

Sistemas de plantio de soja e efeito sobre a concentração de microesclerócios de *Macrophomina phaseolina*



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Soja
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
15

Sistemas de plantio de soja e efeito sobre
a concentração de microesclerócios
de *Macrophomina phaseolina*

Luann Augusto Festras Dias, Álvaro Manuel Rodrigues Almeida, Ivani de Oliveira
Negrão Lopes, Henrique Debiasi, Claudine Dinali Santos Seixas, Rubson Natal
Ribeiro Silbaldelli e José Renato Bouças Farias

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Soja
Rod. Carlos João Strass, s/n,
acesso Orlando Amaral
C.P. 231, CEP 86001-970
Fone:3371-6000
www.embrapa.br/soja
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Soja

Presidente
Ricardo Vilela Abdelnoor

Secretária-Executiva
Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite

Membros
Alvadi Antonio Balbinot Junior, Claudine Dinali Santos Seixas, Fernando Augusto Henning, José Marcos Gontijo Mandarino, Liliane Márcia Mertz-Henning, Maria Cristina Neves de Oliveira, Norman Neumaier e Osmar Conte

Supervisão editorial
Vanessa Fuzinato Dall' Agnol

Normalização bibliográfica
Ademir Benedito Alves de Lima

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Ruy Rafael de França Santos

Foto da capa
Alvaro Manuel Rodrigues Almeida

1ª edição
PDF digitalizado (2018)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Soja

Sistemas de plantio de soja e efeito sobre a concentração de microesclerócios de *Macrophomina phaseolina* / Luan Augusto Festras Dias...[et al.] – Londrina: Embrapa Soja, 2018.

PDF (22 p.) : il. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Soja, ISSN 2178-1680 ; n.15)

1.Soja-Doença de planta-Fungo. 2.Macrophomina phaseolina. 3.Plantio direto. I.Dias, Luan Augusto Festras. II.Almeida, Álvaro Manuel Rodrigues. III.Lopes, Ivani de Oliveira Negrão. IV.Debiasi. Henrique. V.Seixas, Claudine Dinali Santos. VI.Sibaldelli, Rubson Natal Ribeiro. VII. Farias, José Renato Bouças. VIII.Título. IX.Série.

CDD 633.3494

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução.....	8
Material e Métodos	9
Resultados e Discussão	12
Conclusões.....	20
Referências	20

Sistemas de plantio de soja e efeito sobre a concentração de microesclerócios de *Macrophomina phaseolina*

Luann Augusto Festras Dias¹
Álvaro Manuel Rodrigues Almeida²
Ivani de Oliveira Negrão Lopes³
Henrique Debiasi²
Claudine Dinali Santos Seixas²
Rubson Natal Ribeiro Silbaldelli⁴
José Renato Bouças Farias²

Resumo - Esse estudo apresenta os resultados da avaliação do efeito de cinco sistemas de plantio de soja (Grade Pesada; Arado de Disco; Escarificador; Plantio Direto com escarificação a cada três anos; Plantio direto sem escarificação) sobre a concentração de microesclerócios do fungo *Macrophomina phaseolina* nos solos, expressa em número de colônias por grama de solo seco. Os dados foram obtidos a partir de amostragens de solo realizadas em um experimento de longa duração implantado em abril de 1992, na pós-colheita de três safras consecutivas (2015-2017). Além da concentração total de microesclerócios nas amostras de solo extraídas na profundidade 0-10 cm, avaliou-se também a distribuição de microesclerócios nas profundidades 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm e 20-30 cm, na primeira safra. Os resultados das análises mostraram que a concentração de microesclerócios nos solos variou entre as safras, independente do sistema de plantio, porém em diferentes magnitudes. Essa variação é discutida com base nas características de cada sistema de plantio, em face das condições climáticas ocorridas em cada safra. Além disso, as análises mostraram que o sistema de plantio pode alterar significativamente a taxa de microesclerócios nas diferentes camadas de solo. Finalmente, esse trabalho mostra que embora os fatores climáticos

¹ Eng.agr., Mestrando do Departamento de Genética, UEL, Londrina, PR

² Eng.agr., Dr., Pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR

³ Matemática, Dr^a., Pesquisadora da Embrapa Soja, Londrina, PR

⁴ Matemático, Especialista em Estatística, Londrina, PR

sejam sabidamente críticos à severidade da doença, os sistemas de plantio podem contribuir para o aumento ou a redução da concentração de inóculo do fungo *M. phaseolina* no solo.

Termos para indexação: *Glycine max*, podridão-de-carvão, sistema plantio direto, revolvimento de solo.

Soybean planting systems and effects on the concentration of *Macrophomina phaseolina* microsclerotia

Abstract - This study presents the results of evaluations performed to assess the effects of five planting systems of soybean (Heavy disk harrow; Disk plough; Chisel plough; No-tillage chiseled every three years; No-tillage) on the concentration of microsclerotia of the fungus *Macrophomina phaseolina* on soils. To quantify the effects, the number of microsclerotia per gram of dry soil was determined from soil samples collected after the harvest period of three consecutive soybean crop years (2015-17), in a long-term experiment that started in 1992. In addition to the concentrations of microsclerotia in the 0-10 cm soil layers, it was also evaluated the distribution of microsclerotia in the depths 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm and 20-30 cm of soil layers, in the first crop year. The analyses show that the concentration of microsclerotia varied between crop years, despite the planting system, but in different magnitudes. This variation is interpreted considering the characteristics of each planting system and the weather conditions during each crop year. In addition, the results show that the planting systems can significantly change the rate of microsclerotia distribution in the soil layers. Finally, this study shows that although the weather conditions play an important role in the severity of the disease caused by the fungus, the planting system may contribute to a significant increase or reduction of *M. phaseolina* inoculum in the soil.

Index terms: *Glycine max*, charcoal rot, no-tillage system, soil revolving.

Introdução

Macrophomina phaseolina Tassi (Goid.) é o fungo causador da podridão-de-carvão, doença que pode provocar perdas tanto de produtividade quanto de qualidade de sementes de soja (Mengistu et al., 2007, 2015).

Em São Paulo, na safra 1972/73, aparentemente, foi a primeira vez que o fungo foi detectado em plantas de soja mortas, que apresentavam numerosas riscas, muito finas de coloração cinza, no lenho do colo e da raiz principal (Issa, 1973). Em levantamentos realizados durante os anos de 1974 e 1975, em lavouras de soja nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, constatou-se que, em 104 lavouras, 5% das plantas apresentavam infecção radicular causada por *M. phaseolina* (Lehman et al., 1976). No entanto, os maiores danos causados a essa cultura no Brasil foram, primeiramente, relatados por Ferreira et al. (1979), constatando que, em anos secos, na região norte do estado do Paraná, as perdas das cultivares tardias chegaram a 50%. Outros dados demonstraram que os prejuízos causados pela podridão-de-carvão, no Brasil, atingiram 900 mil toneladas de grãos, em 1996/97 (Wrather et al., 1997). Dependendo das condições climáticas durante o ciclo da cultura da soja, temperatura elevada, deficit hídrico e antagonismos por outros microrganismos, a importância dessa doença torna-se maior (Bristow; Wyllie, 1975; Etebarian, 2006; Marroni; Germani, 2011; Abdallah et al., 2013; Khaledi; Taheri, 2016).

O fungo pode ser transmitido por semente (Kunwar et al., 1976). Quando infectadas as sementes podem não germinar ou germinar e a morte ocorrer na fase de plântula. Plantas infectadas após os primeiros estádios de desenvolvimento geralmente não apresentam sintomas até o período reprodutivo. Os sintomas aparecem normalmente durante períodos de temperatura alta e deficit hídrico (Mengistu et al., 2015).

As raízes de plantas infectadas ficam com o sistema vascular marrom-escuro, a epiderme se solta facilmente e é possível visualizar pontuações negras, que são os microesclerócios (Dhingra; Sinclair, 1978). As folhas de plantas infectadas amarelecem e secam, mas não caem (Mengistu et al., 2015).

Os microesclerócios são estruturas negras, lisas e duras (Crous et al., 2006), responsáveis pela sobrevivência do fungo no solo e sua longevidade pode chegar a três anos (Dhingra; Sinclair, 1978). O fungo é um habitante natural do solo. Em solos de mata nativa microesclerócios de *M. phaseolina* foram encontrados na concentração de 0,42 microesclerócios por grama de solo seco, já em áreas vizinhas cultivadas com soja e milho, a concentração variou de 45 a 1280 microesclerócios por grama de solo seco (Almeida et al., 2010).

A sobrevivência do fungo depende também da profundidade em que os microesclerócios podem ser encontrados (Baird et al., 2003). Os microesclerócios constituem o inóculo inicial do fungo e a severidade da doença está diretamente relacionada com a sua concentração no solo (Short et al., 1980).

O fungo tem ampla gama de hospedeiros, não há cultivares resistentes disponíveis e o controle químico não é viável, portanto há poucas opções para manejo da doença (Ilyas et al., 1975; Short et al. 1980; Wrather et al., 1998; Islam et al., 2012).

Em área onde a doença já ocorre o agricultor deve adotar medidas que possam minimizar o estresse das plantas, no caso de períodos de estiagem e que aumentem a matéria orgânica do solo (Dhingra et al., 1976; Short et al., 1980; Kendig et al., 2000). O sistema de plantio pode influenciar a maioria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo responsáveis pelo desenvolvimento das plantas, podendo, portanto interferir na ocorrência e/ou na intensidade de doenças radiculares, entre elas a podridão-de-carvão (Torres et al., 2010).

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de sistemas de plantio de soja sobre a concentração de microesclerócios de *M. phaseolina* no solo.

Material e Métodos

Os dados gerados neste estudo foram obtidos a partir de amostragens de solo realizadas em um experimento de longa duração implantado em abril de 1992, na fazenda experimental da Embrapa Soja, em Londrina-PR (latitude 24°12'12.59"S, longitude 51°10'49.18"O e altitude de 640 m). Nesse experimento, monitorou-se os efeitos, a longo prazo, dos sistemas de manejo da cultura e de preparo do solo, em variáveis agrônômicas.

Obtenção das amostras de solo

As amostras de solo foram coletadas em parcelas experimentais de cinco sistemas de preparo do solo, em quatro blocos, após as safras de verão (mês de março) nos anos de 2015, 2016 e 2017. Os sistemas de cultivo utilizados consistiram em: 1. Grade pesada (GPr); 2. Arado de disco e gradagem (AD); 3. Escarificador anualmente (EAr); 4. Plantio Direto com escarificação a cada três anos (DCRr); 5. Plantio Direto (Dlr). As parcelas mediam 8 m x 12 m. Retirou-se cinco amostras em cada parcela, na profundidade de 0-10 cm, compondo uma amostra composta.

Para verificar a concentração em diferentes profundidades, em 2016 foram coletadas também, amostras nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm e 20-30 cm. Retiraram-se cinco amostras em cada parcela. Cada amostra de 20-40 g, combinadas, compunha uma subamostra.

Todas as amostras de solo foram obtidas com auxílio de trado tipo holandês, com 5 cm de diâmetro.

Determinação da concentração de microesclerócios

Para determinar a concentração de microesclerócios, foi utilizado o método descrito por Short et al. (1980).

Inicialmente, foi determinado o teor de umidade das amostras mantendo-as a 104 °C, por 24 horas. Para o preparo do meio de cultura específico, cozinhou-se batata em 1 L de água destilada. Filtrou-se e adicionou-se 12 g de dextrose, 0,1 g de Rosa de Bengala e procedeu-se a homogeneização. Em seguida, alíquotas de 80 mL dessa solução e 1,2 g de ágar bacteriológico foram colocados em frascos de vidro, com capacidade para 250 mL. Esses foram autoclavados a 121 °C por 40 min, procedendo-se em seguida o resfriamento em banho-maria, a 45 °C, para evitar a solidificação.

As amostras de solo coletadas foram secas com ventilação forçada (40 °C) e peneiradas em peneira 2 mm mesh. Foram pesadas 5 g num béquer de 100 mL e adicionada uma solução de hipoclorito de sódio (NaOCl) 0,6%, homogeneizada com bastão de vidro e deixada em repouso por 5 minutos. A seguir, verteu-se sobre um conjunto de tamis: o primeiro com 90 µm (170 mesh) reteve apenas resíduos maiores, e o segundo com 44 µm (425 mesh)

reteve apenas os microesclerócios, lavados posteriormente, em 15 mL de água destilada, por 4 min. Esse procedimento foi realizado para cada amostra analisada. A amostra de solo preparada dessa forma, foi adicionada ao meio de cultura mantido em banho-maria, juntamente com 1,28 mL de suspensão de estreptomicina/ cloroneb (1 g/1 g em 100 mL de água destilada esterilizada). A seguir, o remanescente de solo no béquer foi lavado com 5 mL de água esterilizada, que foi homogeneizado e vertido em cinco placas de Petri (1 mL/placa). Após esse procedimento o meio foi deixado para solidificar à temperatura ambiente. Em seguida foi levado à incubadora a 28 °C, onde permaneceu por 10 dias. Após esse período fez-se a contagem do número total de colônias de *M. phaseolina*, que se desenvolveu nas cinco placas. O resultado obtido foi dado em número de colônias por grama de solo seco.

As amostras de cada parcela no campo, de cada ano agrícola, foram quotizadas em três subamostras, as quais foram utilizadas para a determinação do número de microesclerócios em três ensaios laboratoriais independentes.

Análise de dados

Os dados oriundos do número de microesclerócios foram submetidos à análise de variância, utilizando-se técnicas de modelos lineares generalizados mistos, adotando-se as distribuições Normal (dados anuais) e gama (dados de profundidade) na descrição do número de esclerócios e, os efeitos fixos e aleatórios de acordo com as Equações:

Dados anuais:

$$\underbrace{M}_{\text{Vetor dados}} = \underbrace{\mu + A + Ps + APs}_{X\beta} + \underbrace{B(AR)}_{Z\gamma} + \underbrace{\varepsilon}_{\text{vetor erros}} \quad (1)$$

Dados profundidade:

$$\underbrace{M}_{\text{Vetor dados}} = \underbrace{\mu + Ps + Pr + PsPr}_{X\beta} + \underbrace{B(Ps)}_{Z\gamma} + \underbrace{\varepsilon}_{\text{vetor erros}} \quad (2)$$

Em que:

M = número de microesclerócios;

μ = média geral;

A = efeito de ano;

Ps, Pr = efeito do sistema de preparo do solo e efeito da profundidade;

APs, PsPr = efeito da interação entre ano e sistema de preparo do solo, e efeito da interação sistema de preparo do solo e profundidade;

B(AR), B(Ps) = efeito de bloco, dentro da repetição laboratorial de cada ensaio em cada ano e, efeito da interação parcela (sistema de preparo do solo) e bloco;

X = matriz do delineamento dos efeitos fixos;

Z = matriz do delineamento dos efeitos aleatórios;

β = vetor de coeficientes correspondentes aos efeitos fixos;

γ = vetor de coeficientes correspondentes aos efeitos aleatórios.

Outros modelos, com diferentes estruturas de erro e diferentes distribuições de dados foram explorados, tendo sido escolhidas as equações 1 e 2 com base em critérios de qualidade de ajuste e por meio da aleatoriedade, da normalidade e da independência dos erros experimentais. As médias estimadas foram comparadas pelo teste de comparações múltiplas de Tukey, ao nível de significância menor ou igual a 5%.

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos estão de acordo com aqueles de Short et al. (1980) que verificaram redução do número total de microesclerócios com o aprofundamento das camadas de solo (0-10 cm; 10-20 cm), detectados no meio seletivo utilizado (Figura 1). O presente estudo envolveu uma maior profundidade (30 cm), na qual se constatou uma maior redução do número de microesclerócios.

Com os resultados dos anos de 2015, 2016 e 2017 (Figura 2), foi feita avaliação do número de microesclerócios por ano e entre os tratamentos. Constatou-se acentuada diferença entre anos. A comparação do escarificador, grade pesada, arado de disco, plantio direto com escarificação a cada três anos, ou simplesmente plantio direto, nos sistemas de preparo do solo, demonstrou que houve menor concentração de microesclerócios, durante os três anos (2015, 2016 e 2017) no plantio direto (Figura 2). O sistema de escarificação resultou no maior número de microesclerócios por ano. O plantio

direto, com escarificação a cada três anos, mostrou valores intermediários (45 microesclerócios g⁻¹ de solo seco) entre a total movimentação do solo e o plantio direto (32 microesclerócios g⁻¹ de solo seco). Olanya e Campbell (1988) mencionam esse fato e acrescentaram que se a competência epidemiológica de um patógeno de solo é alta, então por meio de múltiplas movimentações do solo, maior número de plantas estariam sujeitas a serem infectadas. Nesse estudo, os autores observaram que o grau de agregação de microesclerócios de *M. phaseolina* diminuiu com a movimentação do solo, o que não ocorre em plantio direto.

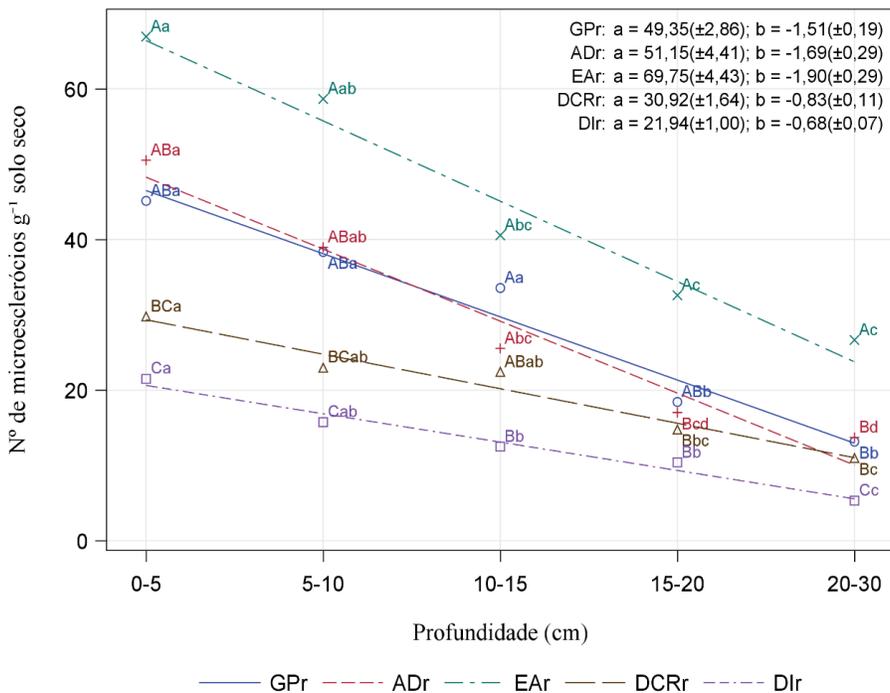


Figura 1. Média do número de microesclerócios por grama de solo seco, observado em cinco profundidades do perfil do solo, sob cinco sistemas de cultivo no ano de 2015. GPr=Grade Pesada; AD=Arado de Disco; EAr=Escarificador; DCRr= Plantio Direto com Escarificação a cada 3 anos; Dlr=Plantio direto, sem escarificação; a, b= estimativas dos parâmetros da regressão linear entre profundidade e número de microesclerócios (±erros padrões). Letras maiúsculas indicam os resultados do teste de comparações múltiplas de Tukey ($p \leq 0,05$) entre os sistemas de plantio dentro de cada profundidade e, letras minúsculas correspondem às comparações entre as profundidades, dentro de cada sistema de plantio; letras iguais indicam diferenças não significativas.

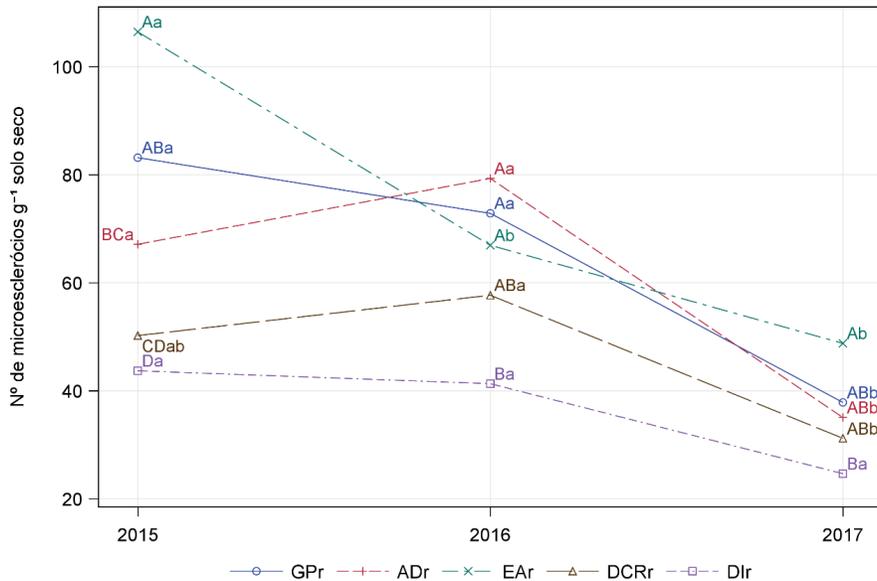


Figura 2. Média do número de microesclerócio por grama de solo seco entre os diversos sistemas de plantio, nos anos de cultivo 2015 a 2017. GPr=Grade Pesada; AD=Arado de Disco; EAr=Escarificador; DCRr= Plantio Direto com Escarificação a cada três anos; Dlr=Plantio direto, sem escarificação. Letras minúsculas indicam os resultados do teste de comparações múltiplas de Tukey ($p \leq 0,05$) dentro de cada profundidade e letras maiúsculas correspondem às comparações entre os tratamentos, dentro de cada sistema de plantio; letras iguais indicam diferenças não significativas.

Na Figura 3 é apresentada a média do número de microesclerócio, verificado nos diferentes sistemas de cultivo após as três safras (2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017).

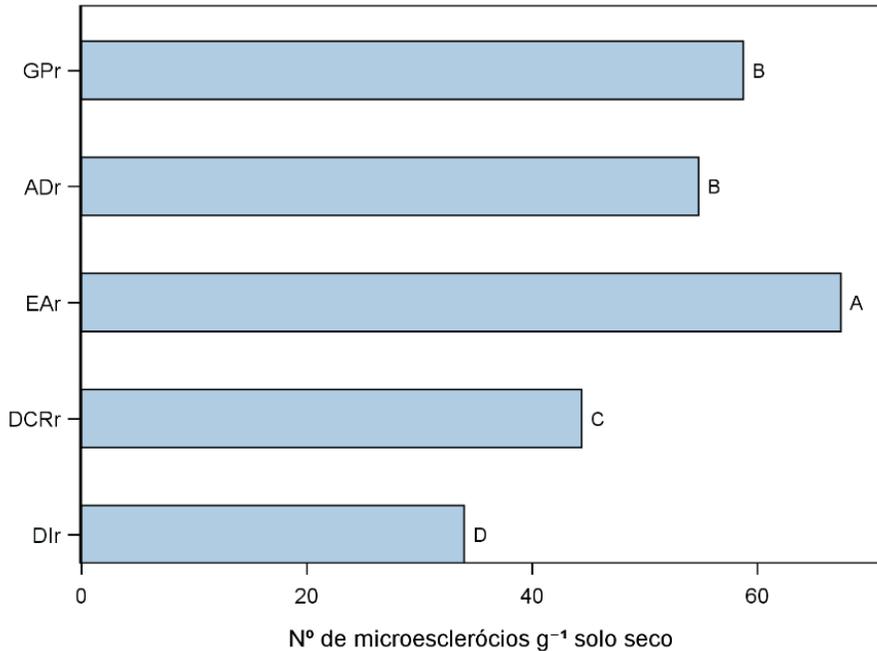


Figura 3. Média do número de microesclerócios por grama de solo seco entre os diversos sistemas de plantio. GPr=Grade Pesada; AD= Arado de Disco; EAr=Escarificador; DCRr=Plantio Direto com escarificação a cada três anos; Dlr=Plantio Direto, sem escarificação. Resultados do teste de comparações múltiplas de Tukey ($p \leq 0,05$).

Em relação à precipitação pluviométrica (Figura 4), os totais acumulados nos períodos de outubro ao primeiro decêndio de março nos anos avaliados, períodos esses que abrangem as safras agrícolas de verão, foram 618,4 mm; 1389,9 mm e 936 mm, nas safras 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017, respectivamente.

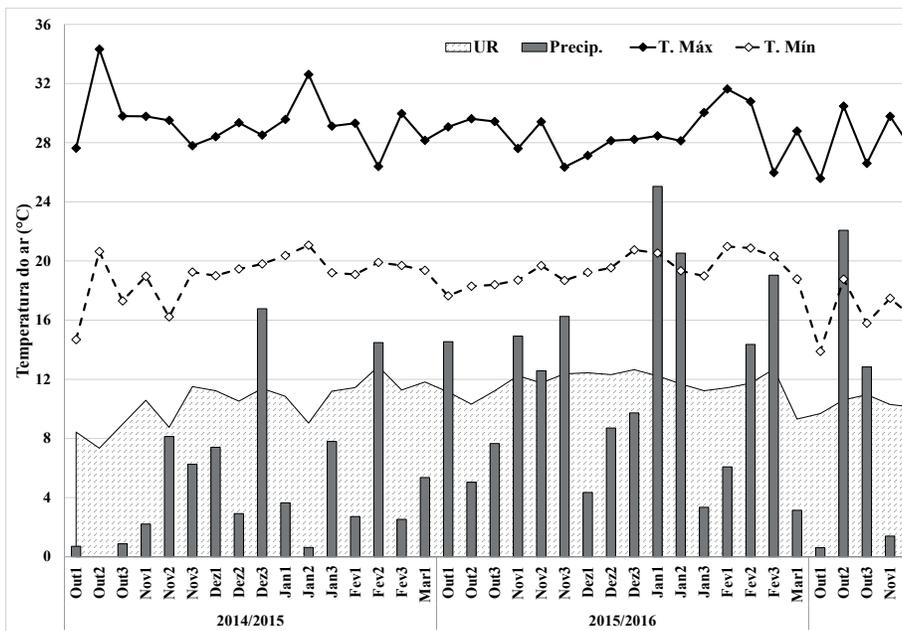


Figura 4. Dados meteorológicos decendiais (Embrapa Soja, Londrina, PR) nas safras agrícolas de verão de 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. Temperatura do ar máxima (T. Máx, °C), temperatura do ar mínima (T. Mín, °C), umidade relativa do ar (UR, %) e precipitação pluviométrica acumulada (Precip., mm).

De acordo com Short et al. (1980), flutuações trimestrais entre a quantidade de microesclerócios, durante os anos de 1975 e 1977, foram observadas em amostras de solo, coletadas em duas diferentes profundidades (0-10 cm; 10-20 cm), em monocultura e culturas alternadas de soja e milho. Além disso, grandes diferenças entre as temperaturas de verão (50 °C) e inverno (-10 °C), constatadas no estado do Missouri (EUA), podem estar relacionadas (Bristow; Wyllie, 1975).

Os dados de Dias et al. (2016) mostram que variações espaciais, nas amostragens anuais efetuadas no mês de março, dos anos de 2015, 2016 e 2017, podem ter contribuído para essa variação. Outros aspectos podem influenciar na variação do número de microesclerócios, entre os anos, em área demarcada com coordenadas geográficas, como a presença de organismos antagonistas à *M. phaseolina*, como diferentes espécies de fungos

(Etebarian, 2006; Khaledi; Taheri, 2016), bactérias (Marroni; Germani, 2011) e actinomicetos (Abdallah et al., 2013).

Nos anos mais secos, houve maior concentração de microesclerócios, o que pode ser claramente observado na safra de 2014/2015, que teve a menor precipitação pluviométrica acumulada (618,4 mm) entre as três safras avaliadas (2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017). É importante salientar duas situações de seca que podem se originar durante o ciclo de plantas de soja: seca intermitente ou seca terminal de plantas de soja (Ludlow; Muchow, 1990). Essa última, associada a altas temperaturas, é fator predisponente à infecção e à produção de grãos chumbinho, com redução da produtividade. Durante a semeadura, com temperaturas amenas, a infecção já pode ter ocorrido nos estádios iniciais da cultura (Almeida et al., 2014). A infecção inicial das raízes vai afetar o desenvolvimento das plantas apenas quando as temperaturas vêm acompanhadas de estiagem.

O presente estudo mostrou que a seca na fase inicial ocorreu na safra 2014/2015, com precipitação de 89,5 mm no primeiro decêndio de outubro de 2014. No ano de 2015, os dados referentes ao primeiro decêndio de março indicaram que a precipitação na fase final da lavoura foi de 59,2 mm. Ficou constatada uma interação entre temperatura do solo e teor de umidade. Olaya e Abawi (1996) observaram, primeiramente, a doença em condições de seca. Esses autores procuraram avaliar o efeito da umidade, representada pelo potencial da água na matriz do solo na sobrevivência de microesclerócios. Foram utilizados os potenciais de 0 J kg⁻¹, -10 J kg⁻¹, -40 J kg⁻¹, -100 J kg⁻¹, -400 J kg⁻¹, -500 J kg⁻¹ e -1.500 J kg⁻¹ (quanto mais negativo esse valor, mais seco estará o solo). Duas e quatro semanas após, os autores observaram que os microesclerócios das amostras de solo, mantidos a 40 °C e a potenciais osmóticos de -10 J kg⁻¹ e -1.500 J kg⁻¹ apresentavam viabilidade de 40% e 0%, respectivamente. Os microesclerócios mantidos em solo seco ao ar apresentavam 100% de viabilidade. Também avaliaram o efeito do potencial osmótico da água na colonização de fragmentos de hastes de feijão. A colonização dos fragmentos de hastes de feijão aumentava à medida que diminuía o potencial osmótico da água, atingindo o máximo de colonização com o valor de -4.990 J kg⁻¹, decrescendo a partir desse valor. Da mesma forma, o número de microesclerócios desenvolvidos no tecido infectado seguiu a mesma resposta da colonização. Esses trabalhos demonstraram que *M. phaseolina*

pode sobreviver e colonizar fragmentos de haste de feijão, mesmo em condições de baixíssimo teor de umidade.

A condição ideal de umidade do solo, para a cultura da soja, é de -40 J kg^{-1} próximo à capacidade de campo, tolerando potenciais de água no solo de -50 J kg^{-1} a 150 J kg^{-1} (Doorenbos; Pruitt, 1976).

Diversos relatos associam o deficit hídrico à infecção por *M. phaseolina*. O baixo potencial hídrico do solo, associado à alta temperatura e à diminuição da comunidade de microrganismos antagonísticos à podridão-de-carvão, aumentou a suscetibilidade das plantas a doença (Etebarian, 2006; Khaledi; Taheri, 2016).

Provavelmente, condições climáticas tropicais e subtropicais estejam interagindo com as comunidades microbianas. O clima em Londrina é classificado como clima subtropical úmido (Cfa) (Alvares et al., 2013), diferentemente do clima de Missouri (EUA), mencionado no estudo de Bristow e Wyllie (1975).

Como esse fungo é disseminado em todas as regiões sojícolas do Brasil, as comunidades microbianas tendem a variar com os anos e também os efeitos antagonísticos que elas propiciam. Contudo, os dados divergem quanto aos resultados quando se compara plantio direto com outros sistemas de preparo do solo. No plantio direto, com a manutenção das raízes de soja, nos campos, os microesclerócios estão sob uma camada de resíduos de trigo, aveia ou outras culturas de inverno, que formam palhada, e contribuem para aumentar a umidade e diminuir a temperatura do solo. Um aumento ou diminuição das comunidades microbianas do solo pode ocorrer. Portanto, essa cobertura morta contribui para que as plantas de soja, momentaneamente, possuam mais água para absorver. Não se deve esquecer que os microrganismos presentes no solo têm ação divergente sobre a germinação dos microesclerócios, podendo contribuir ou não com a viabilidade dos mesmos. A cobertura morta, conforme mencionado por Almeida et al. (2014), protege também o solo da insolação, aumentando o albedo (% da radiação incidente que é refletida).

A utilização do escarificador, grade pesada, arado de disco, plantio direto com escarificação, a cada três anos, ou simplesmente plantio direto, nos sistemas de preparo do solo, demonstrou que houve menor concentração de microesclerócios, durante três anos (2015, 2016 e 2017) no plantio direto

(Figura 2). Isso se deveu, provavelmente, à atividade de mecanização nos solos. Quanto mais o solo é revolvido, mais se espalham as estruturas do fungo presentes em restos de cultura, sejam elas, esclerócios, picnídios ou micélio.

Nos estudos conduzidos por Feng et al. (2003), o plantio direto com algodão apresentou resultados significativos no aumento dos teores de carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa microbiana, comunidade microbiana, contribuindo na qualidade do solo. A comunidade microbiana respondeu à liberação de exsudatos das raízes de algodão, variou também, com a profundidade de coletas trimestrais (0–3 cm, 3–6 cm, 6–12 cm, e 12–24 cm), realizadas durante o ano. Por outro lado, o sistema convencional se caracteriza por uma distribuição mais uniforme da matéria orgânica e dos nutrientes no perfil do solo, em virtude da inversão da camada superficial e da incorporação dos resíduos durante a aração, aumentando a diferença térmica do albedo (Andales et al., 2000; De Vita et al., 2007).

Existe uma associação entre teor de umidade, porosidade e aeração do solo. Os resultados de Gangopadhyay et al. (1982) mencionam o efeito da densidade aparente do solo e da porosidade, sobre a sobrevivência de microesclerócios de *M. phaseolina*. Segundo esses autores, microesclerócios não sobrevivem bem no solo com alta densidade aparente ($Db = 1.56 \text{ g cm}^{-3}$) e com alta umidade, provavelmente por haver redução de O_2 . Em outro trabalho, Wyllie et al. (1984) descrevem que a germinação de microesclerócios foi inibida quando a concentração de O_2 no solo foi inferior a 16%. Estudos conduzidos em Palotina, pela Embrapa Soja e pela CVALE, em solos que não chegavam a apresentar esse valor de densidade aparente, demonstraram que os maiores valores obtidos de concentração de microesclerócios foram observados em solo compactado (Almeida et al., 2014).

A presença de microesclerócios, como estruturas de resistência, não sugere que a doença possa ser controlada por rotação de cultura, visto que mais de 500 espécies de plantas são hospedeiras desse patógeno (Pearson et al., 1987; Su et al., 2001). No entanto, é um patógeno, que encontrando as condições propícias para desenvolvimento, ocorre em reboleiras de diversos tamanhos.

Portanto, fica evidente, que o plantio direto adequado e bem feito, contribui para a qualidade dos solos. Como o controle da podridão-de-carvão depende

da interação de vários fatores (principalmente, déficit hídrico intermitente ou seca terminal de plantas de soja e temperatura elevada do solo), há ainda outros fatores a considerar como antagonismo ou sinergismo microbiano e sistema de semeadura. A produtividade da soja dependerá da redução da ação desses fatores, isoladamente ou em conjunto.

Conclusão

A intensidade da podridão-de-carvão depende de vários fatores, mas o plantio direto é o sistema que pode proporcionar melhores condições para a convivência com essa doença.

Referências

- ABDALLAH, M. E.; HAROUN, S. A.; GOMAH, A. A.; EL-NAGGAR, N. E.; BADR, H. H. Application of actinomycetes as biocontrol agents in the management of onion bacterial rot diseases. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 46, n. 15, p. 1797-1808, 2013.
- ALMEIDA, A. M. R.; SEIXAS, C. D. S.; FARIAS, J. R. B.; OLIVEIRA, M. C. N. de; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; COSTA, J. M. da; GAUDÊNCIO, C. de A. **Macrophomina phaseolina em soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 55 p. (Embrapa Soja. Documentos, 346).
- ALMEIDA, A. M. R.; TORRES, E.; FRANCHINI, J. C.; OLIVEIRA, M. C. N. de; DEBIASI, H.; FARIAS, J. R. B.; COSTA, J. M.; SIMIONATO, A. A.; PELLIZZARO, E. C. Podridão de carvão (*Macrophomina phaseolina*). In: ALMEIDA, A. M. R.; SEIXAS, C. D. S. (Ed.). **Soja: doenças radiculares e de hastes e inter-relações com o manejo do solo e da cultura**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. p. 49-71.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.
- ANDALES, A.; BATCHELOR, W.; ANDERSON, C.; FARNHAM, D.; WHIGHAM, D. Incorporating tillage effects into a soybean model. **Agricultural Systems**, v. 66, p. 69-98, 2000.
- BAIRD, R. E.; WATSON, C. E.; SCRUGGS, M. Relative longevity of *Macrophomina phaseolina* and associated mycobiota on residual soybean roots in soil. **Plant Disease**, v. 87, p. 563-566, 2003.
- BRISTOW, P. R.; WYLLIE, T. D. Factors affecting the survival of *Macrophomina phaseolina* sclerotia in soil. **Proceedings of the American Phytopathological Society**, v. 2, p. 40, 1975.
- CROUS, P. W.; SLIPPERS, B.; WINGFIELD, M. J.; RHEEDER, J.; MARASAS, W. F. O.; PHILIPS, A. J. L.; ALVES, A.; BURGESS, T.; PARBER, P.; GROENEWALD, J. Z. Phylogenetic lineages in the Botryosphaeriaceae. **Studies in Micology**, v. 55, p. 235-253, 2006.

DE VITA, P.; PAOLO, E.; FECONDO, G.; DI FRONZO, N.; PISANTE, M. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in Southern Italy. **Soil & Tillage Research**, v. 92, n. 1-2, p. 69-78, 2007.

DHINGRA, O. D.; SINCLAIR, J. B. **Biology and pathology of *Macrophomina phaseolina***. Viçosa: UFV, 1978. 166p.

DHINGRA, O. D.; TENNE, F. D.; SINCLAIR, J. B. Method for the determination of competitive saprophytic colonization of soil fungi. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 66, n. 3, p. 447-456, 1976.

DIAS, L. A. F.; SILVA, J. A.; PINTOR, I. R.; OLIVEIRA, M. C. N. de; FARIAS, J. R. B.; SIBALDELLI, R. N. R.; ALMEIDA, A. M. R. Métodos de interpolação de dados e distribuição espacial de *Macrophomina phaseolina* no solo. In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 11., 2016, Londrina. **Resumos expandidos...** Londrina: Embrapa Soja, 2016. p. 17-23. (Embrapa Soja. Documentos, 373).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 1976. 194 p. (Estudio FAO. Riego y Drenaje, 24).

ETEBARIAN, H. R. Evaluation of *Trichoderma* isolates for biological control of charcoal stem rot in melon caused by *Macrophomina phaseolina*. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 8, p. 244-250, 2006.

FENG, Y.; MOTTA, A. C.; REEVES, D. W.; BURMESTER, C. H.; VAN SANTEN, E.; OSBORNE, J. A. Soil microbial communities under conventional-till and no-till continuous cotton systems. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 35, p. 1693-1703, 2003.

FERREIRA, L. P.; LEHMAN, P. S.; ALMEIDA, A. M. R. **Doenças da soja no Brasil**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1979. 42 p. (EMBRAPA-CNPSo. Circular Técnica, 1).

GANGOPADHYAY, S.; WYLLIE, T. D.; TEAGUE, W. R. Effect of bulk density and moisture content of soil on the survival of *Macrophomina phaseolina*. **Plant and Soil**, v. 68, p. 241-247, 1982.

ILYAS, M. B.; ELLIS, M. A.; SINCLAIR, J. B. Evaluation of soil fungicides for control of charcoal rot of soybeans. **Plant Disease Reporter**, v. 59, p. 360-364, 1975.

ISLAM, M. S.; HAQUE, M. S.; ISLAM, M. M.; EMDAD, E. M.; HALIM, A.; HOSSEN, Q. M.; HOSSAIN, M. Z.; AHMED, B.; RAHIM, S.; RAHMAN, M. S.; ALAM, M. M.; HOU, S.; WAN, X.; SAITO, J. A.; ALAM, M. Tools to kill: genome of one the most destructive plant pathogenic fungi *Macrophomina phaseolina*. **BMC Genomics**, v.13, p. 493-508, 2012.

ISSA, E. Soja – problemas fitopatológicos na safra 72/73. **O Biológico**, v. 34, n. 1, p. 174-177, 1973.

KENDIG, S. R.; RUPE, J. C.; SCOTT, H. D. Effect of irrigation and soil water stress on densities of *Macrophomina phaseolina* in soil and roots of two soybean cultivars. **Plant Disease**, v. 84, p. 895-900, 2000.

KHALEDI, N.; TAHERI, P. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma harzianum* against soybean charcoal rot caused by *Macrophomina phaseolina*. **Journal of Plant Protection Research**, v. 56, p. 21-31, 2016.

KUNWAR, I. K.; SINGH, T.; MACHADO, C. C.; SINCLAIR, J. B. Histopathology of soybean seed and seedling infection by *Macrophomina phaseolina*. **Phytopathology**, v. 4, p. 532-535, 1976.

LEHMAN, P. S.; MACHADO, C. C.; TARRAGO, M. T. Frequência e severidade de doenças da soja nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. **Fitopatologia Brasileira**, v. 1, p. 184-194, 1976.

LUDLOW, M. M.; MUCHOW, R. C. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water limited environments. **Advances in Agronomy**, v. 43, p. 107-153, 1990.

MARRONI, I. V.; GERMANI, J. C. Eficiência de rizobactérias *Bacillus* spp. no controle in vitro de *Macrophomina phaseolina* agente etiológico da podridão de tronco da mamona (*Ricinus communis* L.). **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 6, p. 159-167, 2011.

MENGISTU, A.; RAY, J. D.; SMITH, J. R.; PARIS, R.L. Charcoal rot disease assessment of soybean genotypes using a colony-forming unit index. **Crop Science**, v. 47, p. 2453-2461, 2007.

MENGISTU, A.; WRATHER, A.; RUPE, J. C. Charcoal rot. In: HARTMAN, G. L.; RUPE, J. C.; SIKORA, E. J.; DOMIER, L. L.; DAVIS, J. A.; STEFFEY, K. L. (Ed.). **Compendium of soybean diseases and pests**. 5rd. ed. Saint Paul: APS Press, 2015. p. 67-69.

OLANYA, O. M.; CAMPBELL, C. L. Effects of tillage on the spatial pattern of microsclerotia of *Macrophomina phaseolina*. **Phytopathology**, v. 78, n. 2, p. 217-221, 1988.

OLAYA, G.; ABAWI, G. S. Influence of water potential no survival of sclerotia in soil and on colonization of bean stem segments by *Macrophomina phaseolina*. **Plant Disease**, v. 80, p. 1351-1354, 1996.

PEARSON, C. A. S.; LESLIE, J. F.; SCHWENK, F. W. Host preference correlated with chlorate resistance in *Macrophomina phaseolina*. **Plant Disease**, v. 71, p. 828-831, 1987.

SHORT, G. E.; WYLLIE, T. D.; BRISTOW, P. R. Survival of *Macrophomina phaseolina* in soil and residue of soybean. **Phytopathology**, v. 70, p. 14-17, 1980.

SU, G.; SUH, S. O.; SCHNEIDER, R. W.; RUSSIN, J. S. Host specialization in the charcoal rot fungus, *Macrophomina phaseolina*. **Phytopathology**, v. 91, p. 120-126, 2001.

TORRES, E.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; SARAIVA, O. F.; ALMEIDA, A. M. R. Manejo do solo na prevenção de doenças radiculares. In: ALMEIDA, A. M. R.; SEIXAS, C. D. S. (Ed.). **Soja: doenças radiculares e de hastes e inter-relações com o manejo do solo e da cultura**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. p. 207-279.

WRATHER, J. A.; ANDERSON, T. R.; ARSYAD, D. M.; GAI, J.; PLOPER, D. L.; PORTA-PUGLIA, A.; RAM, H. H.; YORINORI, J. T. Soybean disease loss estimates for the top 10 soybean producing countries in 1994. **Plant Disease**, v. 81, n. 1, p. 107-110, 1997.

WRATHER, J. A.; KENDIG, S. R.; TYLER, D. D. Tillage effects on *Macrophomina phaseolina* population density and soybean yield. **Plant Disease**, v. 82, p. 247-250, 1998.

WYLLIE, T. D.; GANGOPADHYAY, S.; TEAGUE, W. R.; BLANCHARD, R. W. Germination and production of *Macrophomina phaseolina* microsclerotia as affected by oxygen and carbon dioxide concentration. **Plant and Soil**, v. 81, p. 195-201, 1984.

Embrapa

Soja



MINISTRY OF
AGRICULTURE, LIVESTOCK
AND FOOD SUPPLY

