha), e entre as AACPDs médias das linhagens e multilinhas e a produtividade média de grãos (Kg/ha), nas safras das águas 2016, da seca 2016-2017 e de inverno 2017, para os experimentos com inoculação..... | 37 |
| Tabela 10 – Estimativas das médias de severidade da antracnose (M), da adaptabilidade (Z_i), e dos coeficientes de variação (CV_{Z_i}) dos tratamentos, na primeira e na última avaliação de severidade de antracnose. | 39 |

APÊNDICE A - TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Variáveis climáticas registradas durante o ciclo da cultura do feijoeiro, em intervalos de 10 dias, nas safras das águas 2016, da seca 2016-2017 e de inverno 2017..... | 52 |
| Tabela 2 – Resumo da análise de variância para as notas de severidade de antracnose, considerando todas as épocas de avaliação, nas safras das águas 2016, da seca 2016-2017, e de inverno 2017. | 53 |
| Tabela 3 – Resumo das análises de variância individuais para as notas de severidade de antracnose na primeira avaliação e na última avaliação, para a área abaixo da curva de progresso da doença e para a produtividade, nas safras das águas 2016, da seca 2016-2017, e de inverno 2017. | 54 |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 14 |
| 2.1 | A cultura do feijoeiro | 14 |
| 2.2 | Antracnose do feijoeiro comum..... | 15 |
| 2.3 | Controle genético da antracnose e variabilidade de <i>C. lindemuthianum</i> | 17 |
| 2.4 | Emprego de multilinhas | 19 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 23 |
| 3.1 | Local..... | 23 |
| 3.2 | Manutenção dos isolados e preparação para inoculação | 23 |
| 3.3 | Avaliação da reação das multilinhas e linhagens quanto à resistência a antracnose | 23 |
| 3.4 | Análise dos dados..... | 25 |
| 4 | RESULTADOS..... | 29 |
| 5 | DISCUSSÃO | 40 |
| 6 | CONCLUSÃO | 46 |
| 7 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 47 |
| 8 | APÊNDICE A - TABELAS | 52 |

1 INTRODUÇÃO

Os problemas que acometem a cultura do feijoeiro e afetam sua produtividade envolvem diversos fatores bióticos e abióticos, sendo as doenças responsáveis por perdas significativas na produção de grãos (CONAB, 2017; CARNEIRO; BORÉM, 2015). A antracnose, causada pelo fungo *Colletotrichum lindemuthianum*, é uma das doenças de maior destaque na cultura do feijoeiro. Esta doença afeta de forma severa as cultivares que são suscetíveis às diferentes raças do patógeno, com danos que podem chegar a 100% da produção quando as condições ambientais são favoráveis (COSTA et al., 2017; COSTA et al., 2015; LECLAIR et al., 2015; RIBEIRO et al., 2016). Dessa forma, esforços devem ser direcionados nos programas de melhoramento na busca de estratégias que possibilitem a obtenção de cultivares com resistência duradoura à antracnose do feijoeiro.

O controle da doença por meio da resistência genética tem sido dificultado pela grande variabilidade genética do patógeno, que apresenta várias raças (ISHIKAWA; SOUZA; DAVIDE, 2008; PÁDUA; RAMALHO; ABREU, 2015). Além disso, alguns estudos relatam a variabilidade dentro de raças (COSTA et al., 2017; DAVIDE; SOUZA, 2009; ISHIKAWA; RAMALHO; SOUZA, 2011; ISHIKAWA; SOUZA; DAVIDE, 2008). Nos últimos levantamentos de raças de *C. lindemuthianum*, as mais frequentes têm sido as raças 65, 73, 81 e 89 (COSTA et al., 2017; PAULA JÚNIOR et al., 2015; SILVA; SOUZA; ISHIKAWA, 2007). Além disso, a resistência à antracnose é controlada por vários genes de efeito maior, específicos às diferentes raças do patógeno (COSTA et al. 2017).

Várias estratégias têm sido propostas visando a aumentar a durabilidade da resistência genética a doenças, tais como o uso de um gene por vez, rotação de genes, piramidação de genes, implantação regional, e a utilização de misturas (de cultivares e de linhagens). A piramidação tem sido considerada a mais eficiente, no entanto, apresenta algumas desvantagens, como a ausência de dinamismo do processo e a possibilidade de quebra da resistência a curto prazo que são superadas quando utiliza-se a multilinha (CONSORTIUM, 2016; MUNDT, 2014).

A utilização de multilinhas para o controle da antracnose mostra-se como uma alternativa interessante, pois dentre as diversas linhagens existentes que apresentam diferentes alelos de resistência ao *C. lindemuthianum* é possível escolher combinações que sejam eficientes na redução da doença e que possibilitem maior estabilidade da cultura para a produtividade, aumento da durabilidade da resistência, e ampla gama de raças do patógeno

sujeitas ao controle da infecção (BURDON et al., 2014; FINCKH; MUNDT, 1992; MUNDT, 2002; BOTELHO et al., 2011). Além do mais, a disponibilidade de inúmeras linhagens de feijão tipo carioca, nos diversos programas de melhoramento com diferentes genes de resistência diferentes aos principais patógenos e a facilidade de obter linhagens agronomicamente semelhantes por retrocruzamentos, justificam a possibilidade do emprego das multilinhas como estratégias de controle a doenças (BOTELHO et al., 2011).

Entre as vantagens do uso das multilinhas, destaca-se a estabilidade em relação a uma única linhagem com vários genes de resistência. De acordo com Mundt (2002), isto ocorre devido à correspondência apropriada entre os alelos de resistência presentes na mistura de linhagens e os genes de avirulência do patógeno. Além disso, é um processo dinâmico, pois possibilita a alteração das linhagens ao longo do tempo de acordo com o interesse do melhorista e dos agricultores, podendo retardar a seleção de uma raça ou o surgimento de uma super-raça do patógeno, o que confere um “valor de proteção” (WOLFE, 1985).

A viabilidade do emprego dessa estratégia visando à resistência à antracnose do feijoeiro foi avaliada por Botelho et al. (2011), que constaram que a multilinha reduziu o progresso da doença e conseqüentemente, elevou a produtividade de grãos. Neste trabalho as avaliações foram realizadas na "safra da seca", semeadura em fevereiro. No entanto, não há informações sobre o comportamento das multilinhas em safras diferentes. Portanto, o objetivo desse trabalho foi obter informações a respeito do comportamento das multilinhas em condições de campo a uma mistura de raças de *C.lindemuthianum*, nas diferentes safras de cultivo do feijoeiro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura do feijoeiro

O feijão (gênero *Phaseolus* L.) encontra-se entre os alimentos mais antigos cultivados pelo homem e apresenta grande destaque no cenário agropecuário mundial devido ao seu consumo diário por algumas nações, qualidades nutricionais, importância econômica e cultural. Essa leguminosa é componente fundamental na base alimentar da população em diversos países, principalmente os mais carentes, pois apresenta grandes quantidades de proteínas, vitaminas do complexo B, carboidratos e sais minerais. O feijoeiro é cultivado pelas mais diversas categorias de produtores, desde os pequenos agricultores às grandes empresas produtoras de grãos (BARBOSA et al., 2010; BARBOSA; GONZAGA, 2012; CARNEIRO; BORÉM, 2015; USDA, 2016).

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é a espécie mais cultivada dentro do gênero *Phaseolus* L., sobretudo, nos países em desenvolvimento responsáveis pela maior parte da produção e do consumo desse grão (BARBOSA; GONZAGA, 2012). No Brasil, maior produtor mundial dessa leguminosa, o cultivo do feijão ocorre em todas as regiões e em três safras distintas, sendo que a estimativa de produção de grãos de feijão total na safra 2017/2018 gira em torno de 3,3 milhões de toneladas em uma área de cultivo de 3.142,3 milhões de hectares. As regiões brasileiras que apresentam as maiores produções são a Região Sul (957,1 milhões de toneladas), Região centro-oeste (833,9 milhões de toneladas) e a Região Sudeste (767,8 milhões de toneladas), com destaque para os estados do Paraná e Minas Gerais, responsáveis por 21,9% e 16,7% da produção nacional (CONAB, 2017).

As oscilações na produtividade do feijoeiro devem-se a diversos fatores, tais como, as condições abióticas que acabam afetando o preço do grão e conseqüentemente uma menor aquisição de insumos e sementes de boa qualidade pelo produtor para o plantio da próxima safra; as tecnologias de manejo adequadas; e, principalmente, os estresses bióticos, com a ocorrência de pragas e doenças que reduzem drasticamente o desenvolvimento da planta e a produção de grãos (CONAB, 2017; BOTELHO et al., 2011). As doenças fúngicas são as de maior proeminência nas regiões de cultivo do feijoeiro, podendo ocasionar perdas expressivas na produção de grãos, em condições favoráveis ao desenvolvimento dos patógenos (BARBOSA; GONZAGA, 2012; PAULA JÚNIOR et al., 2015; LECLAIR et al., 2015).

Como alternativas para o controle de problemas fitossanitários e incrementos na produção do feijão, as inovações tecnológicas nas áreas de estratégias de manejo e de

melhoramento dessa leguminosa são os pilares para um sistema de cultivo mais integrado e seguro, que proporcione também estímulos ao pequeno produtor, além de reduzir o uso de defensivos e melhorar a qualidade do produto final (BARBOSA et al., 2010; COSTA et al., 2017; PAULA JÚNIOR et al., 2015).

2.2 Antracnose do feijoeiro comum

A posição de destaque que a antracnose ocupa como uma das principais doenças que acometem a cultura do feijoeiro comum nas principais regiões de cultivo se deve aos possíveis danos econômicos causados por sua ocorrência, podendo chegar a perdas de até 100% na produção de grãos quando condições favoráveis ao desenvolvimento do patógeno são encontradas (COSTA et al., 2015; MARKELL; WUNSCH; RIO, 2012). Além disso, a depreciação dos grãos obtidos em casos onde as perdas não são tão severas acaba por trazer problemas significativos na comercialização do produto, pois este apresenta aspecto desagradável e torna-se indesejável para o consumidor (COSTA et al., 2015).

As doenças de origem fúngica podem ser disseminadas a longas distâncias por sementes infectadas e por correntes aéreas a longas distâncias, assim como por insetos, chuva e restos de culturas na área de plantio, e pelo homem, a curtas distâncias (COSTA et al., 2017; PAULA JÚNIOR et al., 2015). No caso da antracnose, a propagação do seu agente etiológico, o fungo *Colletotrichum lindemuthianum*, ocorre principalmente por sementes infectadas, porém, as demais formas de dispersão a curtas distâncias mostram-se efetivas, já que esse patógeno é capaz de sobreviver em restos culturais por até dois anos e em sementes infectadas por até cinco anos (MARKELL; WUNSCH; RIO, 2012).

O *C. lindemuthianum* corresponde ao fungo na fase assexual ou anamórfica, onde produz conídios unicelulares, que quando germinados, formam micélio septado e ramificado de coloração hialina, mas que se torna escura posteriormente. O fungo apresenta ainda a fase sexual ou telomórfica, onde é denominado *Glomerella cingulata* f. sp. *phaseoli*, caracterizado por produzir peritécio e ascos, que originam os ascósporos (esporos). No entanto, não é relatada na literatura a ocorrência de *G. cingulata* em condições de campo. (KIMATI; GALLI, 1970; BOTELHO et al., 2011; COSTA et al., 2017).

As condições favoráveis ao desenvolvimento de *C. lindemuthianum* estão fortemente associadas a regiões com alta umidade relativa do ar, acima de 91% UR, e temperaturas moderadas, entre 13-27°C (COSTA et al., 2017; PAULA JÚNIOR et al., 2015). A antracnose é endêmica na África, Ásia e Austrália, e registrada em diversos países da América Latina e

da Europa (MAHUKU; RIASCOS, 2004; NKALUBO et al., 2009). No Brasil, os estados do Paraná, Santa Catarina, Minas Gerais (Sul de Minas e Zona da Mata) e São Paulo são os com registros mais significativos da ocorrência da doença (COSTA et al., 2017; PÁDUA; RAMALHO; ABREU, 2015).

O ciclo da doença inicia-se entre seis e nove horas após o contato dos conídios do fungo com a planta – tempo aproximado para germinação em condições favoráveis – e novas esporulações podem ser observadas dentro de 7 a 14 dias seguintes à infecção (BUSH, 2014; COSTA et al., 2017; MARKELL; WUNSCH; RIO, 2012). A manifestação dos sintomas pode ocorrer em todas as partes da planta, de forma que, quanto mais precoce a infecção pelo patógeno, maior a possibilidade de danos mais severos (MARKELL; WUNSCH; RIO, 2012).

Segundo Bush (2014) e Markell, Wunsch e Rio (2012), as lesões das folhas notadas na superfície abaxial e que evoluem para a parte superior com o agravamento da doença, são de tamanhos variados, com coloração vermelho-alaranjada à púrpura, tornando-se marrom-escuro com o tempo e acompanhando as nervuras. Nas hastes e pecíolos, lesões elípticas e escuras são observadas, podendo aprofundar-se nos tecidos com o aumento da severidade dos sintomas. Já nas vagens, os sinais da antracnose são os mais facilmente identificados, sendo lesões circulares de cor marrom-claras que progridem para marrom-escuros com bordas negras, deprimidas, e que podem apresentar no centro da lesão uma massa de esporos de cor salmão. O fungo é transmitido para as sementes a partir das vagens afetadas, onde são observadas lesões tipo cancro, deprimidos, de cor marrom-escuro a pretos e tegumento dos cotilédones descolorido.

O manejo e o controle da antracnose envolvem inúmeras práticas culturais para evitar a propagação do fungo e reduzir a ocorrência da doença (COSTA et al., 2017; PÁDUA; RAMALHO; ABREU, 2015; BOTELHO et al., 2011). Como a principal forma de disseminação é por meio de sementes contaminadas, a utilização de sementes certificadas livres do patógeno e o controle químico por fungicidas são estratégias comuns (MARKELL; WUNSCH; RIO, 2012). No entanto, o tratamento químico das sementes não representa uma metodologia totalmente eficaz, já que esse fungo abriga-se sob a casca do grão (MARKELL; WUNSCH; RIO, 2012). Uma alternativa é o uso de tratamento térmico, como descrito por Bush (2014), em que, com água quente, as sementes são embebidas em duas condições diferentes – entre 18 e 22°C por 15 horas e em seguida 47°C por 25 minutos. Sabe-se ainda que, na maioria dos casos, a adoção dessas duas práticas não ocorre com grande frequência pelos agricultores, pois estes normalmente aproveitam sementes de safras anteriores em novos

plantios e não utilizam o controle químico devido aos elevados custos (PÁDUA; RAMALHO; ABREU, 2015).

Outras metodologias para o controle da antracnose incluem os cuidados no manejo de equipamentos, visando evitar a propagação de campo para campo – onde a lavagem adequada dos mesmos e a remoção de detritos provavelmente contaminados evitam que esporos do fungo se espalhem para outras áreas de plantio –, e à redução de resíduos de safras anteriores em casos de plantio direto – já que o patógeno consegue sobreviver cerca de um ano em restos culturais na superfície, mas cerca de dois anos em detritos enterrados no solo (PAULA JÚNIOR et al., 2015; MARKELL; WUNSCH; RIO, 2012). A rotação de culturas utilizando-se espécies não hospedeiras, como o milho, também vêm sendo utilizada por possibilitar a redução da população do patógeno no campo (COSTA et al., 2017; PAULA JÚNIOR et al., 2015; PÁDUA; RAMALHO; ABREU, 2015).

Contudo, o procedimento mais econômico e prático é o emprego de cultivares resistentes ao patógeno, que mesmo dificultado pela diversidade genética do fungo, reduz os danos ao ambiente e os custos ao agricultor (COSTA et al., 2017; PÁDUA; RAMALHO; ABREU, 2015).

2.3 Controle genético da antracnose e variabilidade de *Colletotrichum lindemuthianum*

A ampla variabilidade genética do fungo *C. lindemuthianum* é o maior desafio para a obtenção de cultivares com resistência durável à doença, visto que o patógeno consegue frequentemente suplantar a resistência do hospedeiro. Essa variabilidade genética é proporcionada por diversos mecanismos de recombinação que permitem a ampliação da diversidade, dentre eles ciclo sexual e parasexual, transposons e tubos de anastomose de conidiais (Conidial Anastomosis Tubes – CATs) (ISHIKAWA; SOUZA; DAVIDE, 2008; MOTA et al., 2016).

São relatadas mundialmente mais de 100 raças de *C. lindemuthianum* e cerca de 50 já foram registradas no Brasil (RIBEIRO et al., 2016; ZUIDERVEEN et al., 2016), sendo as raças 65, 73, 77, 81 e 89 as mais frequentes em Minas Gerais (COSTA et al., 2017; PAULA JÚNIOR et al., 2015; SILVA; SOUZA; ISHIKAWA, 2007). Além disso, têm-se verificado que também ocorre variabilidade dentro das raças, o que dificulta ainda mais a obtenção de cultivares de *Phaseolus vulgaris* com resistência duradoura ao patógeno (COSTA et al., 2017; PÁDUA; RAMALHO; ABREU, 2015).

O melhoramento do feijoeiro visando resistência à antracnose tem revelado a existência de vários genes com alelos dominantes envolvidos no controle, sendo a maioria de herança qualitativa e interação raça específica (CAMPÁ et al., 2014; PÁDUA; RAMALHO; ABREU, 2015). Conforme Campa et al. (2014) e Zuiderveen et al. (2016), mais de 20 alelos de resistência provenientes de genes diferentes já foram identificados, a saber: *Co-1*, *Co-2*, *Co-3*, *Co-4*, *Co-5*, *Co-6*, *Co-7*, *Co-8*, *Co-9*, *Co-10*, *Co-11*, *Co-12*, *Co-13*, *Co-14*, *Co-15*, *Co-16*, *Co-17*, *Co-u*, *Co-v*, *Co-w*, *Co-x*, *Co-y*, *Co-z*. No caso do gene de resistência *Co-8* a resistência é conferida por alelo recessivo. Quatro genes são relatados com alelos múltiplos, sendo eles: *Co-1*, *Co-3*, *Co-4* e *Co-5*. Os genes *Co-7*, *Co-9* e *Co-10* por sua vez, foram renomeados como os alelos *Co-3⁵*, *Co-3³* e *Co-3⁴*, respectivamente, do gene *Co-3* (COSTA et al., 2017; PÁDUA; RAMALHO; ABREU, 2015). Além disso, locos quantitativos vêm sendo mapeados atualmente, revelando possíveis novas regiões (genes menores) e genes R (genes maiores) candidatos, auxiliando, portanto, no desenvolvimento de estratégias para piramidação de genes de resistência à antracnose (ZUIDERVEEN et al., 2016).

A resistência do tipo raça não específica, como a resistência de planta adulta e a resistência de genes menores, é importante no patossistema da antracnose, onde os genes envolvidos expressam resistência a todos os isolados do patógeno. A resistência de planta adulta envolve o controle genético com um ou poucos genes, como ocorre na resistência de genes maiores, no entanto, caracteriza-se como resistência parcial e não impede a esporulação do patógeno, agindo principalmente em retardar a taxa de progresso da doença. Dessa forma, quando utilizada juntamente com a resistência qualitativa, colabora com a redução da severidade da doença ao longo do ciclo de cultivo da cultura (BURDON et al., 2014).

Visto o exposto, alternativas que acelerem o melhoramento da cultivar de interesse, sendo por meio da obtenção de informações específicas sobre os genes envolvidos e também sobre o patógeno, ou sendo por meio de estratégias com maior estabilidade e eficácia na redução da disseminação da doença, são de grande interesse para os programas de melhoramento, pois auxiliam na busca por resistência durável contra a evolução de raças de patógenos que apresentam alta variabilidade (BOTELHO et al., 2011; BURDON, 1993; MUNDT, 2002).

2.4 Emprego de Multilinhas

Em patossistemas como o da antracnose, onde predomina a resistência vertical – ou monogênica (conferida por um ou poucos genes de efeito maior), ou ainda qualitativa – a estabilidade da cultura em campo quando se utilizam sementes remanescentes durante várias safras seguidas, possibilita que o patógeno supere a resistência do hospedeiro com maior facilidade, já que esse tipo de sistema favorece a seleção direcional (BURDON et al., 2014; CONSORTIUM, 2016). Esse fato e os frequentes relatos de “quebra” da resistência em diversas culturas com resistência predominantemente vertical quando em monocultivo levaram nos últimos anos a buscas por alternativas de cultivo e manejo que permitam a redução da intensidade de doenças e maior estabilidade, e dessa forma, a utilização de misturas de linhagens, com diferentes alelos de resistência ganhou maior ênfase (COSTA et al., 2012; MUNDT, 2002).

De acordo com Mundt (2014), algumas estratégias podem ser utilizadas visando aumentar a durabilidade da resistência genética de plantas a patógenos com alta capacidade adaptativa e evolutiva, tais como: i) uso de um gene por vez (um único gene de resistência é utilizado com durabilidade a longo tempo, em regiões onde a ocorrência da doença é baixa ou moderada); ii) rotação de genes (alternância de genes de resistência num mesmo local, à medida que raças virulentas aumentem de frequência e vençam a resistência do gene utilizado); iii) piramidação (introdução de vários genes de resistência em um mesmo indivíduo); iv) implantação regional (uso de diferentes genes de resistência em plantas diferentes e entre campos de cultivo próximos); v) misturas de cultivares ou multilinhas (uso de diferentes genes de resistência em plantas diferentes, mas em um mesmo campo de cultivo). Consortium (2016) comenta que essas estratégias podem ser classificadas, levando em conta a durabilidade da resistência a doenças, sendo a piramidação considerada a mais eficiente e seguida pelas misturas (misturas de cultivares ou multilinhas).

A construção de uma pirâmide consiste em utilizar diferentes genes de resistência a um patógeno em um único genótipo (BURDON, 1993). Contudo, algumas dificuldades são enfrentadas nesse sentido: i) obter vários alelos verticais eficientes no controle da doença nas principais regiões produtoras de feijão, o que demanda um levantamento das raças do patógeno, que pode ser prejudicado pela não disponibilidade de todas as raças diferenciadoras de alelos; ii) genes específicos terem sua expressão mascarada por interações epistáticas; iii) a ausência de dinamismo do processo, pois não garante que a resistência não seja quebrada novamente; iv) a interação genótipo x ambiente influenciar na expressão gênica; e v) a

possibilidade do gene de resistência estar associado com custos fisiológicos que afetam negativamente o desenvolvimento da planta (BURDON et al., 2014; CONSORTIUM, 2016; BOTELHO et al., 2011). Além do mais, a inserção de genes de resistência em novas cultivares é um trabalho oneroso (CONSORTIUM, 2016).

A mistura de plantas visando o controle de doenças consiste em utilizar multilinhas (misturas de linhagens com características fenotípicas e agronômicas semelhantes) ou misturas de cultivares (agronomicamente compatíveis e uniformes), e se assemelha, na realidade, à piramidação de genes de resistência, porém, em diferentes genótipos, e não em um único (WOLFE, 1985; MUNDT, 2002; MUNDT, 2014). A utilização de linhagens agronomicamente semelhantes nas multilinhas torna-se uma estratégia promissora devido à maior durabilidade da resistência e melhor estabilidade no rendimento da cultura quando esta é afetada por alguma doença e existe grande variabilidade patogênica, como é o caso do *C. lindemuthianum* (BOTELHO et al., 2011; MUNDT, 2002; WOLFE, 1993).

O princípio do uso de multilinhas consiste em selecionar e utilizar linhagens com características agronômicas uniformes, mas que possuam alelos de resistência de diferentes genes à doença de interesse, de forma que essa mistura de alelos possa reduzir a eficiência do patógeno na disseminação da infecção (BURDON, 1993; FINCKH; MUNDT, 1992; MUNDT, 2002). Wolfe (1985) destaca o dinamismo dessa estratégia, levando em consideração que é possível alterar a composição da mistura para retardar a seleção de uma raça ou o surgimento de uma super-raça do patógeno, e que, segundo o autor, determina ao uso de misturas um “valor de proteção”.

Trabalhos recentes têm relatado a eficiência do uso de misturas de cultivares e de multilinhas como estratégia de controle de doenças em várias culturas. Em maçã, Didelot, Brunt e Parisi (2007) verificaram redução na incidência e na severidade da sarna, causada pelo fungo *Venturia inaequalis*, quando avaliaram duas misturas diferentes de cultivares e cada cultivar plantadas em monocultivo. Raboin et al. (2012), investigando o uso de misturas com diferentes proporções de cultivares suscetíveis a 100 isolados de *Magnaporthe oryzae*, obtiveram resultados que comprovam eficiência das misturas na redução de brusone do arroz.

A utilização de misturas na cultura do sorgo vem sendo amplamente estudada para resistência à antracnose, permitindo inferir tanto sobre o comportamento das misturas, como sobre complexidade e competição entre as raças de *Colletotrichum graminicola*. Guimarães et al. (1998), avaliaram misturas de duas cultivares, em diferentes proporções, semeadas em duas épocas de plantio, e verificaram que o aumento da proporção das cultivares resistentes na

mistura reduziu a severidade da doença. Valério et al. (2004) avaliaram a variabilidade de *C. graminicola* em misturas triplas e linhas puras de sorgo, sob condições naturais de infecção em campo, e verificaram que houve redução na diversidade fenotípica do fungo em todas as misturas, além de um aumento na frequência de raças complexas, quando comparado com isolados obtidos das linhas puras. Esses resultados, no entanto, não afetaram a eficiência das misturas na redução da severidade da antracnose. Souza et al. (2013), testando misturas com diferentes proporções de híbridos suscetíveis, constataram redução na incidência de antracnose quando comparou-se misturas e linhas puras. Estes trabalhos demonstram a importância do dinamismo do uso de misturas no controle de doenças.

No feijoeiro, Botelho et al. (2011) avaliaram sete linhagens do tipo carioca e uma multilinha composta por estas linhagens na mesma proporção, como estratégia para redução da antracnose. Os experimentos foram conduzidos na safra da seca, em dois anos consecutivos. Os resultados dos autores evidenciaram que o comportamento da multilinha foi semelhante ao das linhagens mais resistentes e mais produtivas, constatando que a multilinha foi eficiente na redução do progresso da antracnose.

A eficiência e a estabilidade associada a esta estratégia estão relacionadas à proporção de plantas resistentes na sua composição, já que esses genótipos funcionam como barreiras físicas à disseminação do patógeno (como esporos), e consequente diluição do inóculo por serem produzidas quantidades menores nas plantas suscetíveis (BURDON et al., 2014; MUNDT, 2002). Vale mencionar que a correspondência apropriada entre os alelos de resistência presentes na mistura de linhagens e os genes de avirulência do patógeno é o que permite que a multilinha seja mais estável que apenas o uso de uma única cultivar (MUNDT, 2002).

De acordo com Steeling, Ebmeyer e Link (1994), avaliar a estabilidade de uma mistura está relacionado com a estrutura genética da população que a compõe, pois faz frente à heteroziguidade e heterogeneidade, que por sua vez, influenciam na magnitude da interação genótipo x ambiente, um complicador para o melhorista. Esses mesmos autores também relatam os efeitos da heteroziguidade e heterogeneidade, afirmam que altos graus de heteroziguidade e heterogeneidade são favoráveis à estabilidade populacional, sendo o efeito da heterogeneidade um fator de maior importância para a comparação entre misturas de linhas puras.

Atualmente, pouco se sabe a respeito do uso de multilinhas para resistência à antracnose no feijoeiro, visto que a condução desse tipo de estudo demanda estudos em vários

ambientes e anos consecutivos. Trabalhos neste sentido, sob as condições de cultivo que predominam no Brasil e sobre o comportamento da ocorrência de raças de *C. lindemuthianum* ao longo das safras, utilizando multilinhas também são escassos na literatura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

A condução do presente estudo ocorreu na área experimental da Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizada na Fazenda Muquém (Centro de Desenvolvimento Científico e tecnológico em Agropecuária) e no laboratório de Resistência de Plantas à Doenças do Departamento de Biologia (DBI) da Universidade Federal de Lavras, no município de Lavras, Minas Gerais, a 919m de altitude, a 21° 14' 43" S e 44° 59' 59" W.

3.2 Avaliação da reação das multilinhas e linhagens quanto à resistência a antracnose

Foram conduzidos cinco experimentos, sendo dois nas safras das águas e da seca, e um na safra de inverno. A primeira safra (Safra das Águas) teve semeadura em outubro de 2016, a segunda (Safra da Seca) em fevereiro de 2017 e a terceira (Safra de Inverno) em julho de 2017. O delineamento foi em blocos casualizados com nove tratamentos e seis repetições. Foram utilizadas seis linhagens de feijoeiro (TABELA 1), e três misturas, sendo que cada uma constituiu um tratamento. As linhagens CI-107 e Pérola foram utilizadas como testemunhas suscetíveis à todas as quatro raças de *C. lindemuthianum* inoculadas. As demais linhagens (MAII-22, CIX-12.6, MAV-3.36 e CVIII-39.24) diferiam quanto à reação de resistência para as raças utilizadas: MAII-22 apresenta resistência à raça 65, mas é suscetível às raças 73, 81 e 89; CIX-12.6 é resistente à raça 73 e suscetível à 65, 81 e 89; MAV-3.36 era resistente a raça 81, mas suscetível às raças 65, 73 e 89; e CVIII-39.24 apresentava resistência à raça 89 e era suscetível às demais 65, 73 e 81.

As multilinhas 1 e 2 foram compostas pela mistura de duas linhagens, isto é, linhagens MAII-22 + CIX-12.6 e MAV-3.36 + CVIII-39.24, respectivamente, e a multilinha 3 foi composta pelas linhagens, MAII-22, CIX-12.6, MAV-3.36 e CVIII-39.24. Apenas na safra das águas as multilinhas foram obtidas a partir da mistura equitativa das linhagens descritas anteriormente. Para as demais safras, a composição das multilinhas foi realizada retirando-se uma amostra da multilinha colhida na safra precedente. As parcelas foram constituídas por três linhas de 2m e espaçamento de 0,5m. A densidade de semeadura foi de 15 sementes por metro linear.

Tabela 1 – Características das linhagens de feijoeiro avaliadas.

| Linhagens | Origem | Hábito de crescimento | Reação à <i>C. lindemuthianum</i> |
|-------------|--------------|-----------------------|---|
| CI-107 | UFLA | III | Suscetível* |
| PÉROLA | UFLA | III | Suscetível* |
| MAII-22 | UFLA/EMBRAPA | III | Resistente à raça 65 ($2^6 + 2^0$) ¹ |
| CIX-12.6 | UFLA | III | Resistente à raça 73 ($2^6 + 2^3 + 2^0$) ¹ |
| MAV-336 | UFLA/EMBRAPA | III | Resistente à raça 81 ($2^6 + 2^4 + 2^0$) ¹ |
| CVIII-39.24 | UFLA | III | Resistente à raça 89 ($2^6 + 2^4 + 2^3 + 2^0$) ¹ |

Fonte: Do autor (2018)

*Suscetível a todas as raças inoculadas.

¹ Valores binários atribuídos à reação compatível nas cultivares diferenciadoras: Michelite (2^0), Cornet 49.242 (2^3), Widusa (2^4) e México 222 (2^6).

A inoculação com a mistura das quatro raças de *C. lindemuthianum* foi realizada quando as plantas apresentaram o primeiro trifólio completamente desenvolvido, e a avaliação da severidade da antracnose foi iniciada a partir do 12º dia posterior à inoculação. As demais avaliações foram realizadas com intervalos de 10 dias até a colheita, totalizando cinco avaliações nas safras das águas 2016-2017 e da seca 2017, e sete avaliações na safra de inverno 2017. Nas duas primeiras safras avaliadas, safra das águas e da seca, além do experimento com inoculação artificial, foi conduzido um mesmo experimento sem a realização da inoculação, ou seja, com a incidência natural do patógeno. Além disso, foram registrados dados climáticos durante todo o ciclo da cultura do feijoeiro (temperatura máxima, média e mínima, e precipitação), e avaliada a produtividade (Kg/ha) das parcelas ao final da colheita de cada safra.

Para a avaliação das reações de resistência seguiu-se a escala de notas descrita por Van Schoonhoven e Pastor-Corrales (1987), em que: 1 – ausência de sintomas; 2 – até 1% das nervuras apresentando manchas necróticas, perceptíveis somente na face inferior das folhas; 3 – maior frequência dos sintomas foliares descrita no grau anterior, até 3% das nervuras afetadas; 4 – até 1% das nervuras apresentando manchas necróticas, perceptíveis em ambas as faces das folhas; 5 – maior frequência dos sintomas foliares descrita no grau anterior, até 3% das nervuras afetadas; 6 – manchas necróticas nas nervuras, perceptíveis em ambas as faces das folhas e presença de algumas lesões em talos, ramos e pecíolos; 7 – manchas necróticas na maioria das nervuras e em grande parte do tecido mesofílico adjacente que se rompe; presença de abundantes lesões no talo, ramos e pecíolos; 8 – manchas necróticas em quase todas as

nervuras, muito abundante em talos, ramos e pecíolos, ocasionando rupturas, desfolhação e redução do crescimento das plantas; 9 – a maioria das plantas mortas. Foram consideradas plantas resistentes as que apresentarem notas de 1 a 3, e plantas suscetíveis as com notas de 3,1 a 9. Além disso, as parcelas foram avaliadas de acordo com a média das notas das plantas que constituíram a linha central de cada parcela.

3.3 Manutenção dos isolados e preparação para inoculação

Isolados das raças 65, 73, 81 e 89 de *C. lindemuthianum* foram utilizados na inoculação artificial do patógeno nas plantas de feijoeiro. Para a obtenção dos esporos seguiu-se a metodologia descrita por Costa et al. (2017), sendo que cada isolado foi crescido em meio de cultura M3S em placas de Petri e repicado em tubos de ensaio contendo vagens parcialmente imersas em meio ágar, já previamente autoclavadas. Os tubos de ensaio foram incubados em BOD, à temperatura de 22°C, por 10 a 15 dias.

A preparação do inóculo dos esporos foi obtida pela adição de água destilada nos tubos e posterior raspagem da superfície de cada vagem com alça de platina. Em seguida, a suspensão de conídios foi filtrada em gaze e, posteriormente, realizou-se a contagem dos conídios em câmara de Neubauer no microscópio de luz. A concentração do inóculo de cada raça foi padronizada para $1,2 \times 10^5$ conídios mL^{-1} , sendo esta uma concentração satisfatória para ocorrência da antracnose de acordo com Davide e Souza (2009). A suspensão de conídios da mistura das quatro raças foi obtida por uma mistura equitativa da suspensão na concentração ajustada de cada raça, como mencionado anteriormente.

3.4 Análise dos dados

Os dados obtidos nas diferentes épocas de avaliação, por safra, foram submetidos à análise de variância, considerando o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijh} = m + b_j + p_i + a_h + (bp)_{ji} + (ba)_{jh} + (pa)_{ih} + e_{ijh},$$

onde:

Y_{ijh} é o valor observado na parcela que recebeu o tratamento i no bloco j e avaliação h ;

m é a média geral;

b_j é o efeito do bloco j ;

p_i é o efeito do tratamento i ;

a_h é o efeito da avaliação h ;

$(bp)_{ji}$ é o efeito da interação entre o bloco j e o tratamento i ;

$(ba)_{jh}$ é o efeito da interação entre o bloco j e a avaliação h ;

$(pa)_{ih}$ é o efeito da interação entre o tratamento i e a avaliação h ;

e_{ijh} é o erro experimental associado à observação Y_{ijh} .

Todos os efeitos foram considerados como fixos, com exceção do erro experimental.

Foi estimada a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para cada tratamento nas épocas de avaliação, conforme a fórmula adotada por Shaner e Finney (1977):

$$AACPD = \sum_{i=1}^n \left[\frac{Y_{i+1} + Y_i}{2} x(T_{i+1} - T_i) \right]$$

onde:

Y_i é a severidade da doença na época de avaliação i ($i=1, \dots, n$);

Y_{i+1} é a severidade da doença na época de avaliação $i+1$;

T_i é a época da avaliação i , em número de dias após a emergência das plantas;

T_{i+1} é a época da avaliação $i+1$.

As estimativas da AACPD foram submetidas a análise de variância por safra, considerando todos os efeitos como fixos, exceto o erro experimental, conforme o modelo estatístico:

$$Y_{ij} = m + p_i + b_j + e_{ijk}$$

onde:

Y_{ij} é a AACPD do tratamento i no bloco j ;

m é a média geral;

p_i é o efeito do tratamento i ($i=1, 2, \dots, 9$);

b_j é o efeito do bloco j ($j=1, 2, \dots, 6$);

e_{ijk} é o erro experimental.

Foram também realizadas análises de variância individuais considerando as notas de severidade da doença na primeira avaliação (aos 12 dias após a inoculação – DAI) e na última avaliação (aos 52 DAI nas safras das águas e da seca, ou 72 DAI na safra de inverno), utilizando o mesmo modelo adotado para as análises das AACPDs.

A produtividade de grãos em Kg/ha foi avaliada e também submetida à análise de variância por safra, adotando-se o modelo descrito anteriormente para as análises das AACPDs.

Posteriormente, foram realizadas análises de variâncias conjuntas para os dados de severidade, para as AACPDs e para produtividade, seguiu o modelo:

$$Y_{ijk} = m + b_{j(k)} + p_i + a_k + (pa)_{jk} + e_{ijk},$$

onde:

Y_{ijk} é o valor observado na parcela que recebeu o tratamento i, no bloco j, e na safra k;

m é a média geral;

$b_{j(k)}$ é o efeito do bloco j dentro da safra k;

p_i é o efeito do tratamento i;

a_k é o efeito da safra k;

$(pa)_{ik}$ é o efeito da interação entre o tratamento i e a safra k;

e_{ijk} é o erro experimental associado à observação Y_{ijk} .

Todos os efeitos foram considerados como fixos, com exceção do erro experimental.

Para as safras das águas e da seca, realizou-se análise de variância conjunta para a produtividade, considerando o experimento com inoculação e o sem a inoculação artificial, para verificar se a presença do patógeno interferiu nas médias de produtividade dos tratamentos.

Os dados climáticos durante todo o ciclo de cultura do feijoeiro, nas três safras, foram obtidos na estação Climatológica Principal da UFPA. Equações de regressão linear utilizando as variáveis independentes (temperaturas máxima, mínima e média, e precipitação) e a variável dependente (notas médias de severidade da antracnose em cada avaliação) foram estimadas. Além disso, correlações entre as notas médias de severidade da antracnose (variáveis independentes) e produtividade (variável dependente) também foram estimadas, bem como correlações entre a variável AACPD e a variável dependente produtividade.

O método gráfico proposto por Nunes et al. (2005) foi utilizado na análise de estabilidade e adaptabilidade das linhagens resistentes e das misturas, considerando as notas médias de severidade da antracnose dos tratamentos na última avaliação em cada safra. Para isto, cada safra foi considerada como um ambiente diferente e as médias das linhagens e misturas foram padronizadas em relação à média das linhagens suscetíveis, obtendo-se o valor de Z_{ij} pela seguinte expressão:

$$Z_{ij} = \frac{(\bar{Y}_{ij} - \bar{Y}_{.j})}{S_{.j}}$$

onde:

Z_{ij} é o valor da variável padronizada correspondente à linhagem/mistura i na safra j ;

\bar{Y}_{ij} é a severidade média de antracnose da linhagem/mistura i na safra j ;

\bar{Y}_j é a média da severidade da antracnose das linhagens suscetíveis na safra j ;

S_j é o desvio padrão entre as linhagens/mistura para a severidade da antracnose na safra j .

Como a variável padronizada pode assumir valores positivos e negativos, somou-se a constante 3 aos valores de Z_{ij} , de modo a torná-los sempre positivos. A média dos valores de Z_{ij} da linhagem/mistura i nas diferentes safras corresponde à adaptabilidade desta linhagem/mistura. O método ainda permite obter os valores do coeficiente de variação dos Z_{ij} para a linhagem/mistura i nas diferentes safras (CV_{Z_i}), correspondendo à estabilidade da referida linhagem/mistura.

Já nos gráficos gerados, as dimensões dos eixos (safra) corresponderam aos valores padronizados de Z_{ij} . O formato “bola murcha” do gráfico normalmente é considerado o tratamento abaixo da média geral dos ambientes, ou seja, representa um tratamento com baixa adaptabilidade e estabilidade. Já o formato “bola cheia” corresponde a uma linhagem/mistura com desempenho acima da média e, portanto, com alta adaptabilidade e estabilidade. Porém, no caso dos dados de severidade à doença, como os utilizados no presente trabalho, a inferência sobre os gráficos “bola cheia” e “bola murcha” é o oposto. Para um resultado abaixo da média, considera-se uma maior adaptabilidade e estabilidade para a resistência, em relação à média de severidade de antracnose das linhagens suscetíveis nas três safras, e o resultado acima da média corresponde a uma linhagem/mistura com baixa adaptabilidade e estabilidade para resistência.

4 RESULTADOS

A precisão experimental avaliada por meio do coeficiente de variação (CV) e da acurácia seletiva (r_{gg}) das análises de variância individuais (TABELAS 3, APÊNDICE A) e conjuntas, foram de boa magnitude, sendo que as estimativas de CVe variaram de 13,6 a 33,7, enquanto que os valores da acurácia variaram de 79,7% a 97,7%.

Nas análises de variância das notas de severidade de antracnose, considerando as diferentes épocas de avaliação, foram detectadas diferenças significativas ($p \leq 0,01$) para todas as fontes de variação, exceto para a interação tratamentos x avaliações na safra de inverno (TABELA 2, APÊNDICE A). Portanto, com exceção à safra de inverno, as linhagens e multilinhas apresentaram reações diferentes ao patógeno, ao longo das avaliações.

Considerando todas as avaliações e independente do tratamento utilizado, as notas médias de severidade variaram de 2,3 a 5,6 na safra das águas, sendo que a linhagem MAV-336 e a Multilinha 2 constituíram o grupo com as menores notas. Na safra da seca, as notas variaram de 2,3 a 4,3, e a linhagem CIX-126 foi a que apresentou menor nota média de severidade. Já na safra de inverno, os valores variaram de 2,3 a 3,1, e as linhagens MAII-22 e MAV-336 apresentam as menores médias. As linhagens CI-107 e Pérola apresentaram as maiores médias das notas de severidade, em todas as safras avaliadas, confirmando assim, a suscetibilidade à antracnose (TABELA 2). As médias destas linhagens foram semelhantes nas safras da seca e de inverno, entanto a amplitude de variação foi maior na safra da seca, isto é, para a linhagem CI-107 a nota variou de 1,7 a 4,5, no entanto, na safra de inverno foi de 2,3 a 3,3. O mesmo comportamento foi observado na Pérola.

Considerando os dias após a inoculação (DAI), as estimativas das notas médias variaram de 2,1 aos 12 DAI a 6,3 aos 52 DAI, na safra das águas. Na safra da seca, as notas médias de severidade variaram de 1,5 aos 12 DAI a 5,7 aos 52 DAI. Já na safra de inverno, essa variação foi de 2,0 aos 12 DAI a 3,8 aos 72 DAI.

Tabela 2 – Notas médias de severidade da antracnose nas safras das águas 2016, da seca 2016-2017 e de inverno 2017.

| Tratamentos | Notas médias | | |
|-----------------|--------------|------------|---------------|
| | Safra Águas | Safra Seca | Safra Inverno |
| CI-107 | 5,6 A | 3,1 B | 2,9 B |
| PEROLA | 4,9 B | 4,3 A | 3,1 A |
| MAII-22 | 3,3 D | 3,0 B | 2,3 E |
| CIX-126 | 3,6 C | 2,3 D | 2,8 C |
| MAV-336 | 2,4 F | 2,5 C | 2,4 E |
| CVIII-39.24 | 3,1 E | 2,9 B | 2,5 D |
| Multilinha 1* | 3,3 D | 2,9 B | 2,7 C |
| Multilinha 2** | 2,3 F | 2,7 C | 2,7 C |
| Multilinha 3*** | 3,4 C | 3,1 B | 2,6 D |
| Média | 3,5 | 3,0 | 2,7 |

Fonte: Do autor (2018)

* Multilinha 1 composta pelas linhagens MAII-22 e CIX-126

** Multilinha 2 composta pelas linhagens MAV-336 e CVIII-39.24

*** Multilinha 3 composta pelas linhagens MAII-22, CIX-126, MAV-336 e CVIII-39.24

Médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott-Knott (1974).

As estimativas do coeficiente de regressão linear (b_1) entre as notas médias de severidade de antracnose em cada época de avaliação e as variáveis climáticas, para as safras avaliadas, são apresentadas na Tabela 3. As estimativas de b_1 não diferiram de zero em todas as safras, com exceção da estimativa entre a nota média de severidade da antracnose na linhagem MAV-336 e a temperatura máxima, na safra de inverno, que neste caso, foi significativa e positiva.

Tabela 3 – Estimativas dos coeficientes de regressão linear (b_1) entre as notas médias de severidade de *C. lindemuthianum* em cada época de avaliação com as variáveis climáticas, nas linhagens e multilinhas, nas safras das águas, da seca e de inverno.

| Variáveis | CI-107 | PEROLA | MAII-22 | CIX-126 | MAV-336 | CVIII39.24 | Multilinha 1 | Multilinha 2 | Multilinha 3 |
|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| Climáticas | | | | | | | | | |
| Safrá Águas | | | | | | | | | |
| Tmáx. | 0,04 ^{ns} | -0,04 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | -0,02 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | -0,02 ^{ns} | -0,04 ^{ns} | -0,02 ^{ns} | -0,02 ^{ns} |
| Tmín. | 0,43 ^{ns} | 0,32 ^{ns} | 0,22 ^{ns} | 0,11 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | 0,11 ^{ns} | 0,14 ^{ns} | 0,06 ^{ns} | 0,11 ^{ns} |
| Tméd. | 0,2 ^{ns} | 0,06 ^{ns} | 0,06 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | -0,003 ^{ns} | 0,01 ^{ns} |
| Prec. | 0,02 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | -0,002 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | -0,003 ^{ns} | 0,01 ^{ns} |
| Safrá Seca | | | | | | | | | |
| Tmáx. | -0,31 ^{ns} | -0,32 ^{ns} | -0,15 ^{ns} | -0,16 ^{ns} | -0,07 ^{ns} | -0,13 ^{ns} | -0,26 ^{ns} | -0,07 ^{ns} | -0,1 ^{ns} |
| Tmín. | 0,19 ^{ns} | 0,19 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | -0,07 ^{ns} | 0,06 ^{ns} | 0,07 ^{ns} | 0,06 ^{ns} | 0,09 ^{ns} | -0,01 ^{ns} |
| Tméd. | -0,78 ^{ns} | -0,79 ^{ns} | -0,42 ^{ns} | -0,48 ^{ns} | -0,17 ^{ns} | -0,32 ^{ns} | -0,7 ^{ns} | -0,16 ^{ns} | -0,29 ^{ns} |
| Prec. | 0,01 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | 0,003 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | -0,002 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | -0,0004 ^{ns} |
| Safrá Inverno | | | | | | | | | |
| Tmáx. | 0,04 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | 0,03 ^{ns} | 0,07 ^{ns} | 1,0* | 0,02 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | 0,01 ^{ns} |
| Tmín. | 0,17 ^{ns} | 0,14 ^{ns} | 0,15 ^{ns} | 0,15 ^{ns} | 0,12 ^{ns} | 0,17 ^{ns} | 0,11 ^{ns} | 0,2 ^{ns} | 0,09 ^{ns} |
| Tméd. | 0,1 ^{ns} | 0,06 ^{ns} | 0,07 ^{ns} | 0,12 ^{ns} | 0,06 ^{ns} | 0,07 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | 0,1 ^{ns} | 0,04 ^{ns} |
| Prec. | 0,02 ^{ns} | 0,03 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | 0,03 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | 0,03 ^{ns} | 0,02 ^{ns} |

Fonte: Do autor (2018)

** e ns: significativo e não significativo, a 1% de probabilidade, respectivamente.

Nas análises de variância individuais, considerando as primeira e última avaliações, foram observadas diferenças significativas ($p \leq 0,01$) entre os tratamentos nas três safras (TABELA 3, APÊNDICE A). Nas análises conjuntas, o teste F foi significativo ($p \leq 0,01$) para todas as fontes de variação, exceto para o efeito de blocos por ambiente (TABELA 4). Na Tabela 5 são apresentadas as notas médias de severidade da antracnose na primeira e na última avaliação, considerando as três safras analisadas. Para a safra das águas, os tratamentos foram agrupados em três grupos, tanto na a primeira como na a última avaliação, e as maiores notas médias, foram observadas nas linhagens CI-107 e Pérola, como esperado, já que ambas são suscetíveis às quatro raças utilizadas nas inoculações deste trabalho. Considerando apenas a primeira avaliação (aos 12 DAI), as linhagens MAI-22 e MAV-336, e a multilinha 2 constituíram o grupo com as menores médias de severidade, enquanto que para a última avaliação (aos 52 DAI), a linhagem MAV-336 e a multilinha 2 não diferiram significativamente, e formaram o grupo com as menores médias.

Na safra da seca, na primeira avaliação, as notas dos tratamentos formaram dois grupos, sendo que as multilinhas 2 e 3 não diferiram da linhagem Pérola, e constituíram as maiores médias de severidade. Considerando a última avaliação (52 DAI), as médias foram classificadas em três grupos, sendo que a linhagem Pérola apresentou a maior nota média, e o grupo com as menores médias foi composto por todas as linhagens com os alelos de resistência e as multilinhas 2 e 3.

Para a safra de inverno, em ambas as avaliações, foram formados dois grupos de médias. Considerando a primeira avaliação, a linhagem Pérola e a multilinha 1 constituíram o grupo com as maiores notas médias de severidade da antracnose. Já para a última avaliação, que nessa safra ocorreu aos 72 DAI, a multilinha 2 não diferiu das duas linhagens suscetíveis (CI-107 e Pérola), e estão no grupo com as maiores médias de severidade da doença.

Tabela 4 – Resumo da análise conjunta para as notas médias de severidade de antracnose na primeira avaliação e na última avaliação, para a área abaixo da curva de progresso da doença e para a produtividade.

| FV | GL | QM | | | |
|-----------------------|-----|--------------------|------------------|---------|-----------------------|
| | | Severidade | | AACPD | Produtividade (Kg/ha) |
| | | Primeira avaliação | Última avaliação | | |
| BL/Amb | 15 | 0,5 | 0,7 | 12,3 | 189698,5 |
| Tratamentos | 8 | 2,2** | 10,6** | 99,4** | 713120,4** |
| Ambiente | 2 | 14,9** | 9,1** | 222,5** | 2615890,5** |
| Trat X Amb | 16 | 1,2** | 2,3** | 28,8** | 291861,3** |
| Resíduo | 120 | 0,3 | 0,5 | 4,9 | 79707,9 |
| Média | | 2,5 | 3,6 | 14,0 | 995,7 |
| CV(%) | | 22,7 | 19,2 | 15,7 | 28,3 |
| Acurácia (r_{gg}) | | 92,4% | 97,7% | 97,5% | 94,2% |

Fonte: Do autor (2018)

** , Teste de F significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 5 – Notas médias de severidade da antracnose na primeira avaliação e na última avaliação, nas safras das águas 2016, da seca 2016-2017 e de inverno 2017.

| Tratamentos | Médias de severidade | | | | | |
|-----------------|----------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|
| | Safrá das águas | | Safrá da seca | | Safrá de inverno | |
| | Primeira avaliação | Última avaliação | Primeira avaliação | Última avaliação | Primeira avaliação | Última avaliação |
| CI-107 | 4,3 A | 6,3 A | 1,7 B | 4,5 B | 2,3 B | 3,3 A |
| PEROLA | 4,0 A | 5,7 A | 2,8 A | 5,7 A | 2,8 A | 3,8 A |
| MAII-22 | 2,7 C | 3,7 B | 2,0 B | 3,7 C | 2,0 B | 2,7 B |
| CIX-126 | 3,3 B | 3,8 B | 1,5 B | 3,0 C | 2,0 B | 3,0 B |
| MAV-336 | 2,3 C | 2,5 C | 2,0 B | 2,8 C | 2,0 B | 3,0 B |
| CVIII-39.24 | 2,8 B | 3,3 B | 2,3 A | 3,5 C | 2,2 B | 3,2 B |
| Multilinha 1* | 3,0 B | 3,7 B | 2,0 B | 4,2 B | 2,5 A | 3,0 B |
| Multilinha 2** | 2,2 C | 2,7 C | 2,3 A | 3,0 C | 2,2 B | 3,3 A |
| Multilinha 3*** | 3,2 B | 3,7 B | 2,5 A | 3,5 C | 2,3 B | 3,0 B |

Fonte: Do autor (2018)

* Multilinha 1 composta pelas linhagens MAII-22 e CIX-126

** Multilinha 2 composta pelas linhagens MAV-336 e CVIII-39.24

*** Multilinha 3 composta pelas linhagens MAII-22, CIX-126, MAV-336 e CVIII-39.24

Médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott-Knott (1974).

Foram obtidas as análises de variâncias individuais e conjunta para a área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD) (TABELA 3, APÊNDICE A, e TABELA 4). Diferenças significativas ($p \leq 0,01$) foram observadas para todas as fontes de variação, com exceção do efeito de blocos por ambiente. A safra de inverno, por ter apresentado maior ciclo da cultura (111 dias) e, conseqüentemente mais avaliações foram realizadas, apresentou maior valor médio de AACPD.

Considerando a safra das águas, a linhagem CI-107 apresentou a maior média de AACPD, e a multilinha 2 destacou-se por ter apresentado o valor médio mais baixo dentre as multilinhas, e ter constituído o grupo com as menores médias de AACPD juntamente com a linhagem MAV-336 (TABELA 6). Na safra da seca, a linhagem Pérola constituiu o grupo de maior média e a linhagem MAII-22 apresentou o menor valor médio de AACPD. Os demais tratamentos não diferiram significativamente, compondo assim o grupo intermediário.

Tabela 6 – Valores médios da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e da produtividade, nas safras das águas 2016, da seca 2016-2017 e de inverno 2017.

| Tratamentos | Médias | | | | | |
|--------------|-----------------|---------------|------------------|-----------------------|---------------|------------------|
| | AACPD | | | Produtividade (Kg/ha) | | |
| | Safra das águas | Safra da seca | Safra de inverno | Safra das águas | Safra da seca | Safra de inverno |
| CI-107 | 22,7 A | 12,4 B | 17,4 A | 588,8 B | 547,2 B | 934,7 B |
| PEROLA | 19,5 B | 17,1 A | 18,3 A | 359,7 B | 412,5 B | 1241,7 A |
| MAII-22 | 13,2 C | 12,2 C | 13,8 B | 1488,8 A | 765,3 A | 929,2 B |
| CIX-126 | 14,4 C | 9,1 B | 16,8 A | 1404,2 A | 883,3 A | 1387,5 A |
| MAV-336 | 9,4 D | 10,3 B | 14,3 B | 1376,7 A | 932,8 A | 963,8 B |
| CVIII-39.24 | 12,4 C | 11,4 B | 14,8 B | 1244,5 A | 992,9 A | 1355,5 A |
| Multilinha 1 | 13,3 C | 11,6 B | 16,4 A | 1176,3 A | 683,3 B | 1069,5 B |
| Multilinha 2 | 9,3 D | 10,8 B | 16,1 A | 970,8 A | 652,8 B | 1240,3 A |
| Multilinha 3 | 13,7 C | 12,3 B | 15,5 B | 1183,3 A | 830,5 A | 1267,9 A |

Fonte: Do autor (2018)

* Multilinha 1 composta pelas linhagens MAII-22 e CIX-126

** Multilinha 2 composta pelas linhagens MAV-336 e CVIII-39.24

*** Multilinha 3 composta pelas linhagens MAII-22, CIX-126, MAV-336 e CVIII-39.24

Média seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott-Knott (1974).

Nas análises de variância por safra, considerando a produtividade de grãos (Kg/ha), foram observadas diferenças significativas ($p \leq 0,01$) entre os tratamentos (TABELA 3,

APÊNDICE A). Considerando a análise conjunta, o teste F foi significativo para todas as fontes de variação, exceto para o efeito de blocos por ambiente (TABELA 4). Em todas as safras avaliadas foram formados apenas dois grupos de médias de produtividade de grãos (TABELA 6). Na safra das águas, as linhagens CI-107 e Pérola apresentaram as menores produtividades, e as demais linhagens e multilinhas constituíram o segundo grupo de médias. Para a safra da seca, as multilinhas 1 e 2 não apresentaram diferenças com as linhagens Pérola e CI-107, e representaram o grupo com as menores produtividades médias. Já na safra de inverno, as linhagens Pérola, CIX-126 e CVIII-39.24, e as multilinhas 2 e 3 constituíram o grupo com as maiores produtividades.

Ainda considerando a produtividade de grãos, foram realizadas análises conjuntas para os experimentos com e sem inoculação, nas safras das águas e da seca (TABELA 7). Foram detectadas diferenças significativas ($p \leq 0,01$) entre os tratamentos e para a interação tratamentos x ambientes (com e sem inoculação), evidenciando que houve variabilidade na resposta à infecção da antracnose. O teste F foi não significativo para os ambientes com e sem inoculação na safra das águas, no entanto, as médias de produtividade dos tratamentos apresentadas na Tabela 8 permitem verificar que as diferenças na produtividade foram refletidas, de modo geral, apenas nas linhagens suscetíveis CI-107 e Pérola.

Tabela 7 – Resumo da análise de variância conjunta para produtividade (Kg/ha) considerando os experimentos com inoculação e sem inoculação, nas safras das águas 2016 e da seca 2016-2017.

| FV | GL | QM | |
|-----------------------|----|------------|--------------|
| | | Águas | Seca |
| BL/Amb | 10 | 149955,2 | 214669,7 |
| Tratamentos | 8 | 428474,9** | 203825,0** |
| Ambiente | 1 | 118227,9 | 17040697,0** |
| Trat X Amb | 8 | 548250,6** | 150584,6* |
| Resíduo | 80 | 93264,8 | 58340,6 |
| Média | | 1121,2 | 1141,7 |
| CV(%) | | 27,2 | 21,2 |
| Acurácia (r_{gg}) | | 88,5% | 84,5% |

Fonte: Do autor (2018)

* e **, Teste de F significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 8 – Médias de produtividade, nos experimentos com e sem inoculação, nas safras das águas 2016 e da seca 2016-2017.

| Tratamentos | Produtividade média (Kg/ha) | | | |
|-----------------|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|
| | Safrá das águas | | Safrá da seca | |
| | Com inoculação | Sem inoculação | Com inoculação | Sem inoculação |
| CI-107 | 588,8 | 1159,7 | 547,2 | 1408,3 |
| PEROLA | 359,7 | 1204,2 | 412,5 | 1519,5 |
| MAII-22 | 1488,8 | 977,8 | 765,3 | 1690,3 |
| CIX-126 | 1404,2 | 1213,8 | 883,3 | 1695,8 |
| MAV-336 | 1376,7 | 1116,7 | 932,8 | 1263,8 |
| CVIII-39.24 | 1244,5 | 1411,2 | 992,9 | 1570,8 |
| Multilinha 1* | 1176,3 | 1026,3 | 683,3 | 1598,7 |
| Multilinha 2** | 970,8 | 1173,7 | 652,8 | 1406,9 |
| Multilinha 3*** | 1183,3 | 1105,5 | 830,5 | 1695,8 |

Fonte: Do autor (2018).

* Multilinha 1 composta pelas linhagens MAII-22 e CIX-126

** Multilinha 2 composta pelas linhagens MAV-336 e CVIII-39.24

*** Multilinha 3 composta pelas linhagens MAII-22, CIX-126, MAV-336 e CVIII-39.24

Considerando os experimentos com inoculação artificial, foram estimadas as correlações entre as notas médias de severidade da doença dos tratamentos, considerando cada época de avaliação, e a produtividade de grãos em kg/ha, nas três safras (TABELA 9). Para a safra das águas, todas as correlações foram significativas e negativas, indicando que, quanto maior a nota média de severidade menor a produtividade média de grãos. O mesmo comportamento foi observado para as correlações obtidas a partir dos dados da terceira, quarta e quinta avaliações na safra da seca. As demais estimativas nessa safra, assim como as obtidas na safra de inverno, foram não significativas.

As correlações entre as AACPDs médias e a produtividade média de cada tratamento também foram estimadas (TABELA 9). Apenas para a safra da seca a correlação foi significativa, sendo negativa e de alta magnitude, indicando que quanto maior o progresso da doença, menor a produtividade. Para a safra de inverno, contudo, apesar da correlação não diferir de zero, este resultado era esperado já que as correlações entre as notas médias de severidade da doença e a produtividade (TABELA 9) também foram não significativas.

Tabela 9 – Coeficientes de correlação de Pearson entre as notas médias de severidade da antracnose nas linhagens e nas multilinhas, em cada época de avaliação, e a produtividade média de grãos (Kg/ha), e entre as AACPDs médias das linhagens e multilinhas e a produtividade média de grãos (Kg/ha), nas safras das águas 2016, da seca 2016-2017 e de inverno 2017, para os experimentos com inoculação.

| Avaliações da severidade/AACPD | Produtividade de grãos | | |
|--------------------------------|------------------------|---------------------|--------------------|
| | Águas | Seca | Inverno |
| Primeira | -0,69* | -0,29 ^{ns} | 0,01 ^{ns} |
| Segunda | -0,70* | -0,55 ^{ns} | 0,26 ^{ns} |
| Terceira | -0,72* | -0,73* | 0,31 ^{ns} |
| Quarta | -0,70* | -0,78* | 0,36 ^{ns} |
| Quinta | -0,77* | -0,81 ** | 0,12 ^{ns} |
| Sexta | - | - | 0,24 ^{ns} |
| Sétima | - | - | 0,29 ^{ns} |
| AACPD | -0,59 | -0,74* | 0,27 |

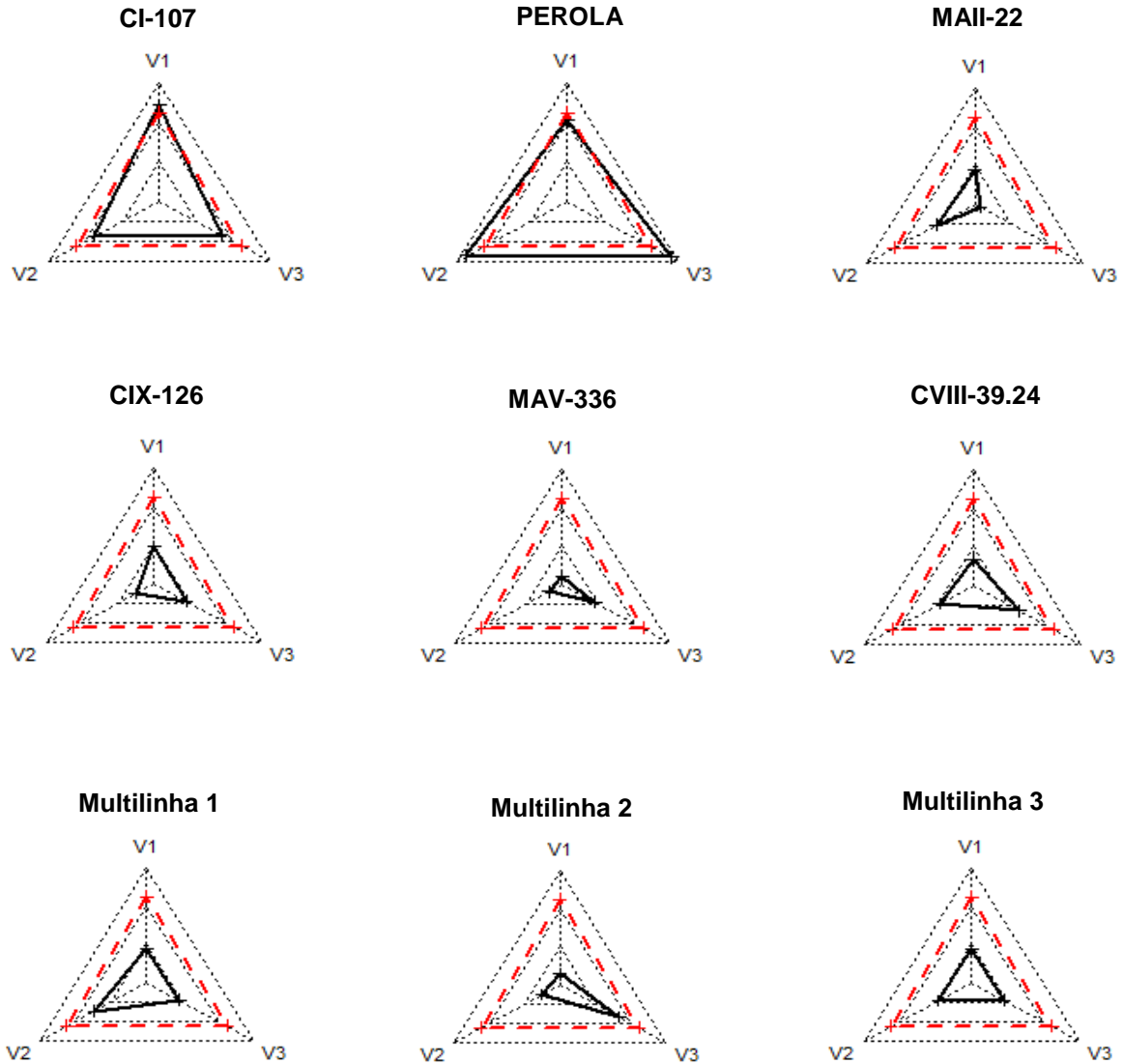
Fonte: Do autor (2018)

ns, * e **, Teste de t não significativo, significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Outro parâmetro utilizado neste trabalho para avaliar a reação das multilinhas e linhagens ao *C. lindemuthianum* foi o método gráfico de adaptabilidade e estabilidade proposto por Nunes et al. (2005). A Figura 1 apresenta o desempenho de cada tratamento em relação à média das linhagens CI-107 e Pérola, que são linhagens suscetíveis a todas as raças do patógeno utilizadas, considerando a primeira avaliação de severidade da antracnose nas três safras.

Os gráficos obtidos mostraram que as linhagens MAII-22, CIX-126 e MAV-336 foram os tratamentos que apresentaram maior adaptabilidade e estabilidade, nas três safras, pois estes apresentaram desempenhos inferiores à média de severidade da antracnose. Entre as multilinhas, destacou-se a multilinha 2, composta pelas linhagens MAII-22, CIX-126, CVIII-39.24 e MAV-336, contudo, todas as multilinhas apresentaram desempenho inferior à média das testemunhas suscetíveis.

Figura 1 - Representação gráfica do desempenho de quatro linhagens e três multilinhas de feijoeiro para severidade de antracnose na última avaliação nas três safras avaliadas.



Legenda: A linha pontilhada em vermelho representa a média de severidade da antracnose das linhagens suscetíveis nas safras das águas (V1), da seca (V2) e de inverno (V3), e os eixos referem-se a cada safra.

Fonte: Do autor (2018)

Na Tabela 10 são apresentadas as estimativas das médias de severidade da antracnose (M), de Z_i médio (Z_i) e dos coeficientes de variação (CV_{Z_i}) dos tratamentos, da última avaliação, nas três safras. Pelos valores de Z_i médios, as linhagens MAII-22, MAV-336 e a multilinha 2 apresentaram as melhores adaptabilidades, com os menores valores de Z_i ,

Pelos valores de CV_{Z_i} a multilinha 3 apresentou a menor estimativa (3,1%). Contudo, associando os dados das três estimativas da tabela, não houve coincidência entre menores

valores de adaptabilidade (Z_i) e coeficientes de variação (CV_{Z_i}), dificultando a classificação dos tratamentos para maior adaptabilidade e estabilidade.

Tabela 100 – Estimativas das médias de severidade da antracnose (M), da adaptabilidade (Z_i), e dos coeficientes de variação (CV_{Z_i}) dos tratamentos, na primeira e na última avaliação de severidade de antracnose.

| Tratamentos | Primeira avaliação | | | Última avaliação | | |
|-----------------|--------------------|-------|----------------|------------------|-------|----------------|
| | M | Z_i | CV_{Z_i} (%) | M | Z_i | CV_{Z_i} (%) |
| CI-107 | 2,7 B | - | - | 4,7 A | - | - |
| PEROLA | 3,2 A | - | - | 5,1 A | - | - |
| MAII-22 | 2,2 C | 1,3 | 69,7 | 3,3 B | 0,9 | 69,4 |
| CIX-126 | 2,3 C | 1,2 | 46,4 | 2,3 B | 1,1 | 30,9 |
| MAV-336 | 2,1 C | 1,2 | 90,3 | 2,8 B | 0,7 | 75,8 |
| CVIII39.24 | 2,4 C | 1,9 | 61,7 | 3,3 B | 1,3 | 31,8 |
| Multilinha 1* | 2,5 C | 2,1 | 28,9 | 3,6 B | 1,4 | 31,3 |
| Multilinha 2** | 2,2 C | 1,6 | 97,1 | 3,0 B | 1,1 | 89,9 |
| Multilinha 3*** | 2,7 B | 2,3 | 46,4 | 3,4 B | 1,2 | 3,1 |

Fonte: Do autor (2018)

* Multilinha 1 composta pelas linhagens MAII-22 e CIX-126

** Multilinha 2 composta pelas linhagens MAV-336 e CVIII-39.24

*** Multilinha 3 composta pelas linhagens MAII-22, CIX-126, MAV-336 e CVIII-39.24

Média seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott-Knott (1974).

5 DISCUSSÃO

A utilização de multilinhas é uma estratégia promissora na obtenção de resistência durável em plantas cultivadas, principalmente no patossistema feijão-*C. lindemuthianum*, cujo patógeno apresenta ampla variabilidade gerada por diversos mecanismos. Portanto, é importante avaliar o comportamento de multilinhas na busca por maior estabilidade e resistência à antracnose em diferentes safras de cultivo do feijoeiro. Para o presente trabalho foram utilizadas linhagens de feijoeiro do tipo carioca, devido à sua grande importância para o mercado consumidor no Brasil. Além disso, quatro dessas linhagens selecionadas apresentam resistência a apenas uma raça do patógeno da mistura das raças 65, 73, 81, e 89 que foi inoculada. Cada uma dessas linhagens é resistente a uma raça, mas suscetível às demais. Por exemplo, a linhagem MAV-336 é resistente à raça 81, mas suscetível às raças 65, 73 e 89 (TABELA 1). Essas quatro linhagens são oriundas de um programa de melhoramento de seleção recorrente para mancha angular (MAII-22 e MAV-336) e outro para produtividade e tipo de grão (CVIII-39.24 e CIX-126).

Testar a significância de um caráter por meio de dados de contagem, como o uso de escalas de notas, requer que os pressupostos da análise de variância sejam atendidos. No presente trabalho, os testes aplicados indicaram que as condições para realização das análises foram atendidas. Resultado semelhante foi relatado por Botelho et al. (2011), avaliando a severidade de *C. lindemuthianum* em feijoeiro por meio da mesma escala de notas utilizada neste estudo. A precisão experimental avaliada pelas estimativas do coeficiente de variação (CV) e da acurácia (r_{gg}) foram de magnitude semelhante aos resultados relatados na literatura para as características avaliadas (BOTELHO et al., 2011).

A significância constatada entre os tratamentos, entre as avaliações e na interação tratamentos x avaliações quando se consideraram todas as diferentes épocas de avaliação de severidade de antracnose, evidenciam a variabilidade das reações das linhagens e multilinhas em resposta à infecção do patógeno. Esses resultados foram obtidos nas safras das águas e da seca, e corroboram com os relatados por Botelho et al. (2011) quando avaliaram as reações da multilinha e linhagens nas safras da seca de 2007 e 2008. Na safra de inverno, contudo, não houve diferença significativa para a interação tratamentos x avaliações, o que pode ser justificado pela baixa ocorrência da antracnose e, conseqüentemente, pequena amplitude entre as médias das notas de severidade da doença dos tratamentos (TABELA 2). As condições ideais para o desenvolvimento do patógeno e a ocorrência da antracnose são temperaturas amenas, entre 15°C e 27°C, e alta umidade relativa do ar, acima de 91%, contando que as

temperaturas limites estejam entre 13°C e 30°C (COSTA et al., 2017; PAULA JÚNIOR et al., 2015). Contudo, na safra de inverno as condições ambientais não foram favoráveis ao desenvolvimento da doença (TABELA 1, APÊNDICE A). Na maioria dos intervalos de 10 dias ao longo do ciclo do feijoeiro nessa safra a temperatura máxima ultrapassou os 30°C e a temperatura mínima foi inferior a 13°C. Além disso, a precipitação normalmente é baixa nesta época como pôde ser constatado neste trabalho. Portanto, mesmo sendo utilizada a irrigação nos experimentos, provavelmente a umidade ideal para o desenvolvimento da antracnose não ocorreu nesta safra.

As notas de severidade da antracnose foram inferiores às obtidas por Botelho et al. (2011), principalmente para a testemunha CI-107. Provavelmente isto ocorreu devido às diferenças nas condições ambientais, tais como, temperatura, umidade, precipitação e irrigação e também à concentração do inóculo que foi inferior à utilizada pelos referidos autores ($1,2 \times 10^5$ conídios mL^{-1}). No entanto, no trabalho de Davide e Souza (2009) não foram observadas diferenças na severidade da antracnose utilizando as concentrações de $1,2 \times 10^6$ conídios mL^{-1} , normalmente utilizada, e de $1,2 \times 10^5$ conídios mL^{-1} . Neste trabalho, contudo, a inoculação das plantas foi realizada em condições controladas de temperatura e umidade em câmara de nebulização e posteriormente, as plantas foram mantidas e avaliadas em casa de vegetação. No presente trabalho, as plantas foram inoculadas e avaliadas em campo, não havendo controle das condições ambientais. Portanto, a redução na concentração do inóculo pode ter contribuído para a menor severidade da antracnose, apesar das sementes utilizadas na semeadura das safras da seca e de inverno terem sido oriundas das sementes colhidas nas safras anteriores, onde já havia sido realizada a inoculação. Dessa forma, as sementes já se encontravam contaminadas, ou seja, deveria haver inóculo nas sementes.

Houve maior discriminação entre os tratamentos na safra das águas, onde verificou-se uma maior ocorrência de sintomas da antracnose devido às condições ambientais favoráveis. Entre os grupos que apresentaram as menores notas para a severidade da antracnose e da AACPD foi observada a presença de ao menos uma das multilinhas em todas as safras (TABELA 5 e TABELA 6). Dessa forma, fica evidente a eficiência esperada quando se utilizam linhagens com diferentes alelos de resistência para o controle de doenças, pois essa mistura de alelos permite reduzir a disseminação da infecção do patógeno (MUNDT, 2014). Nesse contexto e em relação à mistura de raças que foi inoculada e aos fatores de virulência presentes em cada raça (TABELA 1), foi observado que a linhagem MAV-336 e a multilinha 2 se destacaram como as mais resistentes. A multilinha 2, constituída pelas linhagens MAV-

336 e CVIII-39.24, merece destaque por ter sido resistente nas três safras, ou seja, apresentou notas inferiores a 3,0 e as menores estimativas de AACPD (TABELA 5 e TABELA 6). É importante mencionar que estas duas linhagens, constituintes da multilinha 2, são resistentes às raças 81 e 89 que são as mais complexas entre a mistura de raças que foi inoculada, isto é, possuem três (2^0 , 2^4 e 2^6) e quatro fatores de virulência (2^0 , 2^3 , 2^4 e 2^6), e possuem alelos que conferem resistência ao fator de virulência 2^4 . As demais linhagens avaliadas não possuem este(s) gene(s) e, portanto, na mistura de raças do inóculo deve ter sido um dos fatores mais virulentos, pois as demais multinhas não apresentaram-se resistentes na mesma magnitude. O sucesso de multilinhas e misturas de cultivares em reduzir a incidência de patógenos quando comparadas a linhas puras tem sido observado em algumas cultivares, como: maçã, arroz, sorgo e feijoeiro (COSTA et al., 2012; BOTELHO et al., 2011; DIDELOT; BRUNT; PARISI, 2007; RABOIN et al., 2012; SOUZA et al., 2013).

As notas da severidade da antracnose observadas na primeira e na última avaliação (TABELA 5) na safra das águas evidenciam que as condições ambientais foram favoráveis ao desenvolvimento da doença, principalmente observando as médias das linhagens suscetíveis, CI-107 e Pérola. No entanto, o mesmo comportamento não foi observado nas safras da seca e de inverno. A presença de interação linhagens ou misturas por safras foi detectada para todas as características avaliadas. Houve inversão na classificação entre as linhagens CI-107 e Pérola nas safras das águas e da seca para AACPD, sendo que nesta última safra a cultivar suscetível CI-107 agrupou-se com as linhagens resistentes e as misturas. Como já salientado, a provável explicação é a ausência de condições ambientais favoráveis e a concentração do inóculo utilizada. Essa mesma linhagem apresentou notas de severidade da antracnose elevadas na safra da seca no trabalho realizado por Botelho et al. (2011).

A relação entre o uso de multinhas e a produtividade diz respeito à busca por maior estabilidade da cultura em campo, quando a mistura é capaz de reduzir a severidade da doença (VALÉRIO; CASELA, 2017; HUSSAIN, 2015). Na safra das águas, que apresentou maior ocorrência da doença as multilinhas apresentaram produtividades semelhantes às linhagens mais produtivas (TABELA 6). O mesmo comportamento se verifica na safra de inverno, com exceção da multilinha 1. Resultado semelhante quanto ao desempenho em produtividade da multilinha foi obtido por Botelho et al. (2011), no entanto, a multilinha avaliada neste estudo apresentava sete linhagens em sua composição, sendo 28,6% de linhagens totalmente suscetíveis às raças de *C. lindemuthianum* utilizadas.

Como foram instalados experimentos com e sem inoculação artificial nas safras das águas e da seca, foi possível realizar uma análise conjunta para cada safra, envolvendo os dados de produtividade (Kg/ha). Na safra das águas não houve diferença entre os ambientes, ou seja, mesmo na presença da antracnose, em média, as linhagens e as multinhas foram eficientes no controle da antracnose, o que refletiu nas médias semelhantes nos dois experimentos (TABELA 8). Estes resultados podem ser confirmados pelas estimativas de correlações obtidas entre a produtividade e a nota média da severidade da antracnose em cada época de avaliação nas safras das águas e da seca, e pelas correlações entre as AACPDs médias e a produtividade (TABELA 9). A ausência de correlação na safra de inverno pode ser explicada pela ausência da antracnose nesta safra, refletindo na falta de variação para os dados de severidade. Contudo, as informações obtidas em todas as avaliações utilizando-se os dados dessa safra, são de considerável importância para estudos desse contexto, já que permitem inferir sobre os diversos fatores que afetam a incidência de patógenos com ampla variabilidade genética e diversificadas formas de disseminação, como o é o caso de *C. lindemuthianum*, e a severidade de doenças, como a antracnose, com grande potencial de danos na cultura do feijoeiro.

As estimativas de estabilidade e adaptabilidade das linhagens resistentes e das multilinhas em relação à média das linhagens suscetíveis nas três safras avaliadas destacam a linhagem MAV-336 e a multilinha 2 como as mais adaptadas, sendo que a linhagem apresentou-se mais estável em relação à multilinha (TABELA 10). A metodologia proposta por Nunes et al. (2005) tem sido utilizada na avaliação da estabilidade e adaptabilidade de linhagens de feijoeiro para resistência à antracnose em diferentes ambientes, sendo constatado que a cultivar Pérola apresentou baixa estabilidade e adaptabilidade (PEREIRA et al., 2018).

Uma abordagem que deve ser considerada é que as linhagens resistentes são oriundas de programas de melhoramento de seleção recorrente. A linhagem MAV-336 é oriunda do quinto ciclo de seleção recorrente visando à resistência a mancha angular do feijoeiro. Esta linhagem apresentou-se resistente à raça 81 de *C. lindemuthianum* quando as plantas foram avaliadas no estágio V2, isto é, fase de plântulas (PÁDUA et al., 2016). No entanto, ela apresentou reação de suscetibilidade às demais raças do patógeno utilizadas no presente trabalho. Já na avaliação realizada no campo com inoculação com a mistura das raças (65, 73, 81 e 89) e a avaliação na fase planta adulta, ela foi resistente (TABELA 2). O mesmo comportamento foi observado na multilinha 2, que apresenta esta linhagem na sua composição. Uma explicação seria que as linhagens obtidas em programas de seleção

recorrente representam uma mistura de linhagens que provavelmente fixaram diferentes alelos de resistência.

Burdon et al. (2014) enfatizam que na busca pela resistência durável devem ser utilizados genes de planta adulta, que normalmente são genes maiores, mas de resistência não-específica, e genes de efeito menor. No caso da antracnose, a seleção normalmente é direcionada para os genes de efeito maior e raça-específica. Além disso, tem sido proposta a obtenção de pirâmides de genes de resistência em uma única linhagem, o que favorece a seleção direcional na população do patógeno e “quebra” da resistência mais rapidamente. A população do patógeno é dinâmica e principalmente em *C. lindemuthiamum* apresenta vários mecanismos de ampliação da variabilidade genética o que contribui para o aumento da virulência (ISHIKAWA; SOUZA; DAVIDE, 2008; ISHIKAWA; SOUZA, 2012).

Os resultados obtidos no presente trabalho evidenciam que a busca por genes de resistência não específica pode ser uma estratégia para a resistência durável, por meio da obtenção de linhagens via seleção recorrente e/ou a construção de multilinhas. A mesma análise pode ser extrapolada para as demais linhagens oriundas do programa de seleção recorrente para a produtividade. Atualmente empregada tanto para espécies autógamas como para alógamas, a seleção recorrente é um método cíclico – obtenção, avaliação e recombinação de progênies – que visa o aumento da frequência de alelos favoráveis e desejáveis gradativamente, sendo indicada, portanto, para o melhoramento a longo prazo e características quantitativas (BOREM; MIRANDA, 2013). No feijoeiro, esse método vem sendo utilizado para características como tipo de grão, porte, produtividade, fixação biológica de nitrogênio, tolerância ao estresse hídrico, resistência à mancha angular, dentre outras (FRANCO et al., 2001; GUIMARÃES et al., 2010; PÁDUA, 2017; PIRES et al., 2014).

Há relatos da evidência que a seleção efetuada para a produtividade grãos seleciona indiretamente para a resistência à antracnose, desde que o patógeno ocorra no campo (ABREU et al. 2003; PÁDUA; RAMALHO; ABREU, 2015; PEREIRA, 2018). Pereira (2018), com o objetivo de avaliar a variabilidade entre e dentro de plantas S_0 de um programa de seleção recorrente para produtividade e tipo de grão do feijoeiro quanto à resistência a antracnose e mancha angular, verificou que as progênies do ciclo XIV apresentaram variabilidade e alta frequência de progênies/plantas resistentes a *C. lindemuthiamum* e *P. griseola*, mesmo não sendo realizada a seleção para esses caracteres.

Mesmo diante dos desafios que envolvem a implementação da multilinha, o emprego dessa técnica é viável devido à possibilidade das multilinhas serem utilizadas para

proteção de cultivares altamente produtivas, mas com baixa resistência a doenças, e para resistência a vários patógenos simultaneamente (VALÉRIO; CASELA, 2017). Além disso, a ocorrência de grande número de genes de resistência a diferentes raças e de inúmeras linhagens de feijão de grão tipo carioca com resistência a outras doenças permite elaborar novas combinações de multilinhas de acordo com o interesse e as necessidades do agricultor (COSTA et al., 2017; BOTELHO et al., 2011).

6 CONCLUSÃO

Multilinhas de feijão carioca são eficientes na redução da severidade da antracnose na presença de diferentes raças de *Colletotrichum lindemuthianum*, e são uma boa estratégia para obter estabilidade fenotípica nas diferentes safras de cultivo do feijoeiro.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. F. B. Utilização da produtividade de grãos na seleção para resistência ao *Colletotrichum lindemuthianum* no feijoeiro. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 27, p. 363-369, 2003.
- BARBOSA, F. R. et al. Validação do Sistema de Produção Integrada do Feijão Comum (*Phaseolus vulgaris* L.) na Região Central Brasileira. **Circular Técnica/Embrapa**, p. 8, 2010.
- BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. DE O. Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014. **Documentos** 272, 2012.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. Seleção Recorrente. In: _____. **Melhoramento de plantas**. 6. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2013. cap. 22, p. 317-343.
- BOTELHO, F. B. S. et al. Multiline as a Strategy to Reduce Damage Caused by *Colletotrichum lindemuthianum* in Common Bean. **Journal of Phytopathology**, v. 159, p. 175–180, 2011.
- BURDON, J. J. et al. Guiding deployment of resistance in cereals using evolutionary principles. **Evolutionary Applications**, v. 7, p. 609–624, 2014.
- BURDON, J. J. Genetic variation in pathogen populations and its implications for adaptation to host resistance. In: JACOBS, TH.; PARLEVLIET, J. E. **Durability of disease resistance**. Dordrecht: Ed. Kluwer Academic Publishers, 1993. V. 18, cap. 1, p. 41-56.
- BUSH, E. Anthracnose on Snap Beans. **Virginia Cooperative Extension**, 450-719, 2014.
- CAMARGOS, R. **Reação de híbridos de milho à mancha-branca, cercosporiose e ferrugem comum**. 2013. 70 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- CAMPA, A. et al. Genetic analysis of the response to eleven *Colletotrichum lindemuthianum* races in a RIL population of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **BMC Plant Biology**, v. 14, n. 115, p. 1–12, 2014.
- CARNEIRO, J. E.; BORÉM, A. A cultura. In: CARNEIRO, J. E.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. cap. 6, p. 9–15.
- CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira - **Grãos**. Monitoramento Agrícola - Safra 2017/18, v. 5, n.3, p. 1–130, 2017.
- CONSORTIUM, R. Combining Selective Pressures to Enhance the Durability of Disease Resistance Genes. **Frontiers in Plant Science**, v.7, p. 1-8, 2016.
- COSTA, L.C. et al. Are duplicated genes responsible for anthracnose resistance in common bean? **PLoS One**, 2017 . DOI: 10.1371/journal.pone.0173789.

COSTA, R. V. et al. Utilização de multilinhas dinâmicas para o manejo da antracnose do sorgo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 2, p. 173-180, 2012.

DAVIDE, L. M. C.; SOUZA, E. A. DE. Pathogenic variability within race 65 of *Colletotrichum lindemuthianum* and its implications for common bean breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 9, p. 23–29, 2009.

DIDELLOT, F.; BRUNT, L.; PARISIT, L. Effects of cultivar mixtures on scab control in apple orchards. **Plant Pathology Journal**, v. 56, p. 1014-1022, 2007.

FINCKH, M. R.; MUNDT, C. C. Stripe Rust, Yield and Plant Competition in Wheat Cultivar Mixtures. **Ecology and Epidemiology**, v. 82, n. 9, p. 905–913, 1992.

FRANCO, M. C. et al. Combining ability for nodulation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes from Andean and Middle American gene pools. **Euphytica**, Wageningen, v. 118, n. 3, p. 265-270, Apr. 2001.

GONÇALVES, R. J. S. et al. Strategies for recommendation of common bean lines tested for value of cultivation and use in different environments. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 9, p. 132-139, 2009.

GUIMARÃES, C. M. et al. Evaluation of recurrent selection families for tolerance to water deficit in common bean. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 53, p. 162-163, Mar 2010.

GUIMARÃES, F. B. et al. Controle da antracnose do sorgo através da utilização de misturas de cultivares. **Grupo Paulista de Fitopatologia**, v. 24, n. 2, p. 131-135, 1998.

HUSSAIN, B. Modernization in plant breeding approaches for improving biotic stress resistance in crop plants. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 39, p. 515-539, 2015.

ISHIKAWA, F. H.; RAMALHO, M. A. P.; SOUZA, E. A. Common bean lines as potential differential cultivars for race 65 of *Colletotrichum lindemuthianum*. **Journal of Plant Pathology**, v. 93, n. 2, p. 461–464, 2011.

ISHIKAWA, F. H.; SOUZA, E. A. Investigating phenotypic variability in *Colletotrichum lindemuthianum* populations. **Phytopathology**, v. 102, n. 5, 2012.

ISHIKAWA, F. H.; SOUZA, E. A.; DAVIDE, L. M. C. Genetic variability within isolates of *Colletotrichum lindemuthianum* belonging to race 65 from the state of Minas Gerais, Brazil. **Biologia**, v. 63, n. 2, p. 156–161, 2008.

KIMATI, H.; GALLI, F. *Glomerella cingulata* (Stonem.) Splaud & Scherenk. f. sp. *phaseoli*, fase ascógena do agente causal da antracnose no feijoeiro. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v. 27, p. 411-437, 1970.

LECLAIR, E. et al. Transmission of anthracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) with artificial and natural inoculum in a wet and dry canopy. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 95, n. 5, p. 913–921, 2015.

- MAHUKU, G. S.; RIASCOS, J. J. Virulence and Molecular Diversity within *Colletotrichum lindemuthianum* Isolates from Andean and Mesoamerican bean Varieties and Regions. **European Journal of Plant Pathology**, v. 110, n. 3, p. 253–263, 2004.
- MARKELL, S.; WUNSCH, M.; RIO, L. DEL. Anthracnose of Dry Beans. **Plant Disease Management**, p. 1-4, 2012.
- MOTA, S. F. et al. Variability of *Colletotrichum* spp in common bean. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 2, p. 1-22, 2016.
- MUNDT, C. C. Durable resistance: A key to sustainable management of pathogens and pests. **Infection, Genetics and Evolution**, v. 27, p. 446-455, 2014.
- MUNDT, C. C. Use of multiline cultivars and cultivar mixtures for disease management. **Annual Review of Phytopathology**, v. 40, p. 381–410, 2002.
- NKALUBO, S. T. et al. Genetic analysis of anthracnose resistance in common bean breeding source germplasm. **Euphytica**, v. 167, n. 3, p. 303–312, 2009.
- NUNES, J. A. R. et al. Graphical Method in Studies of Adaptability and Stability of Cultivars. **Annual Report of The Bean Improvement Cooperative**, v. 48, p. 182-183, 2005.
- PÁDUA, J. M. V.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. F. B. Implications of early selection for resistance to anthracnose in genetic breeding of common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 15, p. 169–174, 2015.
- PÁDUA, P. F. de. **Viabilidade da condução de três ciclos de seleção recorrente visando à resistência a *Pseudocercospora griseola* no feijoeiro**. 2017. 48 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.
- PÁDUA, P. F. et al. Identification of common bean resistant sources to angular leaf spot disease in a brazilian germoplasm collection. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Prosser, v. 59, p. 115-116, 2016.
- PAULA JÚNIOR, T. J. P. et al. Doenças do feijoeiro: estratégias integradas de manejo. In: CARNEIRO, J. E.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. cap. 11, p. 270–299.
- PEREIRA, H. S. et al. Genotype by environment interaction for disease resistance and other important agronomic traits supporting the indication of common bean cultivars. **Euphytica**, v. 214, n. 12, p. 1-11, 2018.
- PEREIRA, L. A. **Estratégia de condução de populações segregantes utilizando o método Bulk/F₂ ou S₀**. 2018. 115 p. Tese (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.
- PIRES, L. P. M. et al. Recurrent mass selection for upright plant architecture in common bean. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 3, p. 240-243, 2014.

- PONTE FILHO, A. F. et al. Abordagem multivariada para recomendação de sorgo forrageiro no semiárido cearense. In: Congresso Brasileiro de Agronomia, 30, Fortaleza. **Anais**. Fortaleza, 2017.
- RABOIN, L. M. et al. Two-component cultivar mixtures reduce rice blast epidemics in an upland agrosystem. **Plant Pathology Journal**, p. 1-9, 2012.
- RAMALHO, M. A. P. et al. A interação genótipos por ambientes. In: _____. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras, MG: Ed. UFLA, 2012. cap. 13, p. 366-456.
- RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. Procedimentos para comparações múltiplas. In: _____. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 3. ed. Lavras, MG: Ed. UFLA, 2012. cap. 6, p. 86-102.
- RIBEIRO, T. et al. Classification of *Colletotrichum lindemuthianum* races in differential cultivars of common bean. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, n. 2, p. 179–184, 2016.
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.
- SHANER, G.; FINNEY, R. E. The Effect of Nitrogen Fertilization on the Expression of Slow-Mildewing Resistance in Knox Wheat. **Phytopathology**, v. 67, p. 1051-1056, 1977.
- SILVA, K. B. et al. Adaptability and stability of soybean cultivars for grain yield and seed quality. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 2, p. 1-15, 2017.
- SILVA, K. J. D. E; SOUZA, E. A. DE; ISHIKAWA, F. H. Characterization of *Colletotrichum lindemuthianum* Isolates from the State of Minas Gerais, Brazil. **Journal of Phytopathology**, v. 155, p. 241–247, 2007.
- SOUZA, B. O. et al. Management of sorghum anthracnose through diversification of genetic resistance in host population. **Tropical Plant Pathology**, v. 38, n.1, p. 20-27, 2013.
- STEELING, D.; EBMEYER, E.; LINK, W. Yield stability in Faba Bean, *Vicia faba* L.: 2. Effects of Heterozygosity and Heterogeneity. **Plant Breeding**, v. 112, p. 30-39, 1994.
- TALAMINI, V. **Antracnose a partir de diferentes níveis**. 2003. 144 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.
- USDA. **Classification for Kingdom Plantae Down to Species *Phaseolus vulgaris* L.**
Disponível em:
<<https://plants.usda.gov/java/ClassificationServlet?source=display&classid=PHVU>>. Acesso em: 22 out. 2016.
- VALÉRIO, H. M. et al. Variability of the Anthracnose Fungus *Colletotrichum graminicola* in Sorghum Genotype Mixtures. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, n. 5, p. 567-569, 2004.
- VALÉRIO, H. M.; CASELA, C. R. Diversification of Host Plants as a Strategy in the Control of Plant Diseases. **International Journal of Sciences**, v. 6, p. 67-77, 2017.

VAN SCHNOONHOVEN, A.; PASTOR-CORRALES, M. A. **Standard system for the evaluation of bean germplasm**. Cali: CIAT, 1987.

WOLFE, M. S. The current status and prospects of multiline cultivars and variety mixtures for disease resistance. **Annual Review. Phytopathology**, v. 23, p. 251-273, 1985.

WOLFE, M. S. Can the strategic use of disease resistant hosts protect their inherent durability? In: JACOBS, TH.; PARLEVLIET, J. E. **Durability of disease resistance**. Dordrecht: Ed. Kluwer Academic Publishers, 1993. V. 18, cap. 1, p. 83-96.

ZUIDERVEEN, G. H. et al. Genome-Wide association study of anthracnose resistance in andean beans (*Phaseolus vulgaris*). **PLoS ONE**, v. 11, n. 6, p. 1-17, 2016.

8 APÊNDICE A - TABELAS

Tabela 11 – Variáveis climáticas registradas durante o ciclo da cultura do feijoeiro, em intervalos de 10 dias, nas safras das águas 2016, da seca 2016-2017 e de inverno 2017.

| Intervalos de dias | Safrá Águas | | | |
|--------------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------|
| | T máxima (°C) | T mínima (°C) | T média (°C) | Precipitação (mm) |
| 16/11-25/11 | 27,2 | 16,5 | 21,4 | 1,9 |
| 26/11-05/12 | 28,2 | 18,5 | 22,6 | 3,2 |
| 06/12-15/12 | 28,9 | 18,7 | 23,0 | 8,0 |
| 16/12-25/12 | 29,6 | 17,4 | 22,7 | 1,9 |
| 26/12-04/01 | 32,5 | 19,2 | 24,9 | 3,7 |
| 05/01-14/01 | 30,5 | 19,3 | 23,4 | 9,2 |
| 15/01-24/01 | 29,5 | 19,3 | 23,6 | 3,8 |
| 25/01-03/02 | 29,5 | 18,9 | 23,3 | 2,8 |
| 04/02-13/02 | 29,9 | 18,6 | 23,3 | 2,9 |
| Média | 29,8 | 18,5 | 23,1 | 4,2 |
| | Safrá Seca | | | |
| | T máxima (°C) | T mínima (°C) | T média (°C) | Precipitação (mm) |
| 15/02-24/02 | 31,5 | 18,8 | 24,4 | 0,0 |
| 25/02-06/03 | 28,5 | 18,7 | 22,4 | 5,9 |
| 07/03-16/03 | 30,7 | 18,8 | 24,0 | 4,2 |
| 17/03-26/03 | 28,8 | 16,5 | 21,6 | 23,4 |
| 27/03-05/04 | 28,3 | 15,1 | 20,8 | 0,3 |
| 06/04-15/04 | 28,9 | 18,1 | 22,6 | 7,7 |
| 16/04-25/04 | 27,1 | 16,2 | 20,7 | 0,4 |
| 26/04-05/05 | 24,7 | 16,1 | 19,4 | 2,7 |
| 06/05-15/05 | 26,3 | 14,3 | 19,1 | 0,6 |
| Média | 28,3 | 16,9 | 21,7 | 5,0 |
| | Safrá Inverno | | | |
| | T máxima (°C) | T mínima (°C) | T média (°C) | Precipitação (mm) |
| 19/07-28/07 | 24,1 | 11,0 | 16,7 | 0,0 |
| 29/07-07/08 | 23,8 | 10,1 | 16,2 | 0,0 |
| 08/08-17/08 | 27,4 | 13,7 | 19,6 | 0,0 |
| 18/08-27/08 | 25,5 | 12,9 | 18,0 | 0,1 |
| 28/08-06/09 | 27,8 | 11,9 | 19,5 | 0,0 |
| 07/09-16/09 | 30,2 | 13,3 | 21,5 | 0,0 |
| 17/09-26/09 | 29,3 | 13,9 | 21,4 | 0,0 |
| 27/09-06/10 | 27,0 | 15,9 | 20,3 | 9,3 |
| 07/10-16/10 | 32,1 | 17,6 | 24,0 | 0,02 |
| 17/10-26/10 | 29,2 | 17,3 | 22,7 | 0,8 |
| 27/10-05/11 | 26,8 | 17,3 | 21,4 | 5,5 |
| Média | 27,6 | 14,1 | 20,1 | 1,5 |

Fonte: Do autor (2018)

Tabela 2 – Resumo da análise de variância para as notas de severidade de antracnose, considerando todas as épocas de avaliação, nas safras das águas 2016, da seca 2016-2017, e de inverno 2017.

| FV | GL | QM | | GL | QM |
|--------------|-----|-------------|------------|-----|-------|
| | | Safra Águas | Safra Seca | | |
| Tratamentos | 8 | 34,4** | 9,3** | 8 | 2,5** |
| Avaliação | 4 | 5,9** | 20,5** | 6 | 5,5** |
| Blocos | 5 | 2,5** | 4,9** | 5 | 2,1** |
| Trat X Aval. | 32 | 0,4** | 0,7** | 48 | 0,1 |
| Aval. X BL | 20 | 0,1 | 0,3 | 30 | 0,2* |
| Trat X BL | 40 | 1,7** | 1,4** | 40 | 0,8** |
| Resíduo | 160 | 0,15 | 0,22 | 240 | 0,12 |

Fonte: Do autor (2018)

* e **, Teste de F significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 3 – Resumo das análises de variância individuais para as notas de severidade de antracnose na primeira avaliação e na última avaliação, para a área abaixo da curva de progresso da doença e para a produtividade, nas safras das águas 2016, da seca 2016-2017, e de inverno 2017.

| Safrá Águas 2016 | | | | | |
|-----------------------|----|--------------------|------------------|---------|-----------------------|
| FV | GL | QM | | AACPD | Produtividade (Kg/ha) |
| | | Severidade | | | |
| | | Primeira avaliação | Última avaliação | | |
| Blocos | 5 | 0,7 | 0,6 | 7,9 | 163153,1 |
| Tratamentos | 8 | 3,1** | 9,7** | 114,3** | 883947,4** |
| Resíduo | 40 | 0,5 | 0,6 | 5,3 | 134219,8 |
| Média | | 3,1 | 3,9 | 14,2 | 1088,2 |
| CV(%) | | 21,9 | 19,9 | 16,2 | 33,7 |
| Acurácia (r_{gg}) | | 92,2% | 96,8% | 97,6% | 92,1% |
| Safrá Seca 2016-2017 | | | | | |
| FV | GL | QM | | AACPD | Produtividade (Kg/ha) |
| | | Severidade | | | |
| | | Primeira avaliação | Última avaliação | | |
| Blocos | 5 | 0,5 | 1,0 | 18,0 | 256155,5 |
| Tratamentos | 8 | 1,0* | 4,9** | 29,6** | 213991,3** |
| Resíduo | 40 | 0,4 | 0,6 | 4,6 | 41677,9 |
| Média | | 2,1 | 3,8 | 11,9 | 744,5 |
| CV(%) | | 28,8 | 20,4 | 18,0 | 27,4 |
| Acurácia (r_{gg}) | | 79,7% | 93,7% | 91,8% | 89,7% |
| Safrá Inverno 2017 | | | | | |
| FV | GL | QM | | AACPD | Produtividade (Kg/ha) |
| | | Severidade | | | |
| | | Primeira avaliação | Última avaliação | | |
| Blocos | 5 | 0,3 | 0,5 | 11,0 | 149787,1 |
| Tratamentos | 8 | 0,5** | 0,6* | 13,0* | 198903,9** |
| Resíduo | 40 | 0,1 | 0,2 | 4,7 | 63226,4 |
| Média | | 2,2 | 3,1 | 15,9 | 1154,5 |
| CV(%) | | 15,4 | 15,3 | 13,6 | 21,8 |
| Acurácia (r_{gg}) | | 86,0% | 79,9% | 80,1% | 82,6% |

Fonte: Do autor (2018)

* e **, Teste de F significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.