

**MANEJO DA ANTRACNOSE DO SORGO POR
MEIO DA DIVERSIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA
GENÉTICA NA POPULAÇÃO DO HOSPEDEIRO**

BRENO OLIVEIRA DE SOUZA

2009

BRENO OLIVEIRA DE SOUZA

**MANEJO DA ANTRACNOSE DO SORGO POR MEIO DA
DIVERSIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA GENÉTICA NA
POPULAÇÃO DO HOSPEDEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, área de concentração em Controle de doenças de plantas, para a obtenção do título de “Doutor”.

Orientador
Prof. Dr. Hilário Antônio de Castro

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2009

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Souza, Breno Oliveira de.

Manejo da antracnose do sorgo por meio da diversificação da
resistência genética na população do hospedeiro / Breno Oliveira de
Souza. – Lavras: UFLA, 2009.

93 p.: il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: Hilário Antônio de Castro.

Bibliografia.

1. *Sorghum bicolor*. 2. *Colletotrichum sublineolum*. 3. Doença –
Controle. 4. Misturas de cultivares. 5. Cultivar BRS304. 6.
Diversidade fenotípica. 7. Estrutura populacional de virulência. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.1749424

BRENO OLIVEIRA DE SOUZA

**MANEJO DA ANTRACNOSE DO SORGO POR MEIO DA
DIVERSIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA GENÉTICA NA
POPULAÇÃO DO HOSPEDEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, área de concentração em Controle de doenças de plantas, para a obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 24 de setembro de 2009

Dr. Carlos Roberto Casela	EMBRAPA/Milho e Sorgo
Prof. Dr. Ludwig Heinrich Pfenning	UFLA
Prof. Dr. Paulo Estevão de Souza	UFLA
Profa. Dra. Elaine Aparecida de Souza	UFLA

Prof. Dr. Hilário Antônio de Castro
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

A Deus, minha força e inspiração em todos os momentos;
A minha sobrinha, afilhados, primos, tios e amigos, pelo carinho e por
sempre acreditarem em mim,

DEDICO.

Aos meus pais, João e Sônia, pelo apoio de sempre, dedicação e amor
incondicional;
Aos meus irmãos: Bruno, Nathália, Geovanna e Stefany, pela amizade e
por serem meus companheiros na vida,

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido saúde e oportunidades na vida.

Aos meus pais, familiares e amigos, por compreenderem minha ausência.

À professora Iranise Batista Bezerra Torres (Departamento de Biologia - UFPI), por ser minha eterna mestra e amiga, incentivando-me e direcionando os meus caminhos profissionais.

À professora Ângela Célis de Almeida Lopes (Departamento de Biologia - UFPI), pela amizade e incentivo.

Ao Dr. Carlos Roberto Casela (Embrapa/Milho e Sorgo), pela paciência, orientação valiosa, ensinamentos para toda a vida e por acreditar em meu potencial.

Aos meus orientadores, professores Hilários Antônio de Castro e Ludwig H. Pfenning (DFP/UFLA), pelos ensinamentos, apoio, disponibilidade, confiança e paciência dispensados.

Aos pesquisadores da Embrapa Milho e Sorgo, Dr. Rodrigo Vêras, Dr. Alexandre Ferreira e Dr. José Édson, pelo apoio nos trabalhos realizados e por estarem sempre disponíveis, quando necessário.

Ao Dr. Décio Karan (Embrapa/Milho e Sorgo), pelo espaço concedido para a realização de experimentos no Laboratório de Manejo de Plantas Daninhas.

A Clóvis Ribeiro (Laboratório de Resistência a Doenças de Plantas – Embrapa/Milho e Sorgo), pelo apoio, incentivo, amizade e ajuda nos trabalhos, quando necessário.

Ao professor Dr. Ricardo Magela de Sousa (DFP/UFLA), pelos ensinamentos, apoio, incentivo, confiança e amizade.

Aos companheiros (estagiários e pós-graduanda) dos Laboratórios de Resistência a Doenças de Plantas e Bioquímica Molecular de Plantas da Embrapa Milho e Sorgo, Michele, Elaine, Eduardo, Guilherme, Clara e Dagma, pela amizade e ajuda concedida nos experimentos.

Aos companheiros de pós-graduação e bolsista do Laboratório de Sistemática e Ecologia de Fungos da UFLA, Juliano, Sarah, Natália e Mirian, pelo apoio e amizade.

Ao laboratorista Edson Luís (Laboratório de Sistemática e Ecologia de Fungos – DFP/UFLA), pela disponibilidade e apoio.

Aos funcionários da Embrapa Milho e Sorgo, Dênio, Gilberto, José Moreira (área experimental), Enoc, Vicente (protocolo), Wânia (biblioteca) e Daniel (estação climatológica), pela disposição e apoio nos trabalhos.

A todos os funcionários e estagiários da Embrapa/Milho e Sorgo, especialmente, Amanda Neves e Osni, que, de alguma forma, ajudaram na realização deste trabalho.

À Dow Agrosiences, nas pessoas do Dr. Paulo Dion e Gaspar Reis, pela receptividade e valiosa colaboração no envio de sementes e realização do ensaio de Indianópolis, MG.

A Vagner Alves da Silva, pelo envio de amostras para a complementação das análises dos experimentos do capítulo dois desta tese.

Ao professor Dr. Cristiano Sousa Lima (DFP/UFRPE), pelo apoio e ensinamentos durante o período de pós-doutorado no Departamento de Fitopatologia da UFLA.

Aos companheiros de doutorado, principalmente Amanda Cabral, Severina Lins (Nina) e Carla Corrêa, pela amizade e apoio concedidos.

Aos amigos de Lavras, Vanessa Lasmar, Helder Tobias e professora Joelma Pereira (DCA/UFLA), que, além da amizade, me ajudaram no equilíbrio

físico e emocional e me deram forças para vencer mais esta etapa em minha vida.

Aos amigos de Sete Lagoas, Jean, Giovannya e Maria de Lourdes (Lia), pelo apoio, carinho e incentivo concedidos.

Às amigas, Marilise (Mary), Dona Lindaura e Adélia, pelo apoio e abrigo, quando necessário, em Lavras e em Sete Lagoas, durante o período do doutorado.

Aos professores do Departamento de Fitopatologia, pelos ensinamentos transmitidos.

Aos funcionários do DFP/UFLA, especialmente, Ângela (Patologia de Sementes), De Lourdes (secretária do DFP) e Ana Maria (Laboratório de Bacteriologia de Plantas), pelo carinho e disposição em ajudar.

Aos colegas de curso do Departamento de Fitopatologia da UFLA, pelo incentivo e apoio dispensados.

Aos professores Paulo Estevão de Souza (DFP/UFLA) e Elaine Aparecida de Souza (DBI/UFLA), pela disponibilidade e por estarem presentes na banca examinadora deste trabalho.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Fitopatologia, pela oportunidade de realização do doutorado.

À Capes e ao CNPq, pela concessão das bolsas de estudo.

A todos que, estando por perto, ajudaram de alguma forma na realização deste trabalho. A todos, o meu mais sincero agradecimento.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT	iii
CAPÍTULO 1.....	01
1 Introdução geral	02
2 Referencial teórico	06
2.1 O hospedeiro	06
2.2 A doença	06
2.3 O patógeno.....	10
2.4 Variabilidade do patógeno	12
2.5 Controle de doenças em sorgo por meio da resistência genética.....	14
3 Referências bibliográficas.....	17
CAPITULO 2: PROTEÇÃO DO HÍBRIDO BRS304 POR MEIO DE MISTURAS DE CULTIVARES	24
Resumo	25
Abstract.....	26
1 Introdução	27
2 Material e métodos.....	29
2.1 Locais e condução dos experimentos.....	29
2.2 Características avaliadas	31
2.3 Análises e interpretação dos resultados	32
3 Resultados.....	34
4 Discussão	39
5 Conclusões.....	48
6 Referências bibliográficas.....	49

CAPÍTULO 3: DIVERSIDADE E ESTRUTURA DE VIRULÊNCIA EM POPULAÇÕES DE <i>Colletotrichum sublineolum</i>	53
Resumo	54
Abstract.....	55
1 Introdução.....	56
2 Material e métodos.....	58
2.1 Obtenção de isolados	60
2.2 Produção e preparo do inóculo	61
2.3 Inoculação dos isolados e avaliação	61
2.4 Análise e interpretação dos resultados	62
3 Resultados.....	65
4 Discussão	79
5 Conclusões.....	83
6 Referências bibliográficas.....	84
CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
ANEXOS	89

RESUMO

SOUZA, Breno Oliveira de. **Manejo da antracnose do sorgo por meio da diversificação da resistência genética na população do hospedeiro**. 2009. 93p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

Dentre as doenças que afetam a cultura do sorgo no Brasil, a mais importante é a antracnose, porque causa severas epidemias, está disseminada em todas as regiões produtoras e provoca grandes perdas devido à elevada variabilidade apresentada pelo patógeno. Este trabalho foi realizado com os objetivos de avaliar a possibilidade de um híbrido resistente à antracnose (IG150) conferir proteção a um híbrido suscetível (BRS304) de grande valor agrônomico que teve sua resistência superada devido mudanças na população do patógeno e avaliar também a diversidade e a estrutura de virulência nas populações patogênicas desenvolvidas em resposta a essas misturas, comparando-as com uma população obtida a partir de cultivos puros de sorgo. Para verificar a eficiência das misturas no controle da doença, foi avaliada a severidade da antracnose nos tratamentos com as misturas e nos estandes puros de seus componentes. Os dados de severidade foram transformados em área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). A diversidade e a estrutura populacional de *C. sublineolum* foram caracterizadas por meio de três índices de diversidade fenotípica e um de complexidade, e quanto à distribuição e à frequência das raças nas misturas e estande puros, e nos locais de amostragem. A eficiência do índice de Shannon em detectar a diversidade fenotípica foi verificada. Na medida em que se aumentou a proporção do híbrido resistente nas misturas houve uma redução das AACPD. As proporções mais eficientes nesta redução foram aquelas com 25% e 50% da cultivar suscetível misturada à resistente. Nas populações caracterizadas, predominaram raças complexas de *C. sublineolum* e ocorreu redução da diversidade fenotípica, se comparadas à população coletada a partir dos cultivos puros. No entanto, esse aumento na complexidade de raças não implicou em menor eficiência do híbrido resistente, em misturas, em conferir proteção ao híbrido suscetível.

*Comitê de orientação: Hilário Antônio de Castro - UFLA (orientador), Carlos Roberto Casela – Embrapa/Milho e Sorgo (coorientador).

ABSTRACT

SOUZA, Breno Oliveira de. **Management of sorghum anthracnose through the diversification of genetic resistance in the host population.** 2009. 93p. Thesis (Doctorate in Phytopathology) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

Among the sorghum crop affecting diseases in Brazil, severe anthracnose epidemics are widespread throughout all producing regions, causing large losses due to the high pathogen variability. This study aimed at evaluating the possibility of a hybrid (IG150) for resistance against anthracnose, protection to a susceptible hybrid (BRS304) of high agronomic value, for which resistance was overcome due to changes in the pathogen population. Also was evaluated the diversity and structure of virulence in pathogenic populations developed in response to these mixtures, comparing them with a population obtained from pure sorghum cultures. To check the efficiency of hybrid mixing in controlling the disease, we evaluated the anthracnose severity in the treatments with mixtures and pure stands of their components. The severity data were transformed into areas under the disease progress curve (AUDPCs). The diversity and population structure of *C. sublineolum* were characterized by three levels of phenotypic diversity and complexity, and the distribution and frequency of races in mixtures and pure stand, and the sampling sites. The Shannon index was observed as efficient in detecting phenotypic diversity. To the extent that it increased the proportion of resistant hybrids in the mixture was a reduction of AUDPCs. The higher efficiency in this reduction were those with 25% and 50% of the susceptible cultivar resistant to mixed. In populations characterized, complex races predominated in *C. sublineolum* and there was a reduction of the phenotypic diversity compared to the population collected from pure cultures. However, this increase in complexity of races did not imply in a lower efficiency of hybrid resistance in mixtures, in conferring protection to the susceptible hybrid.

*Guidance Committee: Hilário Antônio de Castro - UFLA (advisor), Carlos Roberto Casela – EMBRAPA/Milho e Sorgo (co-advisor).

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

A cultura de sorgo no Brasil apresentou, em cinco anos, um incremento de 50% na produção, passando de 781,4 mil toneladas, na safra de 1999/2000, para 1.576,7 mil toneladas, em 2004/2005. Nesse mesmo período, a área plantada no país passou de 543,2 para 788,5 mil hectares, ou seja, aumento de 66,89% e produtividade de 1.439 para 1.988 kg/ha, correspondendo a 72,38% de aumento.

No estado do Mato Grosso do Sul houve um incremento de 4,3% na produção total, passando de 174,9 mil toneladas na safra 2007/2008 para 182,5. Já em Goiás, estado onde a cultura mais avançou nos últimos anos, a produção foi de 825,6 mil toneladas, na safra de 2007/2008, decrescendo para 735,3, em 2008/2009, com a mesma área plantada de 310,5 mil hectares. (Von Pinho & Vasconcelos, 2002; Companhia Nacional de Abastecimento/Conab, 2005; 2009). Esse crescimento na produção foi determinado pela intensificação e a modificação nos sistemas de cultivo desse cereal e pelos avanços obtidos no melhoramento genético, com a geração de cultivares de alta produtividade.

Estes números colocam o Brasil entre os dez maiores produtores deste cereal no mundo. O sorgo representa, portanto, uma importante alternativa para auxiliar o abastecimento do mercado de grãos. Estrategicamente, a oferta constante de grãos de sorgo, entre 10% a 15% da produção total de milho do país, poderá ter uma função reguladora do mercado, evitando, assim, altas excessivas de preço do milho e a importação do produto (Schaffert & Ribas, 2001).

Para que esses volumes de produção sejam alcançados, é necessário aumentar a produtividade da cultura, que ainda é baixa. Entre os fatores que limitam a produtividade estão as doenças, algumas das quais podem causar perdas significativas na produção de grãos e de forragem, dependendo da

suscetibilidade da cultivar e de condições ambientais favoráveis à sua ocorrência e disseminação.

Dentre as doenças que afetam a cultura do sorgo no Brasil, as mais importantes são a ferrugem (*Puccinia purpurea*), o míldio (*Peronosclerospora sorghi*), a helmintosporiose (*Exserohilum turcicum*), a doença açucarada ou “ergot” (*Claviceps africana*) e a antracnose (*Colletotrichum sublineolum*).

Nas várias regiões de plantio de sorgo do Brasil, há condições particularmente favoráveis à ocorrência da antracnose, que é a principal e mais devastadora doença desta cultura, devido não apenas às condições ambientais favoráveis à ocorrência de severas epidemias, como também à variabilidade apresentada pelo patógeno nas nossas condições. A doença é favorecida por condições de alta umidade e temperaturas elevadas e pode levar a grandes perdas até mesmo em regiões com breves períodos de chuva seguidos de secas prolongadas. Seu controle é considerado prioritário pelos produtores de sementes, já que ela pode causar perdas superiores a 80% na produtividade, além de provocar esterilidade parcial de panículas e afetar drasticamente a qualidade da semente produzida. O seu controle é também essencial como suporte à contínua expansão da área de plantio com a cultura, conforme verificado nos últimos anos (Panizzi & Fernandes, 1997).

Dentre as medidas de controle desta doença, a utilização de cultivares geneticamente resistentes é a mais eficiente. A variabilidade genética existente no germoplasma de sorgo permite a obtenção de fontes de resistência que são intensamente utilizadas em programas de melhoramento para a obtenção de híbridos geneticamente resistentes. Um fator limitante à utilização da resistência genética como estratégia para o controle da antracnose é a alta variabilidade apresentada pelo patógeno nas condições brasileiras (Casela & Frederiksen, 1994).

Diante desta variabilidade, várias alternativas são avaliadas para a obtenção de resistência estável a este patógeno. Uma destas é a seleção de genótipos com resistência do tipo dilatória, caracterizada pela maior capacidade de determinados genótipos em limitar o progresso da doença (Casela et al., 1993). Esta resistência, entretanto, apresentou certa instabilidade em função da variabilidade populacional do patógeno, havendo indicação de que pelo menos parte dela é do tipo vertical incompleta (Guimarães et al., 1998; Casela et al., 2001). Esse fato pode determinar a sua perda de eficiência em função da seleção de raças mais adaptadas aos genótipos com este tipo de resistência.

A “quebra” da resistência do híbrido granífero BRS304, ocorrida na safrinha de 2004, é uma confirmação desta possibilidade, uma vez que este híbrido apresentava, até recentemente, excelente nível de resistência dilatória a *C. sublineolum* (Casela, comunicação pessoal). A resistência deste híbrido foi superada, provavelmente, devido à expansão da área de plantio com a cultura e, como consequência, do número de anos de permanência desse material no mercado. Por outro lado, a expansão verificada na área de plantio com a cultura do sorgo no país sinaliza para o aumento de problemas fitossanitários que, como já mencionado, representam fator limitante ao desenvolvimento da cultura no país.

Várias estratégias são preconizadas para o manejo da resistência genética, de modo a aumentar sua durabilidade e estabilidade. Dentre essas podem ser citadas: o desenvolvimento de cultivares com pirâmides de genes, que consiste na incorporação, em um mesmo genótipo, de dois ou mais genes de resistência (Nelson, 1973), a utilização de misturas de genótipos ou de multilinhas (Browning & Frey, 1969; Wolfe, 1978), a rotação de genes de resistência em função da predominância de raças de um patógeno (Crill, 1982) e, mais recentemente, o uso de multilinhas dinâmicas (Tapsoba & Wilson, 1999). Todas essas alternativas são fundamentadas, total ou parcialmente, na suposição

de que a seleção estabilizadora (VanderPlank, 1968; 1982) tende a eliminar ou a reduzir a proporção de raças com virulência desnecessária na população do patógeno. Trabalhos recentes indicaram a existência de diferenças na capacidade competitiva de raças de *C. sublineolum*, indicando uma possível ação da seleção estabilizadora contra raças de maior virulência na população do patógeno (Casela et al., 2001). Resultados obtidos na Embrapa Milho e Sorgo indicaram a existência de repostas específicas da população do patógeno a diferentes genes de resistência no hospedeiro, com a predominância de raças com o número mínimo de fatores de virulência desnecessários. Tal fato é indicativo de que o desenvolvimento ou a adaptação de alternativas de manejo da resistência genética, fundamentadas na ação da seleção estabilizadora contra o acúmulo de genes de virulência no patógeno, podem ser explorados como estratégias para se obter resistência durável a este patógeno.

Foram objetivos deste trabalho, avaliar o manejo da resistência em sorgo a *C. sublineolum*, por meio da diversificação da resistência genética na população hospedeira obtida por misturas de genótipos. Neste caso, a proteção conferida pelo plantio de um genótipo suscetível associado a um genótipo resistente possibilitaria a exploração do valor agronômico deste material sem os riscos de perdas pela ocorrência de severas epidemias da antracnose. Uma preocupação constante associada à utilização de misturas de genótipos para o controle de doenças é a possibilidade de desenvolvimento e predominância, na população do patógeno, de raças de alta complexidade, ou seja, raças que sejam virulentas a todos os genótipos componentes da mistura, o que tornaria inviável a utilização dessa estratégia. No presente trabalho avaliou-se também esta possibilidade, por meio do monitoramento da diversidade genética na população do patógeno desenvolvida em resposta a diferentes proporções de genótipos resistentes e suscetíveis em misturas, comparando-a com a diversidade genética de uma população patogênica obtida a partir de cultivos puros de sorgo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O hospedeiro

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) é uma planta monoica de flores perfeitas, basicamente autógamas, com taxa de polinização cruzada em torno de 5%. O centro de origem do sorgo é, provavelmente, a África central, na região da Etiópia e Sudão, entre 5 e 7 mil anos atrás. Sua propagação ocorreu por meio de nativos que migraram por vários países. De acordo com Von Pinho & Vasconcelos (2002), o sorgo seria, para os povos africanos, tão importante quanto o milho para os americanos.

É utilizado na alimentação humana e faz parte do preparo de alimentos sólidos e líquidos de diversos tipos e como fonte de energia na alimentação de 700 milhões de pessoas, principalmente na Ásia e na África. No ocidente, a cultura foi introduzida em meados do século XIX e era utilizada, basicamente, em substituição ao milho no preparo de ração animal. No final do século XIX, foi introduzida nos Estados Unidos da América (EUA), trazida por escravos nos navios negreiros e passou a ser reconhecida como cultura agrícola. Foi nos EUA, por meio do melhoramento genético de cultivares antigas, que se chegou aos diferentes tipos cultivados atualmente. No Brasil, a introdução da cultura ocorreu primeiramente no Rio Grande do Sul (Von Pinho & Vasconcelos, 2002; Guimarães et al., 1999; Ruas et al., 1998).

Atualmente, são cultivados três tipos de sorgo: o granífero, o forrageiro e o vassoura. O forrageiro é bastante cultivado no sul de Minas Gerais e no Vale do Paraíba, no estado de São Paulo. O sorgo vassoura, de porte mais elevado, colmos finos e panículas com características especiais, se torna adequado, como o próprio nome indica, para a produção de vassouras. O sorgo granífero é utilizado na fabricação de rações e tem valor nutricional pouco inferior ao do

milho. Na indústria, o sorgo granífero é utilizado para a produção de amido, farinha, cerveja, cera, óleo comestível e ainda pode ser misturado ao trigo na fabricação de pão e massas (Ruas et al., 1998).

Nas regiões centro-oeste e sudeste, o sorgo é cultivado em sucessão à soja. No Rio Grande do Sul, é cultivado como cultura de verão e, na região nordeste, nos estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Maranhão, Bahia e Pernambuco, tem se sobressaído como uma cultura viável por possuir resistência ao estresse hídrico (Guimarães et al., 1999, Von Pinho & Vasconcelos, 2002).

A capacidade do sorgo de se adaptar às regiões com menor pluviosidade fez com que fosse cultivado nas regiões do semiárido nordestino e no norte mineiro, apesar de seu cultivo ainda ser maior no centro-oeste, onde os produtores o substituem pelo milho no período mais seco, e no sul do país. No entanto, ao contrário do milho, cujo processo produtivo acompanha a variação cambial, pois o produto é indexado ao dólar, no sorgo, ocorre um acréscimo no preço devido o aumento no uso de insumos para o controle de doenças, comprometendo sua produtividade agrícola (Von Pinho & Vasconcelos, 2002).

Devido à amplitude de condições ambientais em que é cultivado, o sorgo está sujeito ao ataque de várias doenças. Dentre as que atacam esta cultura no Brasil, a antracnose é considerada a principal (Casela et al., 2001; Guimarães et al., 1988; Guimarães et al., 1999).

2.2 A doença

A antracnose do sorgo foi descrita pela primeira vez no oeste da África, em Togo, no ano de 1902 (Pande et al., 1991). Posteriormente, foi detectada no Texas, Estados Unidos, no ano de 1912 (Casela et al., 1997). Atualmente, é encontrada em praticamente todas as regiões produtoras de sorgo no mundo, sendo predominante em regiões de clima quente e úmido, envolvendo os trópicos semiárido, úmido e regiões de clima temperado com temperaturas

elevadas no período do verão (Ali & Warren, 1987; Pande et al., 1991; Pande et al., 1994) incluindo a África, Ásia e as Américas (Sutton, 1980; Alawode et al., 1983). No Brasil, a antracnose do sorgo foi relatada pela primeira vez no estado de São Paulo, em 1934 (Panizzi & Fernandes, 1997) e atualmente está presente em todas as áreas produtoras (Casela et al., 2001).

Perdas na produção de grãos têm sido relatadas em diversos locais onde o sorgo é cultivado, como, por exemplo, nos EUA, onde perdas superiores a 50% foram constatadas em cultivares suscetíveis durante severas epidemias da doença (Harris & Johnson, 1967). Em Porto Rico, as perdas foram superiores a 70% (Powell et al., 1977); na Índia, 16,4% (Mishra & Siradhama, 1979); na Nigéria, foram relatadas perdas em torno de 45% (Neya & Kabore, 1987); no oeste da África, relataram-se perdas acima de 50% (Thomas et al., 1995) e, no Brasil, perdas superiores a 80% foram relatadas (Panizzi & Fernandes, 1997). Segundo Powell et al. (1977), as reduções na produção devido à antracnose, resultaram do incompleto enchimento de grãos.

São conhecidas três fases da doença: a antracnose foliar, a podridão do colmo e a antracnose da panícula e dos grãos (Thakur & Mathur, 2000). A fase foliar da antracnose é mais comum e pode ocorrer em qualquer estágio de desenvolvimento da planta. Nesta fase, os sintomas iniciais são caracterizados por pequenas lesões elípticas a circulares, com diâmetro em torno de 5 mm. Com o crescimento das lesões, elas passam a apresentar centros necróticos de coloração palha, com margens avermelhadas, alaranjadas ou castanhas, variando em função da pigmentação da cultivar. No centro das lesões ocorre a formação dos acérvulos, que é a frutificação assexual típica do patógeno e constitui a principal forma de identificação da doença em condições de campo (Warren, 1986).

A infecção na nervura central da folha ocorre de maneira independente da infecção foliar (Thakur & Mathur, 2000). Nesse caso, os sintomas são

caracterizados por lesões elípticas a alongadas, de coloração avermelhada, púrpura ou escura, nas quais podem ser observados os acérvulos do patógeno. A fase de podridão do colmo ocorre, principalmente, a partir da maturação das plantas e, normalmente, é causada por conídios produzidos na fase foliar da doença. A esporulação ocorre na ráquis central, estendendo-se para as demais ramificações, glumas e sementes. Desse modo, a antracnose foliar prejudica não só o desenvolvimento da planta, mas também causa esterilidade parcial e redução da produção (Warren, 1986; Thakur & Mathur, 2000).

Os sintomas de cancos, caracterizam-se por áreas mais claras circundadas por áreas com pigmentação característica da planta hospedeira. As lesões ocorrem no tecido internodal do colmo, principalmente no pedúnculo, podendo apresentar-se de forma contínua ou na forma de manchas isoladas. Quando o colmo é seccionado longitudinalmente, observa-se uma coloração avermelhada a escura, equivalente à necrose do tecido vascular (Warren, 1986; Casela & Ferreira, 1988; Frederiksen, 2000). A antracnose do colmo, segundo Casela & Ferreira (1988), resulta em perdas e em uma redução considerável na produção de grãos e de forragem.

A infecção da panícula pode ser uma extensão da podridão do colmo. Os sintomas caracterizam-se pela presença, abaixo da epiderme, de lesões que têm, inicialmente, um aspecto encharcado, adquirindo, posteriormente, uma coloração cinza a púrpura avermelhada. Se o pedúnculo é seccionado longitudinalmente, verifica-se a presença de uma coloração castanho-avermelhada, alternada com áreas de tecido esbranquiçado. Panículas de plantas infectadas, normalmente, são menores e amadurecem mais cedo (Warren, 1986).

Perdas indiretas de grãos causadas pela doença ocorrem devido à redução da germinação das sementes e à transmissão da doença nas regiões de cultivo do sorgo. A redução da massa e da densidade de sementes, bem como o abortamento das mesmas, a seca prematura das folhas e a desfolha, são fatores

importantes na queda da produção (Casela & Ferreira, 1988; Pande et al., 1994). Principalmente durante a fase foliar da doença, é produzido o inóculo, que é levado à bainha das folhas por água de chuva, onde infectam o pedúnculo ou a panícula (Guimarães, 1996; Casela & Ferreira, 1998). A antracnose da panícula e dos grãos tem como inóculo, conídios produzidos pelo patógeno.

2.3 O patógeno

Colletotrichum sublineolum Henn. é o agente causal da antracnose do sorgo. A espécie *C. graminicola* é muito semelhante morfológicamente ao *Colletotrichum* do sorgo e isto fez com que essas duas espécies fossem chamadas pelo mesmo nome durante muito tempo. Sutton (1968) propôs a adoção do nome *Colletotrichum sublineolum* para isolados provenientes de sorgo e Crouch et al. (2006) separaram definitivamente os isolados de milho, *C. graminicola* dos isolados do sorgo, *C. sublineolum*, baseando-se em diferenças de sequências de genes, nas áreas dos apressórios e tamanho dos conídios. Huguenin et al. (1982) e Horvath & Vargas, Jr. (2004) verificaram a distinção dessas duas espécies por meio de estudos isoenzimáticos. Sherriff et al. (1994) confirmaram esta distinção comparando e analisando sequências do DNA ribossomal 16S de dez isolados oriundos de três diferentes hospedeiros e Sreenivasaprasad et al. (1994) distinguiram isolados de milho e sorgo por meio de sequências de DNA ITS. Finalmente, Crouch et al. (2009), além de descreveram seis novas espécies de *Colletotrichum* patógenos de gramíneas, confirmaram a distinção entre as espécies *C. graminicola* e *C. sublineolum* por meio de análises morfológicas, sequenciamento, alinhamento e análise filogenética dos genes; ITS, HMG Box, liase (*Apn2*) e superóxido dismutase do tipo manganase (*Sod2*).

C. sublineolum produz frutificações chamadas acérvulos, de coloração escura e formato oval a cilíndrico que podem ser observados no centro de lesões

já desenvolvidas. Os acérvulos apresentam setas de coloração escura e se formam na epiderme e nas cavidades subepidérmicas de ambas as superfícies das folhas e de colmos. Os conidióforos produzidos em grande quantidade no interior dos acérvulos são eretos, hialinos e não septados. Os conídios são falciformes e produzidos terminalmente sobre conidióforos não septados. O fungo apresenta boa esporulação em meio farinha de aveia-ágar (FAA), sob luz contínua e temperatura em torno de 25°C, por 7-8 dias (Casela & Ferreira, 1998). *C. sublineolum* pode sobreviver por períodos prolongados em restos de cultura, na forma de microesclerócios, por até 18 meses (Casela & Frederiksen, 1993), em espécies selvagens de sorgo e sementes infectadas (Thakur & Mathur, 2000). Os conídios produzidos nessas condições constituem a forma primária de inóculo e disseminam-se pelo vento e, principalmente, por respingos de chuva ou de água de irrigação (Costa et al., 2003).

A fase teleomórfica de *C. sublineolum* não é conhecida, enquanto a de *C. graminicola* foi relatada pela primeira vez por Politis (1975), tendo sido denominada *Glomerella graminicola*. Não há relato de ocorrência da fase sexual de *C. graminicola* e *C. sublineolum* em condições naturais (Vaillancourt & Hanau, 1991; Vaillancourt & Hanau, 1994). No entanto, Zanette et al. (2009) realizaram PCR (*Polimerase Chain Reaction*) utilizando os *primers* SKCM1, NcHMG e HMGgram que amplificam os genes (*idiomorfos*) que governam a compatibilidade sexual (*mating type*) em ascomicetos. Os autores verificaram que os genes que estão ligados à característica *mating type* foram amplificados pelo PCR, demonstrando que ambos os *idiomorfos* estão presentes nesta espécie. Segundo os mesmo autores, ocorreu a formação de heterocários nas tentativas de cruzamentos entre as linhagens de tipos sexuais diferentes, mas não foi verificada a formação de peritécios férteis devido a condições ambientais não favoráveis à frutificação sexual dessas linhagens cruzadas.

A possível utilização de mecanismos genéticos para a reprodução, assexual e/ou sexual, por *C. sublineolum*, podem explicar a enorme variabilidade genética apresentada por este patógeno (Souza-Paccola et al., 2003; Zanette et al., 2009).

2.4 Variabilidade do patógeno

C. sublineolum é um patógeno altamente variável. Harris & Johnson (1967) verificaram variações na resistência entre cultivares de sorgo que foram atribuídas à provável existência de raças na população do patógeno. A presença de raças fisiológicas de *C. sublineolum* foi demonstrada pela primeira vez por Nakamura (1984). Cinco raças do patógeno, oriundas de diferentes regiões do Brasil, foram identificadas com base na reação de cinco cultivares diferenciadoras. Posteriormente, sete raças foram identificadas utilizando-se doze cultivares diferenciadoras de sorgo por Ferreira & Casela (1986).

Trabalhos foram realizados mostrando a variação em virulência entre isolados de *C. sublineolum*, utilizando-se séries diferenciadoras em casa de vegetação e campo (Harris & Sowel, 1970; Pastor-Corrales & Frederiksen, 1978; Ali & Warren, 1987; Cardwell et al., 1989; Rosewich et al., 1998, Silva et al., 2008). A identificação de raças do patógeno, bem como de qualquer agente patogênico, é baseada na virulência e/ou na agressividade, em um grupo de cultivares denominadas diferenciadoras (White et al. 1987; Mathur et al., 2000). Casela & Ferreira (1987) selecionaram nove cultivares de sorgo a partir da série diferencial utilizada pelos mesmos autores em 1986 e propuseram um sistema para a classificação de raças deste patógeno, com base no qual 13 raças foram identificadas em 210 isolados provenientes de diferentes regiões do país, entre 1985 e 1987. Marley et al. (2001) caracterizaram 50 isolados de *C. sublineolum* oriundos das regiões de Sahel, Sudão, Nordeste e Sudeste do Guiné, durante o ano de 1997 e os agruparam em sete grupos de patogenicidade (PGs) e nove

grupos morfológicos (MGs). Avaliações posteriores desses isolados quanto à virulência em linhagens de sorgo os separaram em cinco raças, o que levou os autores a concluírem que existem pelo menos cinco raças fisiológicas de *C. sublineolum* na região norte da Nigéria.

Diferenças na capacidade competitiva entre raças de *C. sublineolum* foram verificadas por Casela et al. (2001), ao compararem raças com diferentes níveis de complexidade quanto à virulência.

A diversidade fenotípica de *C. sublineolum* pode ser avaliada por meio de índices de diversidade. Tais índices de diversidade são utilizados para descrever a variabilidade intraespecífica de raças em diferentes populações. Os índices de Shannon e Simpson são baseados na frequência relativa de diferentes fenótipos do patógeno e medem o número de fenótipos distintos da amostra e a uniformidade na sua distribuição. Para comparar duas populações de tamanho variável e que, aparentemente, não diferem entre si pelo grau de dominância dos fenótipos ou quanto ao número de fenótipos, o índice de Shannon pode ser a melhor escolha. No entanto, se o interesse é verificar primeiramente o grau de dominância de determinadas raças na população, recomenda-se utilizar o índice de Simpson, que é mais sensível que o de Shannon. Já o índice de Gleason se baseia apenas no número de fenótipos diferentes obtidos em relação a um determinado número de isolados e o índice de complexidade é baseado na frequência relativa do fenótipo na amostra e seu número de virulências (Groth & Roelfs, 1987; Kolmer 1991; Andrivon & Vallavieille – Poppe, 1995).

Depois da caracterização de 289 isolados por meio da avaliação da virulência a 10 linhagens elites do programa de melhoramento genético da Embrapa Milho e Sorgo, Silva et al. (2008) analisaram a diversidade fenotípica de virulência desses isolados utilizando os índices de diversidade de Shannon, Simpson e Gleason e um índice de complexidade. Estes autores concluíram que houve correlação (r) entre os índices de Shannon e Gleason, mas não entre os

índices de diversidade e de complexidade. Posteriormente, Souza et al. (2008) caracterizaram populações de *C. sublineolum* de cinco locais do Brasil, avaliando a reação de 92 isolados a 3 híbridos comerciais e 2 linhagens de sorgo que foram utilizados como diferenciadoras. O índice de diversidade de Shannon e as perdas dessa diversidade devido a associações de fatores de virulência e desvios no grau de polimorfismo foram estimados. Os autores observaram elevada variabilidade nestes isolados e concluíram que a diversidade de raças encontrada nos locais é um indicativo de que essas áreas podem ser de grande utilidade para a avaliação da estabilidade da resistência de genótipos de sorgo a *C. sublineolum* e para a seleção de combinações de genótipos com resistência a raças de alta virulência, porém, ainda, de baixa a média frequência nas populações.

Devido esta elevada variabilidade genética apresentada por *C. sublineolum*, que resulta na rápida adaptação do patógeno às cultivares resistentes em uso (Casela et al., 2001; Guimarães et al., 1999), uma das alternativas para o controle da antracnose é a utilização da resistência genética na diversificação da população hospedeira (Guimarães et al., 1998). Esta diversificação atua estabilizando a população do patógeno, prevenindo o surgimento de novas raças. Maior grau de diversificação da população do hospedeiro pode ser obtido utilizando-se alternativas para o cultivo de genótipos de sorgo com a finalidade de controlar doenças por meio da resistência genética.

2.4 Controle da antracnose em sorgo por meio de resistência genética

A resistência genética é a mais eficiente e desejável alternativa para o controle de doenças de plantas, pelo fato de combinar vantagens como a diminuição do uso de defensivos com o fato de não onerar os custos de produção, já que sementes de híbridos resistentes possuem o mesmo valor comercial de um suscetível. Além disso, a resistência genética é compatível com

qualquer outra alternativa de controle de doenças. No entanto, a resistência genética nem sempre é durável, em função de possíveis alterações na população de patógeno, o que leva ao problema de não ser possível prever por quanto tempo a resistência de uma cultivar será eficiente após a sua liberação no mercado. A resistência é considerada durável quando uma cultivar plantada em ambiente favorável ao seu desenvolvimento se mantém resistente a um determinado patógeno por um longo período de tempo (Adugna, 2004; Crute & Pink, 1996). Por isso, a eficiência da estratégia de controle de doenças de plantas depende da capacidade de manejo, da variabilidade da população local do patógeno e da necessidade de adaptação de medidas de controle para patógenos de alta variabilidade (Andrivon & Vallavieille-Pope, 1995).

Os genes de resistência podem ser utilizados de duas formas: distribuídos no espaço e no tempo (manejo temporal) ou combinados em um mesmo genótipo (barreiras múltiplas). No manejo temporal, os genes podem ser distribuídos de várias formas, como em mistura de cultivares ou multilinhas numa mesma área (desenvolvimento na fazenda e desenvolvimento regional). As multilinhas e as misturas são baseadas na ocorrência de confronto do patógeno com uma grande diversidade de genes de resistência no hospedeiro (Crute & Pink, 1996; Parlevliet, 1993; Casela et al., 2001) levando à diminuição na severidade da doença. A utilização de misturas de cultivares formadas a partir de genótipos contendo diferentes genes de resistência a antracnose pode ser uma eficiente estratégia para o controle da antracnose do sorgo em regiões produtoras no Brasil. Tal fato já foi verificado no patossistema *Sorghum bicolor*–*Colletotrichum sublineolum*, inicialmente por Guimarães et al. (1998), ao avaliarem a eficiência de misturas de linhagens de sorgo no controle da antracnose e, posteriormente, por Costa et al. (2005).

Redução na severidade da antracnose do sorgo por meio de misturas das linhagens BR009B (suscetível à antracnose), BR008 (parcialmente resistente à

antracnose) e CMSXS210B (resistente à antracnose), que foram semeadas em duas épocas de plantio, demonstrou que a utilização de linhagens com diferentes níveis de resistência ao patógeno, em maiores proporções nas misturas, promoveu proteção efetiva da linhagem suscetível BR009B (Guimarães et al., 1998). Os autores concluíram que misturas de genótipos de sorgo com diferentes níveis de resistência podem ser uma estratégia efetiva para o controle da antracnose por meio da resistência genética.

Variação no nível de resistência de híbridos triplos de sorgo a *C. sublineolum* em função das linhagens utilizadas na sua composição foi observada por Costa et al. (2005). Neste trabalho, todos os híbridos triplos em que a linhagem resistente CMSXS169R foi utilizada como progenitor masculino foram classificados como altamente resistentes. No entanto, ao verificar a capacidade de resposta de *C. sublineolum* à diversidade genética em sorgo, Valério et al. (2004) avaliaram a diversidade fenotípica de populações de *C. sublineolum* desenvolvidas em 39 tratamentos com 9 linhagens de sorgo em misturas e em estandes puros. Estes autores verificaram que, em todas as misturas, houve redução da diversidade fenotípica e aumento na frequência de raças complexas.

Estes resultados podem ser explicados pela provável atuação da seleção estabilizadora contra o acúmulo de virulência desnecessária no patógeno (VanderPlank, 1982). Se este mecanismo de seleção de fato atua no patossistema *S. bicolor-C. sublineolum*, é possível controlar a antracnose utilizando alternativas para o controle de doenças de plantas por meio da resistência genética, tais como rotação e/ou piramidação de genes de resistência, multilinhas isogênicas ou misturas de cultivares (Cardwell et al., 1989).

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRVON, D; DE VALLAVIEILLE-POPE, C. R. Race diversity and complexity in selected populations of fungal biotrophic pathogens of cereals. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 85, n. 5, p. 897-905, May 1995.
- ADUGNA, A. Alternate approaches in deploying for disease resistance in crop plants. **Asian Journal of Plants Sciences**, Lasani Town, v. 3, n. 5, p. 618-623, 2004.
- ALAWODE, D. A.; MANZO, S. K.; SUNDARAM, N. V. Anthracnose of sorghum in northern Nigeria caused by *Colletotrichum graminicola*. **Ahmadu Bello University Sorghum Pathology Report**, Zaria, 1983.
- ALI, M. E. K.; WARREN, H. L. Physiological races of *Colletotrichum graminicola* on sorghum. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 71, n. 5, p.402-404, May 1987.
- BROWNING, J. A.; FREY, K. J. Multiline cultivars as a means of disease control. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 7, n. 1, p. 355-382, Sept. 1969.
- CARDWEL, K.F.; HEPPELRY, P.R.; FREDERICKISEN, R. A. Pathotypes of *Colletotrichum graminicola* and transmission of sorghum anthracnose. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 73, n. 3, p. 255-257, Mar. 1989.
- CASELA, C. R.; FREDERIKSEN, R. A. Survival of *Colletotrichum graminicola* sclerotia in sorghum stalk residues. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 77, n. 8, p. 825-827, Aug. 1993.
- CASELA, C. R.; FREDERIKSEN, R. A. Pathogenic variability in monoconidial isolates of the sorghum anthracnose fungus *Colletotrichum graminicola* from single lesion and from monoconidial cultures. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 2, p. 149-153, mar. 1994.
- CASELA, C. R.; PINTO, M. F. J. de A.; OLIVEIRA, E. de; FERREIRA, A. S. Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench): controle de doenças. In: VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Controle de doenças de plantas**. Viçosa, MG: UFV, 1997, p.1025-1064.

CASELA, C. R.; FERREIRA, A. S. **Antracnose do sorgo (*Colletotrichum graminicola*)**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1998. 19p. (Circular Técnica, 28).

CASELA, C. R.; FERREIRA, A. S. Reação de genótipos de sorgo a sete patótipos de *Colletotrichum graminicola*, agente causal da antracnose. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 12, n. 1, p. 60-62, jan. 1987.

CASELA, C. R.; FERREIRA, A. S.; FREDERIKSEN, R. A. Evidence for dilatory resistance to anthracnose in sorghum. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 77, n. 7, p. 908-911, Sept. 1993.

CASELA, C. R.; FERREIRA, A. S.; SANTOS, F. G. Differences in competitive ability among races of *Colletotrichum graminicola*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 2, p. 217-219, jun. 2001.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra 2004/2005, 2007/2008, 2008/2009**. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 5 jul. 2009.

COSTA, R. V.; CASELA, C. R.; ZAMBOLIM, L.; SANTOS, F. G.; VALE, F. X. R. Evaluation of genetic mixtures of sorghum lines for anthracnose resistance management. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 5, p. 525-526, set./out. 2005.

COSTA, R. V.; CASELA, C. R.; ZAMBOLIM, L. FERREIRA, A. S. A Antracnose do Sorgo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 4, p. 345-354, ago. 2003.

CRILL, P.; HAM, Y. S.; BEACHELL, H. M. The rice blast disease in Korea and its control with race prediction and gene rotation. **Korean Journal of Breeding**, Suwon-si, v. 13, n. 2, p. 106 -114, 1982.

CROUCH, J. A.; CLARCK, B. B.; HILMAN, B. I. Unraveling Evolutionary Relationships Among the Divergent Lineages of *Colletotrichum* Causing Anthracnose Disease in Turfgrass and Corn. **Phytopathology**, Saint Paul, v.96, n. 2, p. 46-60, Feb. 2006.

CROUCH, J. A.; CLARKE, B. B.; WHITE JR., J. F.; HILLMAN, B. I. Systematic analysis of the falcate-spored gramminicolous *Colletotrichum* and a description of six new species from warm-season grasses. **Mycologia**, New York, v. 101, n. 5, p. 717-732, Sept. 2009.

CRUTE, I. R.; PINK, D.A. Genetics and utilization of pathogen resistance in plants. **The Plant Cell**, Rockville, v. 8, n. 10, p. 1747-1755, Oct. 1996.

FERREIRA, A. S.; CASELA, C. R. Raças Patogênicas de *Colletotrichum graminicola*, Agente Causal da Antracnose Em Sorgo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 11, n. 1, p. 83-87, mar. 1986.

FREDERIKSEN, R. A. **Compendium of Sorghum diseases**. Saint Paul: American Phytopathological Society, 2000.

GROTH, J. V.; ROELFS, A. P. The concept and measurement of phenotypic diversity in *Puccinia graminis* on wheat. **Phytopathology**, Saint Paul, v.77, n.10, p. 1395-1399, Oct. 1987a.

GUIMARÃES, F. B. ; CASELA, C. R. ; SANTOS, F. G. ; FERREIRA, A. S. Controle da antracnose do sorgo através da utilização de mistura de cultivares. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 24, n. 2, p. 131-135, abr./jun. 1998.

GUIMARÃES, F. B. **Resistência dilatória à antracnose (*Colletotrichum graminicola* (Ces.) Wilson) do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)**. 1996. 51p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

GUIMARÃES, F. B.; CASELA, C. R.; SANTOS, F. G.; PEREIRA, J. C. R.; FERREIRA, A. S. Avaliação da resistência de genótipos de sorgo a antracnose. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 25, n. 4, p 308-312, out./dez. 1999.

HARRIS H. B.; SOWELL, G. J. Incidence of *Colletotrichum graminicola* on *Sorghum bicolor* introductions. **Plant Disease Reporter**, Washington, v. 54, n. 1, p. 60-62, 1970.

HARRIS, H. B.; JONHSON, R. *Sorghum* anthracnose symptoms, importance and resistance. In: BIEN GRAIN SORGHUM RESEARCH AND UTILIZATION CONFERENCE, 5., 1967, Lubbock. **Proceedings...** Lubbock: Grain sorghum Producers Association, 1967. p. 48-52.

HORVATH, B. J.; VARGAS JÚNIOR, J. M. Genetic variation among *Colletotrichum graminicola* isolates from four hosts using isozyme analysis. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 88, n. 4, p. 402-406, Apr. 2004

HUGUENIN, B.; LOURD, M.; GEIGER, J. P. Comparison between isolates of *Colletotrichum falcatum* and *Colletotrichum graminicola* on the basis of their morphological, physiological and pathogenic characteristics.

Phitopathologische Zeitschrift, Berlin, v. 105, n. 4, p. 293-304, Apr. 1982.

KOLMER, J. A. Phenotypic diversity in two populations of *Puccinia recondite* f.sp. *tritici* in Canada during 1931-1987. **Phytopathology**, Saint Paul, v.1, n.3, p. 311-315, Mar. 1991.

MARLEY, P.S.; THAKUR R.T.; AJAYI, O. Variation among foliar isolates of *Colletotrichum sublineolum* of sorghum in Nigeria. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 69, n. 2, p.133-142, Feb. 2001.

MATHUR, K.; THAKUR, R. P.; NEYA, P. S.; MARLEY, P. S.; CASELA, C. R. Sorghum anthracnose-problem and management strategies. In: GLOBAL 2000: SORGHUM AND MILLET DISEASES 3., 2000, Guanajuato.

Proceedings... Guanajuato: Sorghum and Millet International Research. Instormil, 2003. p. 211-220.

MISHRA, A.; SIRADHAMA, B.S. Evaluation of losses due to anthracnose of sorghum. **Indian Journal of Mycology and Plant Pathology**, Udaipur, v. 9, p. 257, 1979.

NAKAMURA, K. **Especialização Fisiológica em *Colletotrichum graminicola* (Ces.) Wils. (Sensu Arx., 1957) Agente Causal da Antracnose em Sorgo.** 1984. 143 p. Tese (Livre Docência) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

NELSON, R. R. **Breeding plants for disease resistance: concepts and applications.** Pennsylvania: Pennsylvania State University, 1973. 401p.

NEYA, A.; KABORE, K. B. Mesure de l'incidence de l'antracnose et de la pourriture rouge des tiges causes par le *Colletotrichum graminicola* chez le sorgho. **Phytoprotection**, Saint-Hyacinthe, v. 68, n. 1, p. 121-123, 1987.

PANDE, S.; MUGHOGHO, L. K.; BANDYOPADHYAY, R.; KARUNAKAR, R. I. Variation in pathogenicity and cultural characteristics of sorghum isolates of *Colletotrichum graminicola* in India. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 75, n. 7, p. 778-783, July 1991.

PANDE, S.; THAKUR, R. P.; KARUNAKAR, R. I.; BANDYOPADHYAY, R.; REDDY, B. V. S. Development of screening methods and identification of stable resistance to anthracnose in sorghum. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 38, n. 2, p.157-166, Feb. 1994.

PANIZZI, R. C.; FERNANDES, N. G. Doenças do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). In: CAMARGO, E. A.; REZENDE, J. A. M. (Ed.). **Manual de Fitopatologia: doenças das Plantas Cultivadas**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1997. v. 2, p.676-689.

PARLEVLIT, J. E. What's durable resistance, a general outline. In: JACOBS, T.H.; PARLEVLIT, J. E. **Durability of disease resistance**. Kluwer: Academic, 1993. p. 23-39.

PASTOR-CORRALES; FREDERIKSEN, R. A. Sorghum anthracnose. In: INTERNATIONAL WORKSHOP OF SORGHUM DISEASE, 1978, Hyderabad. **Proceedings...**Andhra Pradesh: ICRISAT, 1978. p. 289-294.

POLITIS, D. J. The identity and perfect state of *Colletotrichum graminicola*. **Mycologia**, New York, v. 67, n. 1, p. 56-62, Jan./Feb. 1975.

POWELL, P.; ELLIS, M.; ALAMEDA, M.; SOTOMAYOR, A. Effect of natural anthracnose epiphytotics on yield, grain quality, seed health, and seed borne fungi in *Sorghum bicolor*. **Sorghum Newsletter**, Patancheru, v. 20, p. 77-78, 1977.

ROSEWHICH, U. L.; PETTWAY, R. E.; MCDONALD, B. A.; DUNCAN, R. R.; FREDERIKSEN, R. A. Genetic structure and temporal dynamics of a *Colletotrichum graminicola* population in a sorghum disease nursery. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 88, n. 11, p.1087-1093, Nov. 1998.

RUAS, D. G. G.; GARCIA, J. C.; TEIXEIRA, N. M. **Recomendações técnicas para o cultivo do sorgo**. 3. ed. Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, 1988. 80p. (Circular Técnica, 1).

SCHAFFERT, R. E.; RIBAS, P. M. **Seminário Temático sobre Sorgo: pesquisa, desenvolvimento e agro negócio**. Realizado de 16 a 17 de julho de 2001, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. 52p., 2001. (Documento, 14).

SHERIFF, C.; WHELAN, M. J.; ARNOLD, G. M.; LAFAY, J. F.; BRYGOO, I.; BAILEY, J. A. Ribosomal DNA sequence analysis reveals new species grouping in the genus *Colletotrichum*. **Experimental Mycology**, Orlando, v. 18, n. 2, p. 121-138, June 1994.

SILVA, D. D. CASELA, C. R.; CASTRO, H. A.; SANTOS, F. G.; FERREIRA, A. S. Diversidade populacional de *Colletotrichum sublineolum* em seis localidades no Brasil. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 34, n. 2, p. 149-155, abr./jun. 2008.

SOUZA, B. O.; CASELA, C. R.; COSTA, R. V. Associações de virulência e diversidade fenotípica de *Colletotrichum sublineolum* em diferentes regiões do Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 27, 2008, Londrina. **Resumos...** Londrina, IAPAR: 2008. p. 129.

SOUZA-PACCOLA, E. A.; FÁVARO, L. C. L.; CASELA, C. R.; PACCOLA-MEIRELLES, L. D. Genetic recombination in *Colletotrichum sublineolum*. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 151, n. 6, p. 329-334, June 2003.

SREENIVASAPRASAD, S.; MILLS, P. R.; BROWN, A. E. Nucleotide sequence analysis of the rDNA spacer 1 enables identification of isolates of *Colletotrichum* as *C. acuntatum*. **Mycological Research**, Cambridge, v. 98, n. 2, p.186-188, Feb. 1994.

SUTTON, B. C. The appressoria of *Colletotrichum graminicola* and *C. falcatum*. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 46, p.873-876, 1968.

SUTTON, B.C. **The coelomycetes: fungi imperfecti with pycnidia, acervuli and stromata**. London: Commonwealth Mycological Institute, 1980. 696p.

TAPSOBA, H.; WILSON, J. P. Increasing complexity of resistance in host populations through intermating to manage rust of pearl millet. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 89, n. 6, p. 450-455, June 1999.

THAKUR, R.; MATHUR, K. Anthracnose. In: FREDERIKSEN, R. A.; ODVODY, G. **Compendium of sorghum diseases**. 2. ed. Saint Paul: American Phytopathological Society, 2000. p. 10-12.

THOMAS, M. D.; SISSOKO, I.; SACKO, M. Development of leaf anthracnose and its effect on yield and grain weight of sorghum in West Africa. **Plant Disease** v. 79, n. 2, p. 151-153, Feb. 1995.

VAILLANCOURT, L. J.; HANAU, R. M. A method for genetic analysis of *Glomerella graminicola* from maize. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 81, n. 5, p. 530-534, May 1991.

VAILLANCOURT, L. J.; HANAU, R. M. Nitrate non-utilizing mutants used to study heterokaryosis and vegetative compatibility in *Glomerella graminicola* (*Colletotrichum graminicola*). **Experimental Mycology**, Orlando, v. 18, n. 4, p. 311-319, Dec. 1994.

VALÉRIO, H. M.; CASELA, C. R.; RESENDE, M. A. R.; SANTOS, F. G.. Variability of the anthracnose fungus *Colletotrichum graminicola* in sorghum genotype mixtures. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 5, p.567-569, set./out. 2004.

VANDERPLANK, J. E. **Disease resistance in plants**. New York: Academic, 1968. 206p.

VANDERPLANK, J. E. **Host-pathogen interaction in plant disease**. New York: Academic, 1982. 207 p.

VON PINHO, R. G.; VASCONCELOS, R. C. **Cultura do Sorgo**. Lavras: UFLA/FAEPE. 2002. 76p. (Texto Acadêmico).

WARREN, H. L. Leaf anthracnose. In: FREDERIKSEN, R.A. (Ed.). **Compendium of Sorghum Diseases**. Saint Paul: American Phytopathological Society, 1986. p. 10-11.

WHITE, D.G.; YANNEY, J.; ANDERSON, B. Variation in pathogenicity, virulence and aggressiveness of *Colletotrichum graminicola* on corn. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 77, n.7, p. 999-1001, July 1987.

WOLFE, M. S. The current status and Prospects of multiline cultivars and variety mixtures for disease resistance. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 23, n. 1, p. 251-273, Sept. 1985.

ZANETTE, G. F.; NÓBREGA, G. M. A.; MEIRELLES, L. D. P. Morphogenetic characterization of *Colletotrichum sublineolum* strains, causal agent of anthracnose of Sorghum. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 3, p. 146-151, maio/jun. 2009.

CAPÍTULO 2

PROTEÇÃO DO HÍBRIDO BRS304 POR MEIO DE MISTURAS DE CULTIVARES

RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a eficiência de misturas de dois híbridos de sorgo, um resistente (IG150) e um suscetível (BRS304), como alternativa de manejo da antracnose. Os experimentos foram conduzidos em Sete Lagoas e em Indianópolis, MG. Foram realizados quatro plantios, dois no verão e dois na safrinha, com os híbridos em misturas, em diferentes proporções e em estandes puros. A variedade BR009 foi utilizada como testemunha suscetível. Para a avaliação da severidade da antracnose, foram marcadas seis plantas por fileira nas parcelas experimentais. As avaliações foram em intervalos semanais, com base na escala de notas estabelecida por Sharma e modificada com notas de 1 a 13. No final do ciclo de cada plantio, as parcelas foram colhidas e foi obtido o peso seco dos grãos de sorgo. Para determinar a capacidade de cada mistura e dos estandes puros em limitar o progresso da epidemia, foi calculada a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). Todas as plantas avaliadas do híbrido suscetível BRS304 nos tratamentos em misturas com o resistente IG150 apresentaram nível de severidade da doença inferior ao das plantas avaliadas do estande puro com a cultivar suscetível e do estande com a testemunha. O aumento da proporção da cultivar resistente nas misturas resultou em redução da AACPD. As misturas dos híbridos IG150 e BRS304 foram eficientes no controle da antracnose do sorgo nos plantios avaliados, no entanto, as mais eficientes na redução da doença não foram as mais produtivas. Portanto, ocorreu maior proteção conferida pela cultivar resistente IG150 em misturas, em maiores proporções com a cultivar suscetível BRS304, não sendo as misturas efetivas para a estabilização e o aumento de produtividade da cultivar BRS304 em relação ao seu estande puro.

Palavras chave: controle de doença de planta; resistência genética; cultivar BRS304.

ABSTRACT

This study aimed at evaluating the efficacy of two sorghum hybrid mixture, one resistant (IG150) and one susceptible (BRS304) as an alternative for anthracnose management. The experiments were conducted in Sete Lagoas and Indianapolis, MG. Four croppings were performed, two in the summer and two in between planting seasons, with the hybrids in a mixture in different proportions and in pure stands. The BR009 cultivar was used as susceptible control. To assess the anthracnose severity six plants were marked per row in the experimental plots. Evaluations were performed at weekly intervals, based on the grading scale established by Sharma and modified with notes 1 to 13. At the end of each planting cycle, plots were harvested, and the dry weight of sorghum grain was obtained. To determine the ability of each mixture and pure stands in limiting the progress of the disease epidemics, we calculated the area under the disease progress curve (AUDPC). All the susceptible hybrid plants in mixture with the resistant ones, had severity levels less than that of plants found in pure stand with the susceptible cultivar and the control stand. The increase in the proportion of the resistant cultivar in the mixtures resulted in reduction of AUDPCs. Mixtures of the hybrids IG150 and BRS304 were effective in controlling anthracnose in the evaluated sorghum fields, however, the most effective in reducing the disease were not the most productive. Therefore, there is greater protection afforded by IG150 resistant cultivar mixtures, scaled with the susceptible cultivar mixtures BRS304 is not effective for the stabilization and improvement productivity of BRS304 cropping compared to its exclusive use.

Keywords: control of plant disease; genetic resistance; BRS304 cultivar.

1 INTRODUÇÃO

A antracnose é a principal e mais severa doença do sorgo no Brasil. A doença, sob condições favoráveis, ocorre em todas as regiões de plantio do sorgo no Brasil e pode causar severas perdas em cultivares suscetíveis. O uso de cultivares resistentes é a estratégia mais eficiente e econômica para o controle da antracnose. No entanto, a variabilidade apresentada por *C. sublineolum* nas condições brasileiras permite ao patógeno uma rápida adaptação à resistência presente nas cultivares comerciais (Casela & Ferreira, 1998; Silva et al., 2008).

Uma das alternativas para dificultar a rápida adaptação de patógenos de alta variabilidade à resistência genética do hospedeiro é a diversificação da população hospedeira que pode ser realizada por meio do uso de multilinhas numa mesma área ou de misturas de cultivares na forma de linhas não isogênicas (Groenewegen & Zadoks, 1979; Lannou & Mundt, 1996; Wolfe, 1985). As multilinhas e as misturas são baseadas na ocorrência de confronto do patógeno com uma grande diversidade de genes de resistência no hospedeiro (Crute & Pink, 1996; Parlevliet, 1993; Casela et al., 2001), levando à diminuição na severidade da doença. Tal fato já foi verificado no patossistema *Sorghum bicolor*–*Colletotrichum sublineolum*, por Guimarães et al. (1998), ao avaliarem a eficiência de misturas de linhagens de sorgo para controle da antracnose no Brasil e por Costa et al. (2005).

O uso de misturas é preferido a multilinhas em culturas anuais porque seus componentes são diferentes em muitas características, principalmente em relação à resistência a doenças, podendo também proteger as plantas contra outros estresses (Browning & Frey, 1969). Além disso, o controle da doença é alcançado com menor custo para o produtor (Sifuentes Barrera & Frederiksen,

1994) e se obtêm populações mais estáveis quando comparadas a lavouras formadas por cultivares geneticamente uniformes (Wolfe, 1985).

Na cultura do sorgo, Sifuentes Barrera & Frederiksen (1994) obtiveram controle eficiente da queima foliar causada por *Exserohilum turcicum* com a utilização de híbridos experimentais misturados em diferentes proporções. Neste trabalho, os autores utilizaram dois híbridos de sorgo com diferentes níveis de resistência e verificaram que a adição de 1% do híbrido resistente na mistura reduziu em 0,4% o progresso da doença no híbrido suscetível. Além disso, as misturas tiveram efeito significativo sobre a produção do híbrido suscetível, mas não no híbrido resistente. Um acréscimo de 1% do híbrido resistente à mistura aumentou em 0,55% da produção do híbrido suscetível.

Foi observada redução na severidade da antracnose do sorgo na medida em que aumentou a proporção de linhagens resistentes nas misturas (Guimarães et al., 1998). Posteriormente, Costa et al. (2005) verificaram uma variação no nível de resistência de cultivares de sorgo. Estes autores constataram que as linhagens em misturas contribuíram diferentemente na resistência genética em relação a cada híbrido triplo e todos aqueles em que a linhagem resistente CMSXS169R foi utilizada como progenitor masculino.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a eficiência de misturas de dois híbridos de sorgo, um resistente (IG150) e um suscetível (BRS304), em diferentes proporções, na redução da antracnose do sorgo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Locais e condução dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos em dois locais, Sete Lagoas, MG (Latitude; -19° 27' 57" e Longitude; 44° 14' 48"), na Embrapa Milho e Sorgo e Indianópolis, MG (Latitude; -19° 02' 19" e Longitude; 47° 55' 01"), na área experimental da Dow Agrosiences. Foram realizados quatro plantios com híbridos de sorgo da Embrapa e da Dow Agrosiences. Os plantios I e II foram realizados no verão, em Sete Lagoas e em Indianópolis, respectivamente, no mês de novembro de 2007 e foram conduzidos sob condições de epidemia natural. Os plantios III e IV foram realizados na safrinha, em Sete Lagoas, em março de 2008, sob epidemia natural e foram inoculados em abril do mesmo ano. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três repetições, utilizando-se dois híbridos de sorgo BRS304 e IG150 semeados em estandes puros e em misturas, mais um tratamento com a variedade de sorgo suscetível à antracnose BR009, que foi utilizada como testemunha, num total de seis tratamentos (Tabela 1).

TABELA 1 Proporções de sorgo semeadas nas parcelas experimentais (estandes).

Tratamentos	Proporções de sementes
₁ 1. BRS304	100%
₄ 2. BRS304 + IG150	75%+25%
₄ 3. BRS304 + IG150	50%+50%
₄ 4. BRS304 + IG150	25%+75%
₂ 5. IG150	100%
₃ 6. BR009	100%

₁estande puro do híbrido suscetível; ₂estande puro do híbrido resistente; ₃estande puro da testemunha suscetível; ₄misturas.

Para se estabelecer as proporções na Tabela 1, foram realizados ajustes do número de sementes de cada híbrido com base no peso e na porcentagem de germinação de cada um.

As parcelas experimentais dos plantios I, II e IV foram constituídas por duas fileiras de 8,0m de comprimento e do plantio III por duas fileiras de 5,0m. O espaçamento foi de 0,9m entre fileiras. As parcelas experimentais foram separadas entre si por fileiras de plantas de milho (não hospedeiro de *Colletotrichum sublineolum*), de modo a se evitar ao máximo uma possível interferência entre parcelas (Figura 1).

O inóculo artificial dos plantios III e IV foi constituído de quatro isolados pré-selecionados. Estes isolados apresentaram o seguinte padrão de virulência: um virulento às cultivares BRS304 e IG150, um virulento à BRS304 e não a IG150, o outro virulento a IG150 e não a BRS304 e um avirulento às duas cultivares. O inóculo dos isolados foram misturados para o ajuste da concentração final de $1,2 \times 10^6$ conídios/mL, em um volume de 10L de água destilada e esterilizada. Este volume final com a suspensão de esporos foi

inoculado por meio de aspersão, em fileiras, com a variedade BR009 presente no campo, à frente de cada parcela experimental (Figura 1).

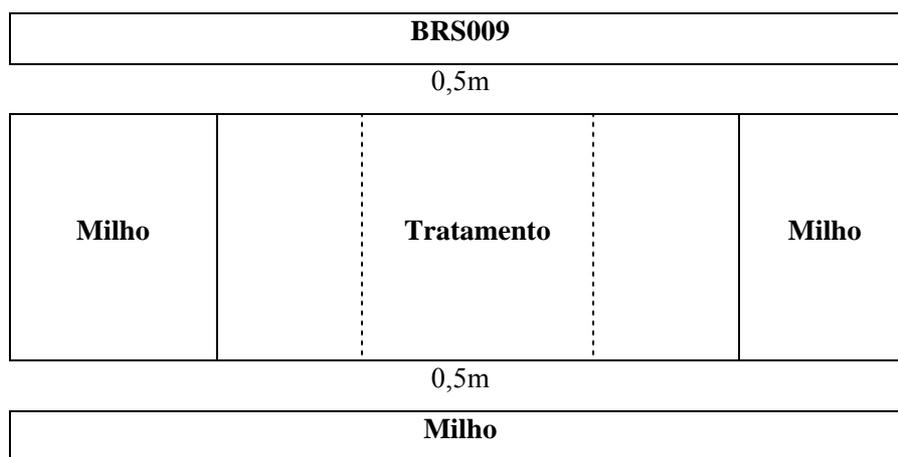


FIGURA 1 Detalhe da parcela experimental utilizada na avaliação da eficiência de misturas na redução da antracnose do sorgo.

2.2 Características avaliadas

Para a avaliação da severidade da antracnose foram marcadas seis plantas por fileira, aleatoriamente, nos estandes puros e com as misturas. Seis avaliações da área foliar afetada pela doença nessas plantas marcadas foram realizadas nos plantios a partir de 57 dias após a semeadura. Estas avaliações foram realizadas em intervalos semanais, com base na escala de notas estabelecida por Sharma (1983), modificada com notas de 1 a 13 (Casela, comunicação pessoal) e utilizada por Guimarães et al. (1998).

em que

- nota 1 – folha sadia;
- nota 2 – 2% de área foliar doente;
- nota 3 – 5% de área foliar doente;
- nota 4 – 10% de área foliar doente;
- nota 5 – 20% de área foliar doente;
- nota 6 – 30% de área foliar doente;
- nota 7 – 40% de área foliar doente;
- nota 8 – 50% de área foliar doente;
- nota 9 – 60% de área foliar doente;
- nota 10 – 70% de área foliar doente;
- nota 11 – 80% de área foliar doente;
- nota 12 – 90% de área foliar doente;
- nota 13 – 100% de área foliar doente.

No final do ciclo de cada plantio, as parcelas experimentais foram colhidas e o peso seco dos grãos em gramas foi obtido de cada tratamento. A produção dos tratamentos foi obtida por meio da transformação do peso dos grãos em gramas por parcela (g/parcela) para kilogramas por hectare (kg/ha).

2.3 Análises e interpretação dos resultados

Foi analisado o ganho real na redução de severidade dos tratamentos com as misturas por meio da diferença de severidade da doença entre os estandes puros com BRS304 e testemunha, e as misturas. Para determinar a capacidade de cada mistura e dos estandes puros em limitar o progresso da epidemia, os dados de severidade foram transformados em área abaixo da curva

de progresso da doença (AACPD) (Shanner & Finney, 1977), utilizando-se o programa AVACPD, desenvolvido por Torres & Ventura (1991). Sendo:

$$\text{AACPD} = \sum [(Y_{i+1} + Y_i)] / 2 \times [T_{i+1} - T_i],$$

em que

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

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

T_i = época da avaliação i , em número de dias após a semeadura das plantas;

T_{i+1} = época da avaliação $i+1$.

Foi realizada uma análise de variância conjunta dos dados de AACPD e produção dos tratamentos, seguindo os procedimentos descritos por Ramalho et al. (2005).

Estimaram-se também as equações de regressão entre a variável independente X (número de dias após a semeadura dos tratamentos) e a variável Y (notas de severidade da antracnose).

Os dados foram analisados segundo a metodologia convencional de análise de variância, utilizando-se o programa Statistical Analyses System (SAS). As comparações entre as médias foram realizadas utilizando-se o teste Scott Knott, a 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS

Nos plantios I, II, III e IV, todas as plantas avaliadas do híbrido suscetível BRS304 nos tratamentos em misturas com o resistente IG150 apresentaram nível de severidade avaliada pela área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) inferior ao das plantas do estande puro com o híbrido suscetível BRS304 e do estande com a testemunha BR009. Nas duas épocas de cultivo, o estande puro da cultivar BRS304 apresentou a maior AACPD, que foi inferior à da testemunha BR009. O aumento da proporção do híbrido resistente às misturas resultou em redução da AACPD, nas duas épocas de cultivo (Tabela 2).

A mistura mais eficiente na redução da curva de progresso da doença foi a com 25% da cultivar suscetível em sua composição. No verão, foram verificadas maiores AACPDs se comparadas às da safrinha. As misturas com 25% e 50% da cultivar BRS304 foram mais eficientes na redução de quantidade de doença nas duas épocas de cultivo (Tabela 2).

Nos plantios de safrinha, os tratamentos com as misturas diferiram do estande puro suscetível em relação à AACPD. Nesta mesma época de cultivo, o tratamento com 50% de BRS304 apresentou o menor valor médio dessa estimativa e as misturas e o estande puro resistente diferiram do estande puro suscetível e da testemunha BR009 (Tabela 2).

Nas duas épocas de cultivo do sorgo, os tratamentos mais eficientes na redução da doença não foram os mais produtivos. Não houve efeito estatisticamente significativo em produção do híbrido IG150 ao híbrido BRS304, em misturas. No entanto, com exceção dos plantios de safrinha, em que, no plantio IV, ocorreu alta incidência da “ergot” ou doença açucarada do

sorgo, todos os tratamentos apresentaram produtividade superior à da testemunha suscetível BR009 (Tabela 2).

TABELA 2 Produção dos tratamentos (kg/hectare) e áreas abaixo da curva de progresso da antracnose do sorgo, nas épocas de verão e safrinha, em Sete Lagoas e Indianópolis, MG.

Tratamento	Verão ₁		Safrinha ₂	
	Prod. ₃	AACPD ₄	Prod. ₃	AACPD ₄
100% IG150	2454,70a	247,33a	1345,87a	751,33a
25% BRS304 + 75% IG150	1848,33a	353,33a	1607,85a	900,00a
50% BRS304 + 50% IG150	2061,43a	584,33b	1534,11a	923,67a
75% BRS304 + 25% IG150	2140,98a	877,17b	1580,42a	941,33a
100% BRS304	2554,14a	1166,83c	1729,84a	1309,67b
Testemunha BR009	876,23b	1776,00d	1282,48a	1507,00b

₁plantios de verão em Sete Lagoas e Indianópolis; ₂plantios de safrinha em Sete Lagoas. ₃produção; ₄área abaixo da curva de progresso da doença. Médias de tratamentos seguidas das mesmas letras não diferem, pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

As misturas com 25% e com 50% do híbrido suscetível misturado ao resistente foram as mais eficientes na redução de severidade de doença, em relação ao estande puro do híbrido suscetível. Observou-se que a mistura com 75% da cultivar resistente reduziu a severidade da antracnose nos plantios I e IV em 63,81% e 22,97%, respectivamente. Já a proporção de 50% BRS304 + 50% IG150 foi mais eficiente no plantio II, em Indianópolis e no plantio III, em Sete Lagoas (Tabelas 3 e 4).

TABELA 3 Redução na severidade da antracnose do sorgo nas misturas de híbridos, em relação aos materiais suscetíveis.

Plantio	Mistura		Estande puro		Redução de severidade
	Tratamento	Sev ₃	Tratamento	Sev ₃	
₁ I	2	25,07	5	88,88	63,81*
	3	53,67	5	88,88	35,21*
	4	63,31	5	88,88	25,57
	2	25,07	6	98,36	73,29
	3	53,67	6	98,36	44,69
	4	63,31	6	98,36	35,05
₂ II	2	71,53	5	100,00	28,47*
	3	47,00	5	100,00	53,00*
	4	82,25	5	100,00	17,75
	2	71,53	6	99,56	28,03
	3	47,00	6	99,56	52,56
	4	82,25	6	99,56	17,75

*maiores reduções de severidade. ₁plantio de verão em Sete Lagoas; ₂plantio de verão em Indianópolis; ₃severidade da doença, em porcentagem (%).

TABELA 4 Redução na severidade da antracnose do sorgo nas misturas de híbridos, em relação aos materiais suscetíveis.

Plantio	Mistura		Estande puro		Redução de severidade
	Tratamento	Sev ₂	Tratamento	Sev ₂	
I ^{III}	2	26,89	5	52,52	25,63*
	3	16,79	5	52,52	35,73*
	4	38,29	5	52,52	14,23
	2	26,89	6	81,36	54,47
	3	16,79	6	81,36	64,57
	4	38,29	6	81,36	43,07
I ^{IV}	2	45,58	5	68,55	22,97*
	3	53,54	5	68,55	15,01*
	4	57,07	5	68,55	11,48
	2	45,58	6	68,84	23,26
	3	53,54	6	68,84	15,30
	4	57,07	6	68,84	11,77

*maiores reduções de severidade. ₁plantios de safrinha em Sete Lagoas; ₂severidade da doença, em porcentagem (%).

As equações de regressão, linear e quadrática, entre o número de dias após a semeadura dos plantios em cada época de avaliação e as notas médias das avaliações de severidade dos tratamentos, estão apresentadas na Tabela 5. Constatou-se que os coeficientes de determinação foram elevados, todos acima de 0,90, evidenciando que as equações quadráticas explicariam o progresso da doença, com exceção do tratamento 3, na época do verão e que equações de regressão linear explicariam o progresso da antracnose, exceto o da testemunha, na safrinha (Tabela 5).

TABELA 5 Coeficientes da equação de regressão entre a época de avaliação e a nota de severidade de antracnose, e as notas médias das avaliações para as misturas dos híbridos e estandes puros no verão e na safrinha.

Tratamento	Verão					Safrinha						
	b ₀	b ₁	b ₂	P<0,05	R ²	Notas	b ₀	b ₁	b ₂	P<0,05	R ²	Notas
₁ 1	6,049	0,1595	0,0013	**	0,986	1,603a	0,3272	0,0329		**	0,951	2,126a
₂ 2	5,883	0,1556	0,0013	**	0,985	1,758a	0,3543	0,0346		**	0,995	2,226a
₂ 3	1,677	0,0484		**	0,992	1,926b	0,8726	0,0413		**	0,990	2,205a
₂ 4	1,241	0,0361	0,0006	*	0,993	2,126c	0,3232	0,0350		**	0,986	2,289a
₃ 5	1,505	0,0482	0,0008	*	0,982	2,310c	0,3057	0,0378		**	0,992	2,514b
₄ 6	5,765	0,1674	0,0007	*	0,968	2,686d	3,6244	0,0550	0,0005	*	0,976	2,663b

₁estande puro resistente com IG150; ₂estandes com as misturas; ₃estande puro suscetível com BR304; ₄estande puro com a testemunha BR009. **altamente significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade; *significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade. Médias de tratamentos seguidas da mesma letra não diferem, pelo teste Scott Knott, a 5% de probabilidade.

3 DISCUSSÃO

A utilização do híbrido resistente IG150 em misturas, em diferentes proporções, com a suscetível BRS304, reduziu a antracnose do sorgo ao diminuir a severidade da epidemia verificada por meio da transformação dos dados em área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). Observação similar foi feita por Sifuentes Barrera & Frederiksen (1994), que foram os primeiros a avaliar misturas de cultivares no controle de doenças de sorgo. Eles obtiveram o controle da queima foliar causada por *Exserohilum turcicum* com a utilização de híbridos experimentais em misturas, em diferentes proporções.

No presente trabalho, as misturas com o híbrido suscetível e o híbrido resistente, se comparadas ao estande puro suscetível, reduziram a severidade da antracnose em até 63,81%. Resultados semelhantes foram obtidos por Guimarães et al. (1998), ao avaliarem estandes com misturas das linhagens BR009B (suscetível à antracnose), BR008 (parcialmente resistente a antracnose) e CMSXS210B (resistente a antracnose). Estes autores verificaram que os estandes com essas misturas, quando comparados com os das populações geneticamente homogêneas, reduziram a severidade da doença em até 78%.

O aumento de um genótipo resistente em misturas pode atuar como barreira física à dispersão de inóculo do patógeno (Mundt, 2002). Neste trabalho, a maior proteção conferida pelo híbrido resistente deveu-se a menor proporção de unidades genotípicas suscetíveis nas misturas. A barreira física (proteção física) proporcionada pelo híbrido resistente IG150 diminuiu a possibilidade do inóculo do patógeno atingir o híbrido suscetível BRS304. Sendo assim, essa proteção foi mais acentuada nas parcelas com maiores proporções da cultivar resistente. Resultados semelhantes foram obtidos por Guimarães et al. (1998). Estes autores mediram a severidade da antracnose em

linhagens de sorgo em misturas e concluíram que, na medida em que aumentou a proporção de unidades genóticas resistentes às misturas, houve redução da AACPD nos tratamentos avaliados.

Poucos estudos foram realizados correlacionando produtividade com quantidade de doença em condições experimentais de misturas de cultivares de sorgo. Nos plantios deste trabalho, os tratamentos com as misturas que possibilitaram maior redução da AACPD não foram os mais produtivos. Resultados semelhantes foram obtidos por Ross (1965), ao quantificar a produção de híbridos de sorgo em misturas sob diferentes condições de estresse. Este autor verificou que o fator doença não foi limitante na produtividade da cultura, pois as misturas não foram mais eficientes que os estandes puros de seus componentes. É importante salientar que, neste trabalho, a produtividade dos híbridos misturados não foi medida separadamente, que o tamanho das parcelas experimentais pode ter afetado a produção e que uma maior intensidade de doença ocorrida tardiamente nos plantios podem não ter sido determinante para o não enchimento dos grãos nos estandes. Sendo assim, o estande puro com a cultivar suscetível apresentou-se bastante produtivo. Portanto, estes fatores podem ter influenciado na estabilização e na redução de produtividade da cultivar BRS304 em misturas, se comparada aos estandes puros desta cultivar que não é tolerante a antracnose e tem sua produtividade bastante comprometida sob alta incidência da doença. De acordo com Mundt (2002), a eficiência de misturas de cultivares em relação à produção é maior nos cultivos em escala comercial do que em pequenas áreas experimentais.

Foi observado um efeito não significativo proporcionado pelo híbrido IG150 sobre a produtividade do híbrido BRS304, em misturas. Na medida em que aumentou a proporção da cultivar resistente às misturas, houve redução na produtividade da cultivar suscetível, se comparada ao estande puro desta cultivar. Talvez, se tivesse sido utilizado um híbrido resistente mais produtivo

como componente da mistura, a produtividade dos tratamentos neste trabalho teria sido otimizada, como a que foi observada por Sifuentes Barrera & Frederiksen (1994), ao avaliarem a severidade da queima foliar em cultivares de sorgo em misturas. Estes autores utilizaram dois híbridos de sorgo com diferentes níveis de resistência a *E. tursicum* e verificaram que um acréscimo de 1% do híbrido resistente na mistura aumentou em 0,55% a produção do híbrido suscetível.

No plantio IV, além da antracnose, ocorreu alta incidência da “ergot” ou doença açucarada do sorgo causada por *Sphacelia sorghi*. Este fungo é um parasita especializado na infecção de inflorescências de cultivares de sorgo, atacando os ovários de hospedeiros suscetíveis no período de florescimento das plantas. *S. sorghi* infecta somente ovários não fertilizados durante a antese e vários estudos demonstraram que a polinização, seguida de rápida fertilização, previne a infecção. Temperaturas noturnas baixas, em torno de 14°C, durante a fase do pré-florescimento, podem induzir a inviabilidade do pólen e, em consequência, as flores não fertilizadas ficam expostas ao ataque de *S. sorghi*. As condições meteorológicas favoráveis ao desenvolvimento da doença, durante o florescimento, são temperaturas mínimas de 13°C a 18,7°C e umidade relativa de 76% a 84%. As flores infectadas não produzem grãos (Ferreira et al., 2005). Portanto, a “ergot” pode ter causado a queda do rendimento da cultivar BRS304 na safrinha, visto que, neste trabalho, condições favoráveis a doença ocorreram no período do florescimento dos híbridos de sorgo (Figura 3).

Neste trabalho, ocorreu uma variação por época de cultivo na eficiência do híbrido resistente em conferir proteção à cultivar suscetível BRS304. Entre os fatores que podem influenciar essa eficiência, estão a quantidade e o tipo de inóculo inicial do patógeno presente nas áreas dos plantios (Leonard, 1969; Mundt, 2002). No verão, foram observadas maiores AACPDs nos estandes com as misturas e com a cultivar suscetível BRS304, se comparados aos mesmos

estandes na safrinha. Deve-se ressaltar que em Indianópolis, a área experimental onde foi conduzido o plantio II é de plantio direto de sorgo. Essa prática contribui para aumentar a quantidade de inóculo inicial do patógeno na área, uma vez que *Colletotrichum sublineolum* pode sobreviver até 18 meses na ausência do hospedeiro como micélio e conídios sobre restos culturais na superfície do solo (Casela & Ferreira, 1998). Portanto, plantios anteriores podem ter aumentado a quantidade de inóculo inicial para o plantio subsequente e isso pode ter influenciado a maior intensidade de doença ocorrida no verão. Nos plantios III e IV de safrinha, a severidade da doença foi provavelmente influenciada pela inoculação artificial, que forneceu maior quantidade de inóculo de isolados virulentos aos componentes da mistura. Essa inoculação aumentou a quantidade de inóculo inicial, além do disponível no campo e isso pode ter influenciado a severidade da doença na safrinha. Segundo Barrett (1981) e Finckh et al. (2000), a inoculação artificial pode reduzir a eficiência das misturas no controle de doenças de plantas.

A redução da eficiência das misturas no verão em relação à safrinha pode ter ocorrido também devido à associação de fatores de virulência combinada a uma maior diversidade de raças observada na população de *C. sublineolum* em Indianópolis (resultados do capítulo 2). Sendo *C. sublineolum* um patógeno com reprodução sexuada rara e/ou não observada na natureza (Vailancourt & Hanau, 1991), a ausência de recombinação genética poderia estar influenciando esta associação (Casela et al., 2000). Um gene de virulência desnecessário pode ter sua proporção aumentada na população do patógeno por estar ligado a outro gene de virulência ou agressividade (Brown, 1990; VanderPlank, 1982). O aumento na frequência de raças pode ser explicado pela parassexualidade e parameiose, e pela reprodução sexual. Estes são potenciais mecanismos naturais de recombinação genética, assexuais e sexual, que ampliam a variabilidade genética existente em fitopatógenos e explicariam o

surgimento de novas raças fisiológicas em populações de *C. sublineolum* (Souza-Paccola et al., 2003; Zanette et al., 2009). Combinações favoráveis de genes para a virulência e o aumento na frequência de raças, devido a mecanismos de recombinação genética, assexual e/ou sexual, podem ter influenciado na redução da eficiência das misturas para a redução da doença no verão.

Para todos os tratamentos no verão, com exceção daquele com 50% do híbrido suscetível em mistura com o resistente, a estimativa do coeficiente de regressão quadrática foi positiva e diferente de zero ($P < 0,05$). Este ajuste para regressão quadrática das notas de severidade em função das épocas de avaliação confirmou a maior intensidade da doença ocorrida nesta época de cultivo em relação à safrinha, visto que, no verão, a doença atingiu um máximo e estacionou, tendendo a uma queda, provavelmente devido à falta de tecido foliar sadio para o patógeno, como demonstram curvas de progresso de doenças em forma de parábolas (Ribeiro do Vale et al., 2004). Portanto, de acordo com a regressão, a mistura mais promissora na redução de severidade de doença foi a com 50% da cultivar suscetível em sua composição, pois este foi o único tratamento que se ajustou à regressão linear no verão, comprovando que o incremento nas notas médias de severidade neste tratamento não atingiu o nível máximo de doença e, com isso, retardou o progresso da epidemia no campo, como foi observado para as misturas e os estande puros de seus componentes na safrinha.

Quando o progresso de uma doença ocorre via aloinfecção (Robinson, 1976), as misturas oferecem maior possibilidade de controle (Wolfe, 1985). Neste trabalho, os esporos aloinfectantes, provavelmente, não iniciaram a doença, uma vez que os plantios e suas parcelas estavam protegidos por duas fileiras de uma cultivar de milho, não hospedeira de *C. sublineolum*. No entanto, estes plantios possuíam uma fonte de inóculo com a variedade suscetível BR009

que aumentou a quantidade de inóculo além do disponível no interior das parcelas experimentais. Essa maior quantidade de inóculo que veio da fonte suscetível, principalmente nos plantios inoculados, foi importante apenas para o início da epidemia, pois, embora não quantificada, observaram-se, no interior das parcelas, no início da epidemia, em todos os plantios, focos da doença que não seguiam um padrão de dispersão contínuo e uniforme a partir da fonte de inóculo com a variedade BR009. Ou seja, a dispersão do inóculo não se fez obedecendo um gradiente íngreme, o que não caracteriza a presença de esporos aloinfectantes iniciando a doença (Mundt & Leonard, 1986). Portanto, a maior parte do inóculo inicial estaria presente no interior dessas parcelas.

Além da quantidade e tipo de inóculo, epidemias da antracnose do sorgo também são favorecidas por condições climáticas de elevadas, precipitação e umidade relativa do ar e por temperaturas moderadas (Frederiksen, 2000). Neste trabalho, as condições climáticas das duas épocas de cultivo foram bastante distintas e isso pode ter influenciado o início e o progresso da epidemia no campo.

Nas Figuras 2 e 3 estão registradas as temperaturas máxima, média e mínima (em °C), a umidade relativa do ar (em %) e precipitação total diária (em mm) nos períodos de condução dos plantios de Sete Lagoas, nas épocas de verão e de safrinha. No plantio I de verão, a maior precipitação diária registrada foi de 82,3 mm no terceiro mês após a semeadura contra nenhuma precipitação no mesmo período de cultivo nos plantios III e IV da safrinha. A temperatura média registrada no verão e na safrinha foram de aproximadamente 23°C e de 20°C, respectivamente. De acordo com Pande et al. (1994), o máximo de doença pode ser observado com temperatura média em torno dos 25°C, enquanto temperaturas abaixo de 15°C e acima de 30°C restringem o desenvolvimento da doença. Segundo os mesmos autores, um período de, no mínimo, 24 horas de molhamento foliar é suficiente para o aumento da intensidade de doença que se

intensifica com o aumento do período desse molhamento, sendo a chuva considerada o principal mecanismo de dispersão do inóculo de *C. sublineolum* no campo. No verão, a umidade relativa do ar (UR), as temperaturas e as precipitações mínimas, médias e máximas se mantiveram estabilizadas durante todo o ciclo da cultura (Figura 2). Já na safrinha, a partir do início de abril, ocorreu uma queda pronunciada dessas variáveis climáticas (Figura 3). Na safrinha, a UR, a temperatura e a precipitação diária, provavelmente influenciaram mais no início da epidemia do que no progresso da doença no campo.

Verão

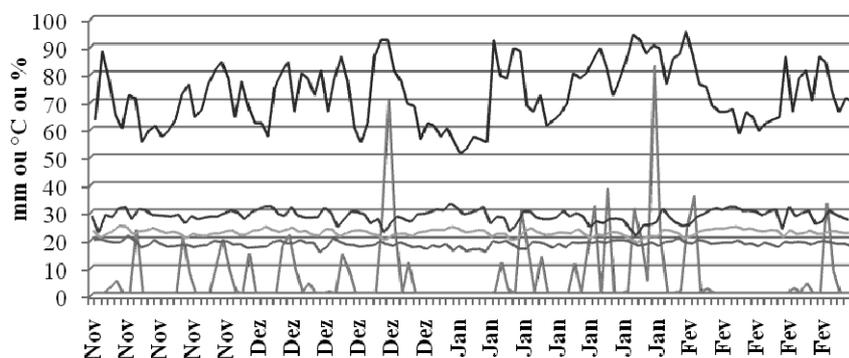


FIGURA 2 Variáveis climáticas referentes ao período de condução do plantio I de verão. Curva horizontal acima = umidade relativa diária média; três curvas horizontais abaixo = temperaturas, máxima, média e mínima; picos verticais = precipitação total diária.

Portanto, as condições climáticas predominantes durante a condução dos plantios no verão favoreceram a doença, em relação àquelas observadas nos plantios de safrinha. No período do verão, em Sete Lagoas, foi observada maior severidade da doença nos diferentes tratamentos avaliados, se comparada aos mesmos tratamentos avaliados na safrinha. Provavelmente, estes resultados estão relacionados à maior intensidade da doença ocorrida no verão, devido às condições climáticas mais favoráveis à epidemia da doença.

Safrinha

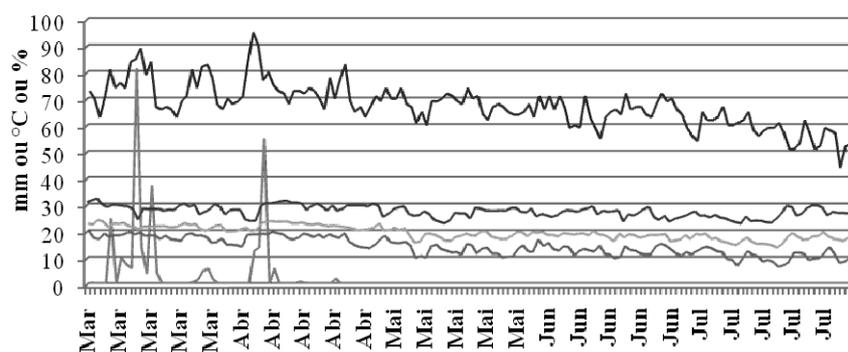


FIGURA 3 Variáveis climáticas referentes ao período de condução dos plantios III e IV de safrinha. Curva horizontal acima = umidade relativa diária média; três curvas horizontais abaixo = temperaturas, máxima, média e mínima; picos verticais = precipitação total diária.

Como a utilização de misturas de cultivares permitiu a redução da antracnose na cultivar BRS304, mas a eficiência dessas misturas no controle da doença e na estabilização da produtividade variou por época de cultivo, mais estudos devem ser realizados.

Para complementar os estudos com misturas em maiores áreas, em diferentes épocas de cultivo e locais, variáveis climáticas devem ser utilizadas nas análises dos resultados e, embora não quantificadas, neste trabalho, variáveis epidemiológicas poderiam auxiliar nessas análises. O monitoramento periódico da população do patógeno, nestas áreas, também deve ser realizado. Portanto, esses tipos de procedimentos permitiriam prever mais facilmente qual seria a melhor composição das misturas em cada local e qual seria o melhor momento para a substituição de seus componentes.

5 CONCLUSÕES

As misturas dos híbridos IG150 e BRS304 foram eficientes na redução severidade da antracnose do sorgo nos plantios avaliados.

Ocorreu maior proteção do híbrido BRS304 em consequência de maiores proporções do híbrido resistente IG150, em misturas.

As misturas, neste trabalho, não foram efetivas para o aumento e a estabilização da produção da cultivar BRS304 em relação ao seu estande puro.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRETT, J. A. Disease progress curves and dispersal gradients in multilines. **Phitopathologische Zeitschrift**, Berlin, v. 100, n. 4, p.361-396, Apr. 1981.
- BROWNING, J. A.; FREY, K. J. Multiline cultivars as a means of disease control. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 7, n. 1, p. 355-382, Sept. 1969.
- BROWN, J. K. M. Structure and evolution of a population of *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici*. **Plant Pathology**, Oxford, v.39, n. 3, p. 376-390, Mar. 1990.
- CASELA, C. R.; FERREIRA, A. S. **Antracnose do sorgo (*Colletotrichum graminicola*)**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1998. 19p. (Circular Técnica, 28).
- CASELA, C. R., SANTOS, F. G.; FERREIRA, A. S. Associação de patogenicidade e diversidade fenotípica de *Colletotrichum graminicola* agente causal da antracnose em sorgo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, p. 517-521, jul./set. 2000.
- CASELA, C. R.; FERREIRA, A. S.; SANTOS, F. G. Differences in competitive ability among races of *Colletotrichum graminicola*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.26, n.2, p. 217-219, abr./jun. 2001.
- CASELA, C. R.; PINTO, N. F. J. A.; OLIVEIRA, E.; FERREIRA, A. S. Sorgo: *Sorghum bicolor* (L.) Moench controle de doenças. In: VALE, F. X. R. do; ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Controle de doenças de plantas: grandes culturas**. Viçosa: UFV/Departamento de Fitopatologia, 1997. cap. 22, p. 1025-1063.
- COSTA, R. V.; CASELA, C. R.; ZAMBOLIM, L.; SANTOS, F. G.; VALE, F. X. R. Evaluation of genetic mixtures of sorghum lines for anthracnose resistance management. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 5, p. 525-526, set./out. 2005.
- CRUTE, I. R.; PINK, D.A. Genetics and utilization of pathogen resistance in plants. **The Plant Cell**, Rockville, v. 8, n. 10, p. 1747-1755, Oct. 1996.

FERREIRA, A. S.; CASELA, C. R.; OLIVEIRA, A. C. **Controle da doença açucarada do sorgo “Ergot”**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 2005. (Comunicado Técnico, 114).

FINCKH, M. R.; GACEK, E. S.; GOYEAU, H.; LANNOU, C.; MERZ, U. MUNDT, C. C.; MUNK, L.; NADZIAK, J.; NEWTON, A. C.; VALLAVIELLE-POPE, C.; WOLFE, M. S. Cereal variety and species mixtures in practice. **Agronomie**, v. 20, n. 7, p. 813-837, 2000.

FREDERIKSEN, R. A. **Compendium of Sorghum diseases**. Saint Paul: American Phytopathological Society, 2000.

GROENEWEGEN, L. J. M.; ZADOKS, J. C. Exploiting withing-field diversity as a defense against cereal diseases: a plea for “poly-genotip” varieties. **Indian Journal of Genetics & Plant Breeding**, New Delhi, v.39, p. 81-94, 1979.

GUIMARÃES, F. B. ; CASELA, C. R. ; SANTOS, F. G. ; FERREIRA, A. S. Controle da antracnose do sorgo através da utilização de mistura de cultivares. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 24, n. 2, p. 131-135, abr. 1998.

LANNOU, C.; MUNDT, C. C. Evolution of pathogen population in host mixtures. I. Studies of the simple race-complex race equilibrium. **Plant Pathology**, Oxford, v. 45, n. 3, p. 440-453, June 1996.

LEONARD, K. J. Factors affecting rates of steam rust increase in mixed planting of susceptible and resistant oat varieties. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 59, n. 12, p.1845-1850, Dec. 1969.

MUNDT, C. C. Use of multiline cultivars and cultivar mixtures for disease management. **Annual Reviews of Phytopathology**, Palo Alto, v. 40, n. 1, p. 381-410, Sept. 2002.

MUNDT, C. C.; LEONARD, K. J. Effect of host genotype unit area on development of focal epidemics of bean rust and comun mayze rust in mixtures of resistant and susceptible plants. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 76, n. 9, p. 895-900, Sept. 1986.

PANDE, S.; THAKUR, R. P.; KARUNAKAR, R. I.; BANDYOPADHYAY, R.; REDDY, B. V. S. Development of screening methods and identification of stable resistance to anthracnose in sorghum. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 38, n. 2, p.157-166, Feb. 1994.

PARLEVLIET, J. E. What's durable resistance, a general outline. In: JACOBS, T.H.; PARLEVLIET, J. E. **Durability of disease resistance**. Kluwer: Academic, 1993. p. 23-39.

PASTOR-CORRALES; FREDERIKSEN, R. A. Sorghum anthracnose. In: INTERNATIONAL WORKSHOP OF SORGHUM DISEASE, 1978, Hyderabad. **Proceedings...**Andhra Pradesh: ICRISAT, 1978. p. 289-294.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 326p.

ROBINSON, R. A. **Plant pathosystems**. Berlin: Springer-Verlag. 1976. 184p.

ROSS, W. M. Yield of grain sorghum (*Shorghum vulgare* Pers.) hybrids alone and in blends. **Crop Science**, Madison, v. 5, n. 6, p. 593-594, Nov. 1965.

SHANNER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow mildewing resistance in knox wheat. **Phytopathology**, Saint Paul, v 67, n. 10, p. 1051-1056, Oct. 1977.

SHARMA, H.L. A technique for identifying and rating resistance to foliar diseases of sorghum under field conditions. **Proceeding of the Indian Academy of Science**, Bangalore, v. 42, n. 1, p. 278-283, June 1983.

SIFUENTES BARRERA, J. A.; FREDERIKSEN, R. A. Evaluation of Shorgum hybrid mixtures for controlling sorghum leaf blight. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 78, n. 5, p. 499-503, May 1994.

SILVA, D. D. CASELA, C. R.; CASTRO, H. A.; SANTOS, F. G.; FERREIRA, A. S. Diversidade populacional de *Colletotrichum sublineolum* em seis localidades no Brasil. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 34, n. 2, p. 149-155, abr./jun. 2008.

SOUZA-PACCOLA, E. A.; FÁVARO, L. C. L.; CASELA, C. R.; PACCOLA-MEIRELLES, L. D. Genetic recombination in *Colletotrichum sublineolum*. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 151, n. 6, p. 329-334, June 2003.

TORRES, J. C.; VENTURA, J. A. AVACPD: um programa para calcular a área e o volume abaixo da curva de progresso da doença. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 24., 1991, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 1991. Fitopatologia Brasileira, Brasília, v.16, n.2, p. 52, jun. 1991.

VAILLANCOURT, L. J.; HANAU, R. M. A method for genetic analysis of *Glomerella graminicola* from maize. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 81, n. 5, p. 530-534, May 1991.

VALE, F. X. R. do; JESUS JÚNIOR, W. C.; ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte: Perfil, 2004. 531p.

VANDERPLANK, J. E. **Host-pathogen interaction in plant disease**. New York: Academic, 1982. 207 p.

WOLFE, M. S. The current status and Prospects of multiline cultivars and variety mixtures for disease resistance. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 23, n. 1, p. 251-273, Sept. 1985.

ZANETTE, G. F.; NÓBREGA, G. M. A.; MEIRELLES, L. D. P. Morphogenetic characterization of *Colletotrichum sublineolum* strains, causal agent of anthracnose of Sorghum. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 3, p. 146-151, maio/jun. 2009.

CAPÍTULO 3

DIVERSIDADE E ESTRUTURA DE VIRULÊNCIA EM POPULAÇÕES DE *Colletotrichum sublineolum*

RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a diversidade e a estrutura de virulência de populações de *C. sublineolum* desenvolvidas em resposta a misturas de cultivares e a cultivos puros de sorgo por meio da avaliação da virulência a cinco híbridos. As plantas foram inoculadas com 157 isolados monospóricos, dos quais 109 foram amostrados em plantios com misturas de cultivares, sendo 60 de Sete Lagoas, MG, 49 de Indianópolis, MG e 48 isolados em lavouras de sorgo em Rio Verde e Paraúna, GO. Isolados do patógeno foram designados por meio de um sistema binário, caracterizados, quanto à virulência a cinco cultivares diferenciadoras testadas e analisados também quanto à distribuição, frequência e virulência nos locais, nos estandes com as misturas e estandes puros. Em seguida, as populações foram caracterizadas quanto à diversidade fenotípica por meio de índices de Shannon, Simpson e Gleason e de um índice de complexidade. Verificou-se que os isolados coletados de misturas apresentaram menor número de fenótipos distintos com a predominância de algumas raças em relação a outras. A menor diversidade, estimada de acordo com o índice de Simpson, foi encontrada na população amostrada em Indianópolis. Neste local, Shannon e Gleason apresentaram os maiores valores. Na população amostrada em lavouras de Rio Verde e Paraúna, foram identificadas poucas raças, mas estas estavam bem distribuídas quanto à frequência. A população de Sete Lagoas foi a que apresentou raças de maior complexidade. Desvios da frequência ideal de 0,5 de virulência a um determinado genótipo da série diferencial foram os responsáveis pelas perdas nas estimativas da diversidade por meio do índice de Shannon nas populações de Sete Lagoas, Rio Verde e Paraúna. Em Indianópolis, as perdas foram atribuídas principalmente à associação de fatores de virulência no patógeno. Observou-se correlação (r) positiva e significativa entre o índice de Simpson e o índice de complexidade nos locais avaliados.

Palavras chave: variabilidade genética; índices de diversidade fenotípica; super raças.

ABSTRACT

This study aimed at evaluating the diversity and structure of the *C. sublineolum* population virulence developed in response to mixtures of pure cultivars and sorghum crops by assessing the virulence of five hybrids. Plants were inoculated with 157 single spore isolates, 109 of those sampled in stands with cultivar mixtures, 60 from Sete Lagoas, 49 from Indianapolis, MG and 48 isolates from sorghum crops in Rio Verde and Paraúna, GO. The isolates were described by means of a binary system. These were characterized for virulence in five differential cultivars tested and analyzed also in terms of distribution, frequency and virulence of the sites, in stands with mixtures and pure sorghum stands. Then, the populations were characterized for phenotypic diversity by the Shannon index, Simpson and Gleason and an index of complexity. The isolates collected from mixtures showed a smaller number of distinct phenotypes with a predominance of some races over others. The lower diversity, estimated according to the Simpson index was found in the sampled population in Indianapolis. At this site, Shannon and Gleason presented the highest values. In the population sampled in crops of Rio Verde and Paraúna, few races have been identified, but these were well distributed in terms of frequency. The Sete Lagoas population presented races of greater complexity. Deviations from the ideal frequency of 0.5 virulence to a particular genotype of the differential series were responsible for losses in the estimates of diversity by the Shannon index in populations of Sete Lagoas, Rio Verde and Paraúna. In Indianapolis, the losses were attributed mainly to the combination of virulence factors in the pathogen. There was a significant positive correlation (r) between the Simpson index and the index of complexity in sampled locations.

Keywords: genetic variability; index of phenotypic diversity; super race.

1 INTRODUÇÃO

Dentre as doenças que afetam a cultura do sorgo no Brasil, a mais importante é a antracnose (*Colletotrichum sublineolum*), devido não apenas às condições ambientais favoráveis à ocorrência de severas epidemias, como também pela alta variabilidade apresentada pelo patógeno nas nossas condições. A doença é favorecida por condições de alta umidade e temperaturas elevadas, podendo haver grandes perdas, até mesmo em regiões com breves períodos de chuva seguidos de secas prolongadas (Frederiksen, 2000).

C. sublineolum é um patógeno altamente variável. De acordo com Harris & Johnson (1967), variações na resistência entre cultivares de sorgo foram atribuídas à provável existência de raças na população do patógeno.

Inicialmente, no Brasil, a presença de raças de *C. sublineolum* foi demonstrada por Nakamura (1984). Cinco raças do patógeno, oriundas de diferentes regiões do país, foram identificadas com base na reação de cinco cultivares diferenciadoras. Posteriormente, sete raças foram identificadas por meio de doze cultivares diferenciadoras de sorgo (Ferreira & Casela 1986).

Trabalhos sobre a diversidade fenotípica e a estrutura populacional de virulência de *C. sublineolum* foram realizados (Harris & Sowel, 1970; Pastor-Corrales & Frederiksen, 1978; Ali & Warren, 1987; Cardwell et al., 1989; Rosewich et al., 1998, Silva et al., 2008; Souza et al., 2008). Eles demonstraram elevadas variabilidade e capacidade adaptativa deste patógeno a cultivares em uso, o que pode levar à diminuição da vida útil de híbridos comerciais de sorgo e resultar em elevado prejuízo para produtores, exigindo mais esforços de melhoristas e fitopatologistas na busca de soluções para a redução da doença.

Uma ótima alternativa para a redução de doenças causadas por patógenos altamente variáveis, como *C. sublineolum*, seria a diversificação da

população hospedeira por meio do uso de multilinhas e misturas (Browning & Frey, 1969; Sifuentes Barrera & Frederiksen, 1994; Lannou & Mundt, 1996, Mundt, 2002), estratégia já avaliada em sorgo para o controle da antracnose foliar (Guimarães et al., 1998; Costa et al., 2005). No entanto, já foi descrito o surgimento de super-raças ou raças complexas em outros cultivos com misturas de genótipos em relação aos estandes puros de seus componentes (Chin & Wolf, 1984; Huang et al., 1994). Super-raças ou raças complexas são aquelas virulentas a todos ou a quase todos os genótipos hospedeiros em estudo e apresentam a habilidade de serem agressivas a diferentes variedades de uma mesma espécie vegetal (VanderPlank, 1982). A diversidade na população hospedeira, gerada por misturas de genótipos, pode ocasionar o desenvolvimento de super-raças ou raças complexas na população do patógeno. De acordo com Valério et al., (2004), uma diminuição da diversidade fenotípica e um aumento da complexidade de virulência do patógeno em resposta a misturas de linhagens de sorgo aumentaram a frequência de raças complexas na população de *C. sublineolum*. Este fato já havia sido comprovado anteriormente em outras culturas, por Lannou & Mundt (1996) e pode levar à diminuição da vida útil das misturas no campo.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a diversidade e a estrutura de virulência de populações de *C. sublineolum* desenvolvidas em resposta a misturas de híbridos e a cultivos puros de sorgo.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação e no Laboratório de Resistência a Doenças de Plantas nas dependências da Embrapa Milho e Sorgo, na cidade de Sete Lagoas, MG, no período de março a agosto de 2008.

Foram testados 157 isolados monospóricos de *Colletotrichum sublineolum*, dos quais 109 provenientes de populações desenvolvidas em resposta a misturas de híbridos analisadas no capítulo 1 desta tese, sendo 60 de Sete Lagoas e 49 de Indianópolis, ambas em MG. Para complementar os estudos de diversidade fenotípica e possibilitar uma melhor comparação entre a estrutura de virulência das populações analisadas, foram testados também 48 isolados de lavouras comerciais de sorgo localizadas em Rio Verde e Paraúna, GO.

Para uma melhor caracterização da diversidade populacional de *C. sublineolum* em todos os locais de onde foram coletados isolados, além dos híbridos utilizados como componentes das misturas, foram utilizados também três híbridos comerciais, dois da Embrapa Milho e Sorgo e um da Dow Agrosciences (Tabela 1).

Os híbridos de sorgo que constituíam os tratamentos foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com parcelas subdivididas, sendo os isolados nas parcelas e as plantas nas subparcelas, com três repetições. Um vaso com 3-4 plantas foi considerado uma repetição (Figura 1).

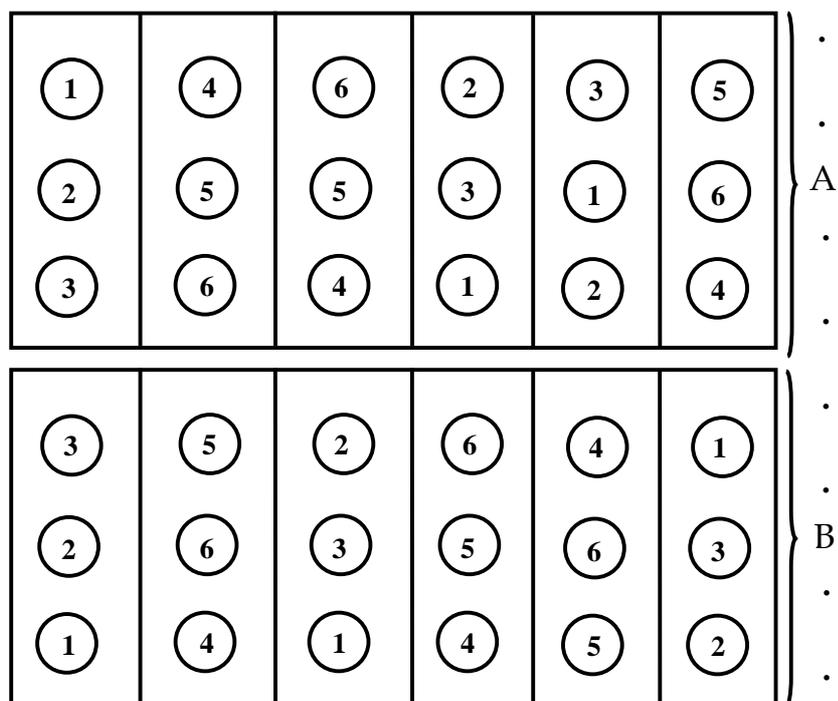


FIGURA 1 Desenho esquemático da distribuição dos híbridos de sorgo e dos isolados de *C. sublineolum* na casa de vegetação, em que números = cultivares; letras = isolados.

TABELA 1 Híbridos comerciais de sorgo utilizados como diferenciadoras para a caracterização da virulência de isolados de *C. sublineolum*.

Empresa	Híbridos de sorgo
Embrapa Milho e Sorgo	BRS304
Dow Agrosiences	IG150
Dow Agrosiences	DAS740
Embrapa Milho e Sorgo	BR310
Embrapa Milho e Sorgo	992045

2.1 Obtenção de isolados

Fragmentos de folhas com sintomas e sinais do patógeno foram desinfestados por aproximadamente dois minutos em solução de hipoclorito de sódio a 1% e plaqueados em meio de cultura farinha de aveia-ágar (FAA). As placas foram posteriormente incubadas sob fotoperíodo de 12 horas à temperatura de, aproximadamente, 27°C, por 7 a 8 dias. Para a indução de abundante esporulação, três dias após o isolamento, foi realizada raspagem para a eliminação do micélio superficial já desenvolvido nas placas. Três dias após a raspagem, os conídios foram coletados por meio do corte de fragmentos do meio de cultura com os esporos e transferidos para tubo de ensaio contendo 9 mL de água destilada e esterilizada, seguindo uma diluição em série com a transferência de 1 mL da suspensão de esporos do tubo anterior para outro tubo com o mesmo volume de água (9 mL), até o quarto tubo. Logo em seguida, 1 mL da suspensão de esporos obtida no quarto tubo foi distribuído em duas placas de Petri contendo ágar-água a 2% que foram incubadas, a 27°C, por 12 horas, para a indução de germinação dos conídios do fungo. As culturas monospóricas foram obtidas por meio da coleta de um conídio ao microscópio de luz. O conídio foi

coletado pelo corte de um fragmento circular correspondente ao foco de luz do microscópio com peça especificamente desenvolvida para este fim. Os isolados foram transferidos para tubos de ensaio contendo FAA e foram incubados sob fotoperíodo de 12 horas por, aproximadamente, 7 dias, quando foi adicionado aos tubos com os isolados monospóricos crescidos, óleo mineral, para a sua conservação até o momento de uso.

2.2 Produção e preparo do inóculo

Os isolados monospóricos foram transferidos do óleo mineral para placas contendo FAA e mantidos sob fotoperíodo de 12 horas, por 5 a 6 dias.

A raspagem micelial dos isolados foi realizada após 3 dias de transferência dos isolados e, depois de 5 dias, os esporos produzidos foram transferidos para mais duas placas de Petri contendo meio FAA. O mesmo procedimento foi adotado para as duas placas contendo o fungo em crescimento transferido e a raspagem micelial foi realizada para induzir a esporulação necessária ao preparo do inóculo. Cinco dias após a transferência, as placas com cada isolado esporulando foram inundadas com água destilada e esterilizada e raspadas com uma espátula para a liberação dos conídios e contagem em câmara de Newbauer, para se obter uma suspensão de inóculo na concentração de $1,2 \times 10^6$ conídios/mL.

2.3 Inoculação dos isolados e avaliação

Os híbridos de sorgo foram inoculados aos 28 dias após os plantios. Após a inoculação, as plantas foram incubadas em câmara úmida por 18-20 horas, à temperatura aproximada de 27°C.

Dez dias após a inoculação, as plantas foram avaliadas quanto ao surgimento dos sintomas da antracnose, utilizando-se a escala de notas de 1-5 de Cardwel et al. (1989), em que 1 = presença de pequenas pontuações necróticas;

2 = presença de pequenas manchas avermelhadas; 3 = lesões necróticas, algumas vezes alongadas, mas sem a presença de esporulação; 4 = lesões necróticas com a presença de acérvulos no centro e 5 = lesões necróticas, algumas vezes coalescidas, com a presença de abundante esporulação.

2.4 Análise e interpretação dos resultados

Os híbridos que obtiveram notas entre 1-3 apresentaram reação de resistência (reação R) e os que receberam notas entre 3-5 foram considerados suscetíveis (reação S). Estas reações (R ou S) designaram raças do patógeno segundo o sistema binário utilizado por Habgood (1970).

Cada híbrido componente da série diferencial recebeu um número binomial, iniciado por 2^0 , que equivale a 1, até o número 2^4 , que equivale ao número 16. As reações de suscetibilidade para um mesmo isolado foram somadas de acordo com a numeração correspondente de cada híbrido, originando o nome da raça, conforme demonstrado na Tabela 2.

TABELA 2 Exemplo da metodologia utilizada para a denominação das raças (fenotipagem) de *C. sublineolum*, utilizando o sistema binário e cinco híbridos de sorgo.

Híbridos	Nº binomial	Isolado 1	Isolado 2....	Isolado N
BRS304	$2^0 = 1$	S	R	S
IG150	$2^1 = 2$	R	R	S
DAS740	$2^2 = 4$	R	R	S
BR310	$2^3 = 8$	R	R	S
992047	$2^4 = 16$	R	S	S
Raça		1	16	31

R = reação de resistência; S = reação de suscetibilidade.

A diversidade fenotípica de cada população foi estimada por meio dos índices de Shannon, Simpson e Gleason, de acordo Groth & Roelfs (1987a). A complexidade dos isolados foi estimada conforme Andrivon & Vallavieille-Poppe (1995).

As fórmulas para cada índice seguem descritas abaixo:

Shannon: $D_r = - \sum p_i \ln (p_i)$

em que D_r = diversidade observada com o índice de Shannon e p_i = frequência da raça i na população.

Simpson: $S_i = \sum [n_i (n_i - 1) / N (N - 1)]$

em que n_i = número de isolados pertencentes à raça i .

N é o tamanho da amostra.

Gleason: $G_l = (r - 1) / \ln (N)$

em que r = número de fenótipos distintos na amostra;

N é o número de indivíduos na amostra.

Complexidade = $C_i = \sum (p_i \cdot v_i)$

em que p_i = frequência da raça na amostra e v_i = número de virulências da raça.

Foi determinada a influência da frequência de virulência e da associação de fatores de virulência em *C. sublineolum* na eficiência do índice de Shannon em detectar a diversidade nas populações analisadas. Para isso, foram calculados os efeitos dos desvios do grau de polimorfismo (P_d), em relação à frequência ideal de 0,5 de virulência a um determinado genótipo da série diferencial e os efeitos da associação de fatores de virulência no patógeno (P_a) na diversidade fenotípica das populações analisadas, conforme Groth & Roelfs (1987b). Sendo:

P_d = $- ((0,5 + d_i) \ln (0,5 + d_i) + (0,5 - d_i) \ln (0,5 - d_i))$

em que d_i = desvio em relação à frequência ideal de 0,5.

P_a = $- ((1 + \alpha) \ln (1 + \alpha/2) + (1 - \alpha) \ln (1 - \alpha/2)) / 2$

em que α = coeficiente de associação.

Os isolados foram caracterizados quanto à suscetibilidade e à resistência aos cinco híbridos utilizados como diferenciadores e foram analisados também quanto à distribuição, à frequência e à virulência nos locais, nos estandes com as misturas e estandes puros. Uma análise de correlação simples e a aplicação do teste T, a 5% e a 1% de probabilidade, foram realizadas entre os índices de diversidade e entre estes índices e o de complexidade.

3 RESULTADOS

Foram identificadas 20 raças de *C. sublineolum* entre os 157 isolados monospóricos inoculados em cinco híbridos de sorgo, utilizados como diferenciadoras na casa de vegetação, das quais 12 foram detectadas em Sete Lagoas, MG, 18 em Indianópolis, MG e 12 em Rio Verde e Paraúna, GO (Tabelas 3, 4 e 5).

Nos cultivos de misturas em Sete Lagoas e Indianópolis, a raça 31 foi a mais frequente. Em Sete Lagoas, nas misturas com 25%, 50% e 75% do híbrido BRS304, a raça 31 obteve 17%, 8% e 10% de frequência, respectivamente. Já em Indianópolis, esta raça foi mais frequente (10%) no estande puro com o híbrido resistente IG150. As raças 25 e 27 também apresentaram elevada frequência nos estandes com as misturas se comparados aos estandes puros de seus componentes em ambos os locais. As raças 14 e 24 foram exclusivas de Sete Lagoas e as raças 4, 17 e 26 foram detectadas apenas em Indianópolis (Tabelas 3 e 4).

Nas lavouras de sorgo em Rio Verde e Paraúna, as raças 31 (33%) e 27 (23%) também apresentaram elevada frequência. No entanto, nesses locais, as raças 2(8%) e 9(8%), de baixo espectro de virulência, foram as terceiras mais frequentes, entre todas as raças detectadas (Tabela 5).

Ocorreu predominância no número de raças complexas, com três e quatro virulências, nas cultivares diferenciadoras testadas nos plantios com as misturas em Indianópolis. Em Sete Lagoas, raças com três virulências foram predominantes (Figura 2).

Nas lavouras em Rio Verde e Paraúna foram detectadas raças com elevado número de virulências, como nos plantios com as misturas. No entanto, embora raças mais complexas tenham sido detectadas, raças menos complexas,

com uma e duas virulências, estavam presentes e foram expressivas em número com duas e três raças, respectivamente (Figura 2).

TABELA 3 Caracterização quanto à suscetibilidade (S) e à resistência (R) de cinco híbridos de sorgo utilizados como diferenciadoras de isolados de *C. sublineolum* obtidos de misturas e estande puros em Sete Lagoas, MG.

Tratamento	Cultivar diferenciadora					Número de isolados	r^2	Raça
	BRS304	IG150	DAS740	BR310	992045			
1	S	S	S	S	S	4	0,07	31
2	S	S	S	S	S	10	0,17	31
3	S	R	R	S	S	2	0,03	25
	S	S	R	S	S	5	0,08	27
	S	S	S	S	S	5	0,08	31
4	S	S	R	R	S	1	0,02	19
	R	R	R	S	S	1	0,02	24
	S	R	R	S	S	2	0,03	25
	S	S	S	S	S	6	0,10	31
5	S	S	R	S	S	2	0,03	27
	S	S	R	R	S	1	0,02	29
	S	S	S	S	S	7	0,12	31

“...continua...”

“TABELA 3, Cont.”

	S	S	S	R	R	1	0,02	7
	S	R	R	S	R	1	0,02	9
	S	S	R	S	R	1	0,02	11
6	R	S	S	S	R	1	0,02	14
	S	S	S	S	R	1	0,02	15
	R	S	R	R	S	1	0,02	18
	S	S	R	R	S	2	0,03	19
	S	S	S	S	S	6	0,10	31
Total						60	1	12

1; 100% de IG150, 2; 25% BRS304 + 75% IG150, 3; 50% BRS304 + 50% IG150, 4; 75% BRS304 + 25% IG150, 5; 100% de BRS304, 6; estende puro de BR009. 7frequência da raça.

TABELA 4 Caracterização quanto à suscetibilidade (S) e à resistência (R) de cinco híbridos de sorgo utilizados como diferenciadoras de isolados de *C. sublineolum* obtidos de misturas e estandes puros em Indianópolis, MG.

Tratamento	Cultivar diferenciadora					Número de isolados	r^2	Raça
	BRS304	IG150	DAS740	BR310	992045			
1 ¹	R	S	R	R	R	1	0,02	2
	S	S	R	R	S	2	0,04	19
	R	S	R	S	S	1	0,04	26
	S	S	R	S	S	3	0,06	27
	S	S	S	S	S	5	0,10	31
2 ²	S	R	R	S	S	1	0,02	25
	S	S	R	S	S	1	0,02	27
	S	S	S	S	S	2	0,04	31
3 ³	S	R	R	R	R	1	0,02	1
	R	S	R	R	S	2	0,04	18
	S	S	R	R	S	1	0,02	19
	S	R	R	S	S	1	0,02	25
	S	S	R	S	S	3	0,06	27
	S	S	S	S	S	4	0,08	31
4 ⁴	S	R	R	R	R	2	0,04	1
	S	S	R	R	R	1	0,02	3
	S	R	S	R	R	1	0,02	5
	S	R	R	R	S	1	0,02	17
	S	S	R	S	S	1	0,02	27
	S	S	S	S	S	1	0,02	31

“...continua...”

“TABELA 4, Cont.”

	S	S	R	R	R	1	0,02	3
	S	S	S	R	R	2	0,04	7
55	S	R	R	S	R	1	0,02	9
	S	S	S	S	R	1	0,02	15
	S	S	S	R	S	1	0,02	23
	S	R	R	S	S	1	0,02	25
	R	R	S	R	R	1	0,02	4
66	S	R	R	S	S	1	0,02	25
	S	R	S	S	S	1	0,02	29
	S	S	S	S	S	2	0,04	31
Total						49	1	18

11; 100% de IG150, 22; 25% BRS304 + 75% IG150, 33; 50% BRS304 + 50% IG150, 44; 75% BRS304 + 25% IG150, 55; 100% de BRS304, 66; estande puro de BR009. 7frequência da raça.

TABELA 5 Caracterização quanto à suscetibilidade (S) e à resistência (R) de cinco cultivares diferenciadoras de sorgo a isolados de *C. sublineolum* obtidos de lavouras comerciais de sorgo em Rio Verde e Paraúna, GO.

Cultivar diferenciadora					Número de isolados	r^2	Raça
BRS304	IG150	DAS740	BR310	992045			
S	R	R	R	R	2	0,04	1
S	R	R	R	S	4	0,08	2
R	S	S	R	R	1	0,02	3
S	S	R	R	S	4	0,08	9
S	S	R	S	R	2	0,04	11
S	S	S	S	R	1	0,02	15
R	S	R	R	S	2	0,04	18
S	S	R	R	S	1	0,02	19
S	S	S	R	S	1	0,02	23
S	R	R	S	S	3	0,06	25
S	S	R	S	S	11	0,23	27
S	S	S	S	S	16	0,33	31
Total					48	1	12

r^2 frequência da raça.

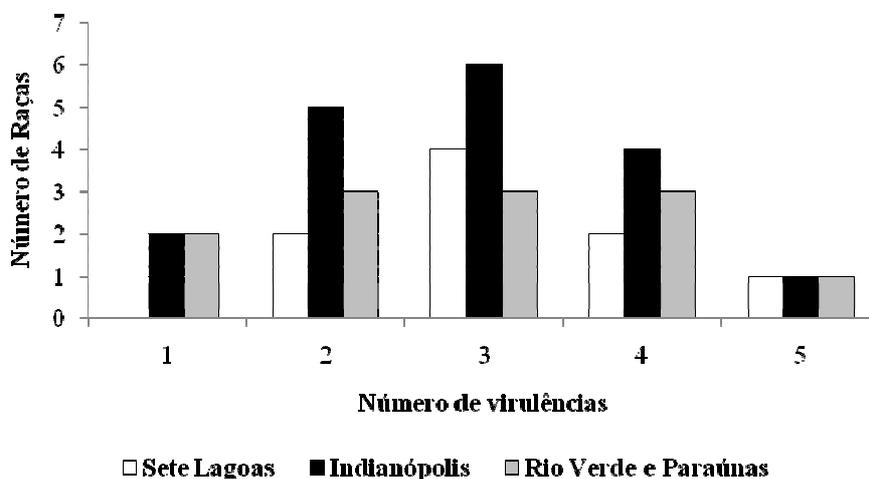


FIGURA 2 Distribuição e número de virulências de *C. sublineolum* a cinco híbridos de sorgo, em quatro regiões de cultivo no Brasil.

Embora tenham sido detectados isolados bastante virulentos aos híbridos utilizados como diferenciadoras nos estandes puros com os genótipos IG150, BRS304 e BR009, um maior número de isolados com quatro e cinco virulências foi detectado nas misturas com os híbridos BRS304 e IG150, em Sete Lagoas e em Indianópolis, MG (Figuras 3 e 4).

Foi detectado elevado número de isolados com cinco virulências nas lavouras de Rio Verde e Paraúna, GO, no entanto, nestes locais, isolados com duas virulências estavam presentes em grande número (Figura 5).

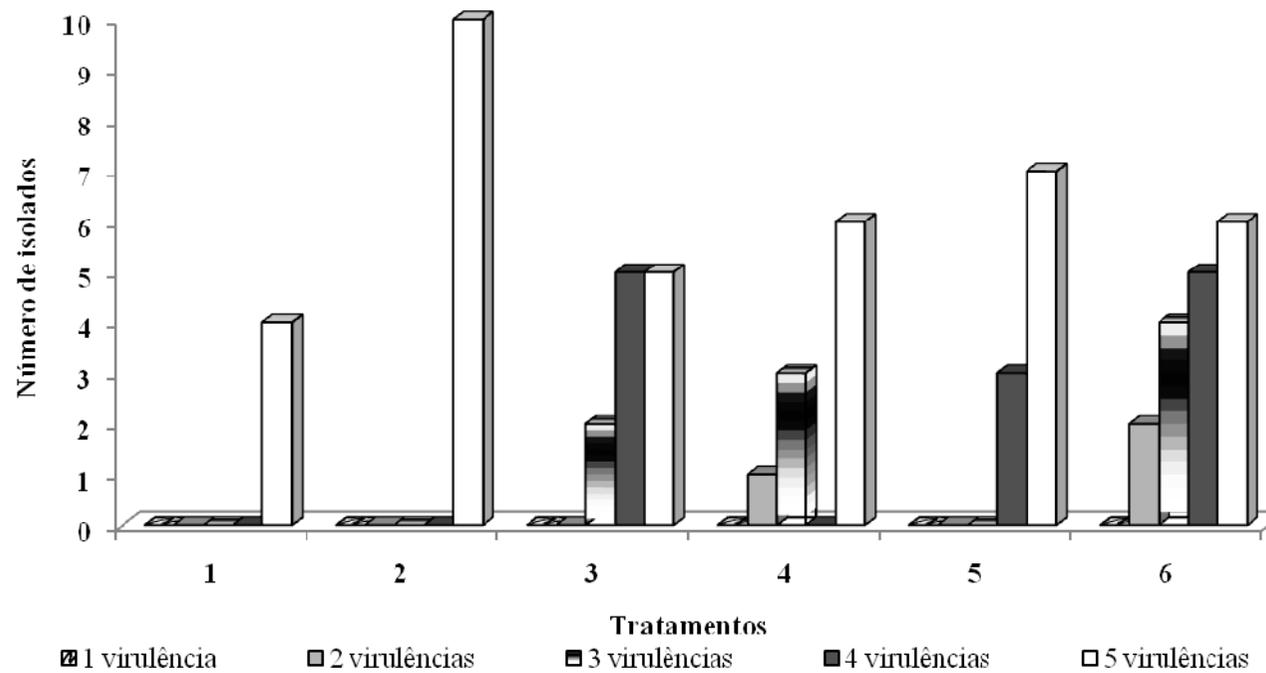


FIGURA 3 Distribuição e número de virulências de *C. sublineolum* em estandes com misturas e estandes puros de sorgo em Sete Lagoas, MG. Tratamentos: 1; 100% de IG150, 2; 25% BRS304 + 75% IG150; 3, 50% BRS304 + 50% IG150, 4; 75% BRS304 + 25% IG150, 5; 100% de BRS304, 6; estande puro de BRS009.

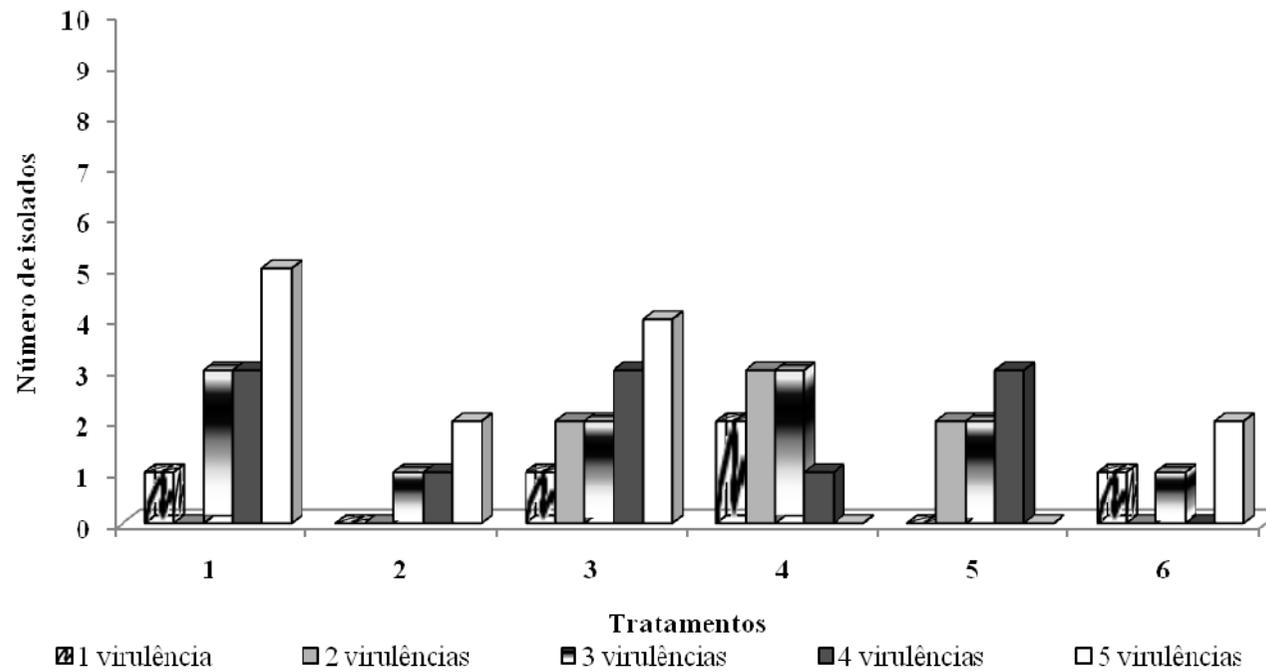


FIGURA 4 Distribuição e número de virulências de *C. sublineolum* em estandes com misturas e estandes puros de sorgo em Indianópolis, MG. Tratamentos: 1; 100% de IG150, 2; 25% BRS304 + 75% IG150; 3, 50% BRS304 + 50% IG150, 4; 75% BRS304 + 25% IG150, 5; 100% de BRS304, 6; estande puro de BRS009.

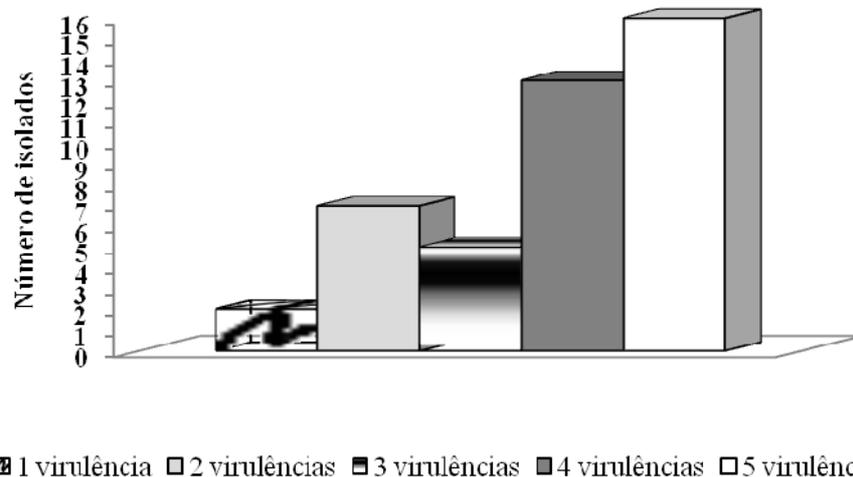


FIGURA 5 Distribuição e número de virulências de *C. sublineolum* em lavouras comerciais de sorgo em Rio Verde e Paraúnas, GO.

Populações de raças coletadas de misturas em Sete Lagoas e Indianópolis apresentaram menor número de fenótipos distintos e predominância de algumas raças em relação a outras, conforme os índices de Shannon e Simpson. A maior diversidade estimada, de acordo com o índice de Simpson, foi para Indianópolis. No entanto, neste local, os índices de Shannon e Gleason apresentaram os maiores valores. O contrário foi observado em Sete Lagoas, para os índices de Shannon e Gleason, que apresentaram os menores valores estimados (Tabela 6).

Na população amostrada em lavouras de Rio Verde e Paraúna, foram identificados poucos fenótipos, mas estes estavam bem distribuídos quanto à frequência, se comparada à população do patógeno coletada das misturas de Sete Lagoas. Para esses locais, foram observados os segundos maiores índices de Shannon e Gleason (Tabela 6).

Com relação à complexidade de raças detectada pelo índice, a população de Sete Lagoas foi a mais complexa. Embora fosse esperado que a complexidade de raças na população do patógeno obtida a partir das misturas de Indianópolis fosse mais elevada, como foi observado para Sete Lagoas, essa população apresentou a terceira maior complexidade, que foi inferior, mas próxima, àquela verificada para a população coletada em lavouras de sorgo (Tabela 6).

TABELA 6 Índices de diversidade fenotípica e de complexidade de raças em populações de *C. sublineolum* amostradas em Sete Lagoas e Indianópolis, MG e em Rio Verde e Paraúna, GO.

Local	Tipo de índice				Raças
	Shannon	Simpson	Gleason	Complexidade	
Sete Lagoas	1,744	0,411	2,693	4,181	12
Indianópolis	2,201	0,123	4,881	3,453	18
Rio Verde e Paraúna	1,944	0,172	3,102	3,542	12

1número de raças

Maiores perdas nas estimativas sobre a diversidade populacional gerada a partir do índice de Shannon foram determinadas por desvios no grau de polimorfismo (Pd) do que pela associação de fatores de virulência (Pa), em Sete Lagoas, Rio Verde e Paraúna. Em Indianópolis, essas maiores perdas na diversidade foram devido à Pa, apesar de Pd estar presente e ter sido elevada (Tabela 7).

TABELA 7 Componentes do índice de diversidade de Shannon em populações de *C. sublineolum* amostradas em Sete Lagoas e Indianópolis e em Rio Verde e Paraúna.

Local	Índice de diversidade de Shannon		
	Dr ¹	Pd ²	Pa ³
Sete Lagoas	1,744	1,153	0,525
Indianópolis	2,201	0,831	0,951
Rio Verde e Paraúna	1,944	0,948	0,886

¹diversidade de Shannon, ²perda na diversidade devido a desvio da frequência ideal de 0,5 de virulência e 0,5 de não virulência e ³perda na diversidade devido a associações de fatores de virulência.

Não houve correlação (r) entre os índices de diversidade, mas foi observada correlação positiva entre o índice de Simpson e de Complexidade de raças, significativa a 1% de probabilidade, pelo teste T (Tabela 8).

TABELA 8 Correlação linear simples de Pearson (r) dos índices de diversidade e de complexidade.

Correlação	Coefficiente de correlação(r)	Significância
Shannon x Simpson	-0,906	ns
Shannon x Gleason	0,963	ns
Simpson x Gleason	-0,759	ns
Shannon x Complexidade	-0,884	ns
Simpson x Complexidade	0,998	*
Gleason x Complexidade	-0,726	ns

* significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste T; ^{ns} não significativo, pelo teste T, a 1% e 5% de probabilidade.

4 DISCUSSÃO

Neste trabalho, observou-se a predominância de raças mais complexas nas populações analisadas. Resultados semelhantes foram obtidos por Valério et al. (2004) que avaliaram 39 tratamentos com misturas e os estandes puros de seus componentes, verificando maior complexidade de raças de *C. sublineolum* nos ambientes com as misturas e redução na diversidade fenotípica de virulência. Silva et al. (2008) analisaram a estrutura de virulência de populações de *C. sublineolum* coletadas em cultivos puros de sorgo em seis localidades do Brasil e observaram elevada complexidade de raças para as populações coletadas em Sete Lagoas e Goiânia, GO. No entanto, a diversidade fenotípica não foi correlacionada com a complexidade em nenhum local. Já no presente trabalho, houve correlação (r) entre o índice de diversidade de Simpson e o índice de complexidade de raças. Esta correlação entre os índices indicou a predominância de raças mais complexas e uniformemente distribuídas em todos os locais avaliados.

É possível que, em Sete Lagoas, a maior complexidade de raças seja o resultado da resposta do patógeno a uma maior diversidade genética encontrada na população local do hospedeiro, devido um grande número de genótipos cultivados todos os anos na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo e à seleção direcional (VanderPlank, 1982), estaria atuando de forma a mantê-las, devido à vantagem adaptativa para o patógeno. A predominância de raças complexas nas misturas em Sete Lagoas pode ser, portanto, o reflexo de uma situação já existente neste local. Supõe-se que, se fossem utilizados mais genótipos da Dow Agrosiences para a caracterização fenotípica da população de Indianópolis, raças de maior complexidade poderiam ser também

identificadas em relação a estes genótipos, as quais refletiriam, provavelmente, a sua adaptação aos genes de resistência presentes nos genótipos da empresa.

Já em Rio Verde e Paraúna, raças mais complexas estariam bem adaptadas, provavelmente porque grande parte dos genótipos cultivados nestes locais é de cultivares da Embrapa Milho e Sorgo e da Dow Agrosiences. É possível que a seleção direcional esteja atuando em favor de raças mais complexas, portanto, bem adaptadas aos híbridos mais resistentes testados. Esta situação em relação à complexidade é parecida com a de Indianópolis. Os estandes puros podem resultar em uma seleção estabilizadora em favor de raças mais simples com um menor número de genes de virulência desnecessários, mas isso depende da composição genética de cada híbrido, pois, se este possuir vários genes de resistência piramidados, a seleção poderá ser igualmente a favor de raças de maior complexidade.

De acordo com a seleção estabilizadora, o acúmulo de virulência desnecessária resultaria em custo adaptativo ao patógeno, pois indivíduos com menor número de alelos de virulência, equivalentes aos alelos de resistência do hospedeiro, estariam mais aptos a predominar na população do patógeno (VanderPlank, 1968). No entanto, de acordo com Costa (2004), em populações hospedeiras diversas, existe tendência à predominância de fenótipos mais complexos. Portanto, os resultados deste trabalho podem ser explicados pela hipótese da seleção estabilizadora. Apesar de as raças de maior complexidade estarem presentes, raças com menor complexidade também foram detectadas, principalmente em Indianópolis e em Rio Verde e Paraúna. Nestes locais, a seleção direcional estaria atuando em maior intensidade que a seleção estabilizadora, que preserva fenótipos menos virulentos e, dessa forma, previne a possível extinção dos mesmos na população do patógeno (Kolmer, 1991).

Maior complexidade de raças não implicou em maior severidade da antracnose, nas misturas de híbridos avaliadas. Esta redução na severidade,

associada a um elevado número de raças complexas na população do patógeno, não ocorre em lavouras formadas por cultivares geneticamente uniformes (Wolfe, 1985). Neste trabalho, as raças complexas foram capazes de infectar o componente resistente da mistura. Portanto, a elevada complexidade não refletiu apenas a resposta do patógeno ao ambiente de maior diversidade do hospedeiro e sugere correlação negativa entre complexidade e agressividade das raças de *C. sublineolum* detectadas.

A eficiência na redução da severidade nas misturas pode ter sido determinada pela redução do *fitness*, ou adaptabilidade do patógeno, devido à competição entre raças simples e complexas nos genótipos misturados. Diferença na habilidade competitiva entre raças de diferentes graus de complexidade foi demonstrada por Casela et al. (2001) e pode ser o motivo de fenótipos complexos levarem mais tempo para se adaptar aos componentes das misturas que aos estandes puros das mesmas (Chin & Wolf, 1984).

A maior complexidade de raças detectada também pode ser explicada devido à deriva genética e ao fluxo gênico. Os resultados deste trabalho evidenciaram a maior frequência de raças virulentas que de raças avirulentas aos genótipos utilizados como diferenciadoras, que aumentou o desvio da frequência ideal de 0,5 de virulência a cada híbrido testado (Groth & Roelfs, 1987b). Portanto, as raças poderiam ter surgido a partir de uma pequena população que evoluiu em resposta a determinados genótipos de hospedeiros comuns a cada região ou o patógeno foi levado a essas regiões via sementes. De acordo com Cardwel et al. (1989), *C. sublineolum* pode ser transportado nessas condições. Caso este transporte esteja ocorrendo, raças do patógeno podem estar sendo levadas de uma região para outra, favorecendo a “quebra” da resistência de cultivares onde estas raças estão sendo introduzidas. Já em Indianópolis, onde o número de fenótipos distintos foi maior em relação a Sete Lagoas, apesar de perdas por desvio (Pd) estarem presentes e terem sido elevadas, maiores perdas

de diversidade de Shannon foram devido à associação de fatores de virulência no patógeno (Pa). Sendo *C. sublineolum* um patógeno com reprodução sexuada rara e/ou não observada na natureza (Vailancourt & Hanau, 1991), a ausência de recombinação genética devido à prevaência de mecanismos de recombinação genética, tais como a parassexualidade e a parameiose, poderiam estar influenciando esta associação (Casela et al., 2000; Souza-Paccola et al., 2003).

Resultados similares foram obtidos por Casela et al. (2000). Estes autores analisaram populações do patógeno coletadas a partir de lavouras de sorgo nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio Grande do Sul e observaram que, apesar de Pd estar presente e ter sido elevada, os maiores valores para as perdas de diversidade de Shannon foram devido a Pa. Utilizando marcadores RFLP no estudo de diversidade de populações de *C. sublineolum*, Rosewich et al. (1998) sugeriram que a deriva genética e o fluxo gênico não foram os principais fatores que contribuíram com a estrutura genética de populações do patógeno e, sim, a reprodução assexuada. Poucos trabalhos foram realizados utilizando marcadores moleculares no estudo populacional de *C. sublineolum*. Portanto, são necessários mais estudos, principalmente em populações coletadas de misturas de cultivares. O uso dessa ferramenta complementaria as informações sobre o fluxo gênico e a deriva genética deste patógeno amostrado de misturas, em condições brasileiras.

Com os resultados obtidos, foi possível confirmar que uma alternativa para o controle eficiente da antracnose seria a utilização de misturas de cultivares, uma vez que o aumento da complexidade das raças do patógeno não afetou, a curto prazo, a efetividade dessas misturas no controle da doença. No entanto, como já foi salientado por Valério et al. (2004), mais estudos devem ser realizados em maiores áreas experimentais, em diferentes estações de cultivo e com um maior número de amostras do patógeno coletadas. Esses tipos de procedimentos complementariam os trabalhos realizados.

5 CONCLUSÕES

Menor diversidade e maior complexidade de raças foram verificadas nas populações de *C. sublineolum* obtidas das misturas, se comparadas à população amostrada em cultivos puros de sorgo.

Maior número de raças do patógeno foi detectado em Indianópolis que em Sete Lagoas, Rio Verde e Paraúna.

Maiores perdas na diversidade de Shannon, devido a associações de fatores de virulência no patógeno, ocorreram em Indianópolis, MG.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALI, M. E. K.; WARREN, H. L. Physiological races of *Colletotrichum graminicola* on sorghum. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 71, n. 5, p. 402-404, May 1987.
- ADRVON, D; DE VALLAVIEILLE-POPE, C. R. Race diversity and complexity in selected populations of fungal biotrophic pathogens of cereals. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 85, n. 5, p. 897-905, May 1995.
- BROWNING, J. A.; FREY, K. J. Multiline cultivars as a means of disease control. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 7, n. 1, p. 355-382, Sept. 1969.
- BROWN, J. K. M. Structure and evolution of a population of *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici*. **Plant Pathology**, Oxford, v.39, n. 3, p. 376-390, Mar. 1990.
- CARDWEL, K.F.; HEPPELY, P.R.; FREDERICKISEN, R. A. Pathotypes of *Colletotrichum graminicola* and transmission of sorghum anthracnose. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 73, n. 3, p. 255-257, Mar. 1989.
- CASELA, C. R.; FERREIRA, A. S. **Antracnose do sorgo (*Colletotrichum graminicola*)**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1998. 19p. (Circular Técnica, 28).
- CASELA, C. R., SANTOS, F. G.; FERREIRA, A. S. Associação de patogenicidade e diversidade fenotípica de *Colletotrichum graminicola* agente causal da antracnose em sorgo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, p. 517-521, jul./set. 2000.
- CASELA, C. R.; FERREIRA, A. S.; SANTOS, F. G. Differences in competitive ability among races of *Colletotrichum graminicola*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.26, n.2, p. 217-219, abr./jun. 2001.
- CHIN, K. M.; WOLFE, M. S. The spread of *Erysiphe graminis* f. sp. *hordey* in mixtures of barley varieties. **Plant Pathology**, Oxford, v. 33, n. 1, p. 89-100, Mar. 1984.

COSTA, R. V.; CASELA, C. R.; ZAMBOLIM, L.; SANTOS, F. G.; VALE, F. X. R. Evaluation of genetic mixtures of sorghum lines for anthracnose resistance management. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 5, p. 525-526, set./out. 2005.

COSTA, R. V. **Estudo da herança genética e manejo da antracnose do sorgo por meio da diversificação da população hospedeira**. 2004. 98f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

FERREIRA, A. S.; CASELA, C. R. Raças Patogênicas de *Colletotrichum graminicola*, Agente Causal da Antracnose Em Sorgo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 11, n. 1, p. 83-87, mar. 1986.

FREDERIKSEN, R. A. **Compendium of Sorghum diseases**. Saint Paul: American Phytopathological Society, 2000.

GROTH, J. V.; ROELFS, A. P. The concept and measurement of phenotypic diversity in *Puccinia graminis* on wheat. **Phytopathology**, Saint Paul, v.77, n.10, p. 1395-1399, Oct. 1987a.

GROTH, J. V.; ROELFS, A. P. Analysis of virulence diversity in populations of plant pathogens. In: WOLF, M.S.; CATEN, C.E. (Ed.). **Population of plant pathogens: their dynamics and genetics**. Oxford: Blackwell Scientific, 1987b. p. 63-74.

GUIMARÃES, F. B. ; CASELA, C. R. ; SANTOS, F. G. ; FERREIRA, A. S. Controle da antracnose do sorgo através da utilização de mistura de cultivares. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 24, n. 2, p. 131-135, abr./jun. 1998.

HABGOOD, H. Designation of Physiological races of Plant Pathogens. **Nature**, London, v. 227, n. 5264, p. 1268-1269, Sept. 1970.

HARRIS, H. B.; JONHSON, R. *Sorghum* anthracnose symptoms, importance and resistance. In: BIEN GRAIN SORGHUM RESEARCH AND UTILIZATION CONFERENCE, 5., 1967, Lubbock. **Proceedings...** Lubbock: Grain sorghum Producers Association, 1967. p. 48-52.

HARRIS H. B.; SOWELL, G. J. Incidence of *Colletotrichum graminicola* on *Sorghum bicolor* introductions. **Plant Disease Reporter**, Washington, v. 54, n. 1, p. 60-62, 1970.

HUANG, R.; KRANS, J.; WELZ H.G. Selection of pathotypes of *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei* in pure and mixed stands of spring barley. **Plant Pathology**, Oxford, v. 43, n. 3, p. 458-470, June 1994.

KOLMER, J. A. Phenotypic diversity in two populations of *Puccinia recondite* f.sp. *tritici* in Canada during 1931-1987. **Phytopathology**, Saint Paul, v.1, n.3, p. 311-315, Mar. 1991.

LANNOU, C.; MUNDT, C. C. Evolution of pathogen population in host mixtures. I. Studies of the simple race-complex race equilibrium. **Plant Pathology**, Oxford, v. 45, n. 3, p. 440-453, June 1996.

LANNOU, C.; MUNDT, C. C. Evolution of pathogen population in host mixtures: rate of emergency of complex races. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 94, n. 8, p. 991-999, June 1997.

MUNDT, C. C. Use of multiline cultivars and cultivar mixtures for disease management. **Annual Reviews of Phytopathology**, Palo Alto, v. 40, n. 1, p. 381-410, Sept. 2002.

NAKAMURA, K. **Especialização Fisiológica em *Colletotrichum graminicola* (Ces.) Wils. (Sensu Arx., 1957) Agente Causal da Antracnose em Sorgo.** 1984. 143 p. Tese (Livre Docência) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

NIETSCHKE, S. A.; BOREM, A.; CARVALHO, G. A.; PAULA JÚNIOR, T. J.; FERREIRA, C. F.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Genetic diversity of *Phaeosariopsis griseola* in the State of Minas Gerais, Brazil. **Euphytica**, Wageningen, v.117, n. 1, p. 77-84, 2001.

ROSEWHICH, U. L.; PETTWAY, R. E.; MCDONALD, B. A.; DUNCAN, R. R.; FREDERIKSEN, R. A. Genetic structure and temporal dynamics of a *Colletotrichum graminicola* population in a sorghum disease nursery. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 88, n. 11, p.1087-1093, Nov. 1998.

SIFUENTES BARRERA, J. A.; FREDERIKSEN, R. A. Evaluation of Shorgum hybrid mixtures for controlling sorghum leaf blight. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 78, n. 5, p. 499-503, May 1994.

SILVA, D. D. CASELA, C. R.; CASTRO, H. A.; SANTOS, F. G.; FERREIRA, A. S. Diversidade populacional de *Colletotrichum sublineolum* em seis localidades no Brasil. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 34, n. 2, p. 149-155, abr./jun. 2008.

SOUZA, B. O.; CASELA, C. R.; COSTA, R. V. Associações de virulência e diversidade fenotípica de *Colletotrichum sublineolum* em diferentes regiões do Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 27. 2008, Londrina. **Resumos...** Londrina, IAPAR: 2008. p. 129.

SOUZA-PACCOLA, E. A.; FÁVARO, L. C. L.; CASELA, C. R.; PACCOLA-MEIRELLES, L. D. Genetic recombination in *Colletotrichum sublineolum*. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 151, n. 6, p. 329-334, June 2003.

VAILLANCOURT, L. J.; HANAU, R. M. A method for genetic analysis of *Glomerella graminicola* from maize. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 81, n. 5, p. 530-534, May 1991.

VALÉRIO, H. M.; CASELA, C. R.; RESENDE, M. A. R.; SANTOS, F. G.. Variability of the anthracnose fungus *Colletotrichum graminicola* in sorghum genotype mixtures. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 5, p.567-569, set./out. 2004.

VANDERPLANK, J. E. **Disease resistance in plants**. New York: Academic, 1968. 206p.

VANDERPLANK, J. E. **Host-pathogen interaction in plant disease**. New York: Academic, 1982. 207 p.

WOLFE, M. S. The current status and prospects of multiline cultivars and variety mixtures for disease resistance. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 23, n. 1, p. 251-273, Sept. 1985.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos com a realização deste trabalho possibilitaram observar que o uso de misturas de híbridos resistentes e suscetíveis disponíveis no mercado é uma alternativa eficiente, econômica e deve ser utilizada para a redução da severidade da antracnose do sorgo. Isso porque elas protegem cultivares agronomicamente importantes, que tiveram sua resistência superada devido a mudanças nas populações de raças do patógeno, reduzindo assim o uso de insumos nos plantios puros. Visto que o aumento de raças complexas nas misturas não reduziu, a curto prazo, a eficiência de um híbrido resistente conferir proteção a um suscetível, o acompanhamento contínuo da reação de híbridos com características agrônomicas desejáveis, em misturas, pode oferecer subsídios que indiquem em quais locais estes híbridos terão a possibilidade de permanecer produtivos e viáveis por mais tempo, sob a proteção de híbridos resistentes. Desenvolver híbridos resistentes é uma tarefa trabalhosa e onerosa, pois isso depende de investimentos por parte de empresas produtoras de sementes. Portanto, quanto maior a vida útil de um determinado híbrido comercial que foi resistente anteriormente, mais bem aproveitados serão o tempo e os investimentos dispensados para o seu desenvolvimento.

ANEXOS

ANEXO A	Página
TABELA 1A Reação de 5 híbridos de sorgo a <i>C. sublineolum</i> , em Sete Lagoas, MG	87
TABELA 2A Reação de 5 híbridos de sorgo a <i>C. sublineolum</i> , em Rio Verde e Paraúnas, GO.....	87
TABELA 3A Reação de 5 híbridos de sorgo a <i>C. sublineolum</i> , em Indianópolis, MG.....	88
TABELA 1A Reação de 5 híbridos de sorgo a <i>C. sublineolum</i> , em Sete Lagoas, MG.	

Híbridos	Raças											
	7	9	11	14	15	18	19	24	25	27	29	31
BRS304	S	S	S	R	S	R	S	R	S	S	S	S
IG150	S	R	S	S	S	S	S	R	R	S	R	S
DAS740	S	R	R	S	S	R	R	R	R	R	S	S
BR310	R	S	S	S	S	R	R	S	S	S	S	S
992045	R	R	R	R	R	S	S	S	S	S	S	S
Total de isolados	1	1	1	1	1	1	3	1	4	7	1	38

TABELA 2A Reação de 5 híbridos de sorgo a *C. sublineolum*, em Rio Verde e Paraúnas, GO.

Híbridos	Raças											
	1	2	3	9	11	15	18	19	23	25	27	31
BRS304	S	R	S	S	S	S	R	S	S	S	S	S
IG150	R	S	R	R	S	S	S	S	S	R	S	S
DAS740	R	R	S	R	R	S	R	R	S	R	R	S
BR310	R	R	R	S	S	S	R	R	R	S	S	S
992045	R	R	R	R	R	R	S	S	S	S	S	S
Total de Isolados	2	4	1	4	2	1	2	1	1	3	11	16

TABELA 3A Reação de 5 híbridos de sorgo a *C. sublineolum*, em Indianópolis, MG.

Híbridos	Raças																		
	1	2	3	5	7	9	11	13	15	17	18	19	23	24	25	27	29	31	
BRS304	S	R	S	S	S	S	S	S	S	S	R	S	S	R	S	S	S	S	
IG150	R	S	S	R	S	R	S	R	S	R	S	S	S	R	R	S	R	S	
DAS740	R	R	R	S	S	R	R	S	S	R	R	R	S	R	R	R	S	S	
BR310	R	R	R	R	R	S	S	S	S	R	R	R	R	S	S	S	S	S	
16992045	R	R	R	R	R	R	R	R	R	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
Total de isolados	4	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2	3	1	4	1	8	1	14	

06

ANEXO B		Página
TABELA 1B	Análise de variância conjunta para AACPD dos tratamentos obtidas nos experimentos de avaliação de misturas de híbridos de sorgo, em Sete Lagoas e Indianópolis, MG.....	90
TABELA 2B	Análise de variância conjunta para a produção de grãos, em kg/ha, obtidos dos plantios com misturas de híbridos de sorgo, em Sete Lagoas e Indianópolis, MG.....	91

TABELA 1B Análise de variância conjunta para AACPD dos tratamentos obtidas nos experimentos de avaliação de misturas de híbridos de sorgo, em Sete Lagoas e Indianópolis, MG.

	FV	GL	S.Q	Q.M	Fc(Pr>Fc)
	Safra	1	881792,00	881792,00	12,539 ^{**}
	Local (Safra)	2	2054151,11	1027075,56	14,604 ^{**}
	Blocos (Safra*Local)	8	924095,56	115511,94	1,643 ^{ns}
92	Tratamento	5	10905859,17	2181171,83	31,015 ^{**}
	Tratamento*Safra	5	1412869,83	282573,97	4,018 [*]
	Tratamento*Local (Safra)	10	1424289,22	142428,92	2,025 ^{ns}
	Resíduo	40	2813061,11	70326,53	
	CV (%)			28,07	
	Média geral			944,83	

^{ns}não significativo; ^{**}altamente significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade; ^{*} significativo, a 5% de probabilidade pelo teste F.

TABELA 2B Análise de variância conjunta para a produção de grãos, em kg/ha, obtidos dos plantios com misturas de híbridos de sorgo, em Sete Lagoas e Indianópolis, MG.

	FV	GL	S.Q	Q.M	Fc(Pr>Fc)
	Safra	1	407611683,07	407611683,073	13,45 ^{**}
	Local (Safra)	2	2.782477543,00	1.39123877,00	45,91 ^{**}
	Blocos (Safra*Local)	8	423986468,67	52998308,58	1,75 ^{ns}
	Tratamento	5	769215440,36	153843088,07	5,08 ^{**}
93	Tratamento*Safra	5	409621140,68	81924228,14	2,70 [*]
	Tratamento*Local (Safra)	10	635857672,17	63585767,22	2,10 [*]
	Resíduo	40	1.212175121,00	30304378,01	
	CV (%)			31,43	
	Média geral			1751,67	

^{ns}não significativo; ^{**}altamente significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade; ^{*} significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F.