

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE  
MESQUITA FILHO” - FACULDADE DE CIÊNCIAS  
AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**SOBREVIVÊNCIA DE *Fusarium tucumaniae*, AGENTE  
CAUSAL DA PODRIDÃO VERMELHA DA RAIZ DA SOJA,  
EM CONDIÇÕES DE CAMPO**

**Laerte Souza Bárbaro Junior**

Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Novembro de 2011

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE  
MESQUITA FILHO” - FACULDADE DE CIÊNCIAS  
AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**SOBREVIVÊNCIA DE *Fusarium tucumaniae*, AGENTE  
CAUSAL DA PODRIDÃO VERMELHA DA RAIZ DA SOJA,  
EM CONDIÇÕES DE CAMPO**

**Laerte Souza Bárbaro Junior**

Orientador: Profa. Dra. Maria Aparecida Pessôa da Cruz Centurion

Coorientador: Prof. José Frederico Centurion

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Novembro de 2011

B229s Bárbaro Junior, Laerte Souza  
Sobrevivência de *Fusarium tucumaniae*, agente causal da podridão  
vermelha da raiz da soja, em condições de campo / Laerte Souza  
Bárbaro Junior. -- Jaboticabal, 2011  
x, 71 f. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2011  
Orientadora: Maria Aparecida Pessôa da Cruz Centurion  
Banca examinadora: Antonio Carlos Monteiro, Gisele Herbst  
Vasquez  
Bibliografia

1. *Glycine max*. 2. Podridão vermelha da raiz. 3. Compactação do  
solo. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e  
Veterinárias.

CDU 633.34:632.4

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação Serviço

Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

e-mail: barbaro2303@hotmail.com

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

LAERTE SOUZA BÁRBARO JUNIOR – nascido em 23 de março de 1985, em Bebedouro – SP. Em 2005 ingressou no curso de Agronomia, na Faculdade de Agronomia Dr. Francisco Maeda (FAFRAM), obtendo o título de Engenheiro Agrônomo em 10 de agosto de 2009. Durante a graduação estagiou na APTA regional de Colina - SP onde participou de vários projetos de pesquisa desenvolvendo trabalhos científicos e conduzindo o trabalho de conclusão de curso da graduação. Realizou o estágio curricular no Departamento de Produção Vegetal da Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP), Jaboticabal – SP sob orientação da professora Dra. Maria Aparecida Pessôa da Cruz Centurion, ingressando logo após no curso de mestrado, do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela mesma instituição de ensino e pesquisa, recebendo o auxílio financeiro da FAPESP.

Quando sua realidade muda, seus sonhos não precisam mudar.

Johnnie Walker

Aos meus pais, Laerte e Elenice  
e aos meus irmãos Ricardo, Débora, Ivana e Alessandra  
com imensa gratidão **DEDICO**

Com amor, **OFEREÇO** a minha namorada, Otávia Vilella.

À minha orientadora e amiga Maria Aparecida, pela confiança e estímulo nos  
momentos mais difíceis e também pela extrema competência com que me  
orientou nesta dissertação.  
**HOMENAGEIO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por estar sempre presente em minha vida.

A Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP), Jaboticabal – SP e ao Departamento de Produção Vegetal, pela oportunidade de realização do curso de Mestrado.

A FAPESP, pelo aporte financeiro.

A Profa. Dra. Maria Aparecida Pessôa da Cruz Centurion e Prof. Dr. José Frederico Centurion, pela amizade, apoio e aos conhecimentos compartilhados, somatizando para minha formação profissional e até mesmo humana.

A meus pais, Laerte e Elenice, pelo amor, carinho, luta, apoio, incentivo e confiança.

A minha irmã Ivana Marino Bárbaro pela grande amizade e extrema importância na minha formação profissional.

Aos meus irmãos Ricardo, Débora e Alessandra pela amizade e estímulo.

A minha namorada Otávia, pelo apoio, amor, carinho.

Aos amigos Marilei Lenha Verde, Beatriz Tardivo Marin, Paula Regina de Oliveira, Helena Baroni Junqueira Franco de Luca, Giselle Feliciani Barbosa, Lucas Cardoso dos Santos, Saulo Strazeio, Bruno Licursi Viera, Wellington Zanni, Hélio Francisco, Rainer Antônio Figueiredo, Fernando Garcia Neto, Renê de Souza Pinto, pelas inúmeras situações engraçadas, amizade e convivência.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal da FCAV/UNESP, campus de Jaboticabal, SP, Geraldo, Mauro, Tito, Sr. Sebastião, Osmar, Rubens e Gabi, pela paciência e presteza na realização dos trabalhos e pela grande amizade.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram e consideram-se responsáveis pela realização deste trabalho

**MUITO OBRIGADO**

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	iii
SUMMARY .....	iv
CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	1
INTRODUÇÃO .....	1
Importância econômica da soja .....	2
Importância da podridão vermelha da raiz na cultura da soja .....	3
Etiologia .....	6
Sintomas .....	8
Epidemiologia .....	9
REFERÊNCIAS.....	10
CAPÍTULO 2 - Sobrevivência de <i>Fusarium tucumaniae</i> : Incidência da podridão vermelha da raiz de soja cultivada sob diferentes manejos de solo com potencial hídrico de -0,001 MPa.....	18
RESUMO.....	18
INTRODUÇÃO .....	19
MATERIAL E MÉTODOS .....	20
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
CONCLUSÕES .....	30
REFERÊNCIAS.....	30
CAPÍTULO 3 - Sobrevivência de <i>Fusarium tucumaniae</i> : Incidência da podridão vermelha da raiz de soja cultivada sob diferentes manejos de solo com potencial hídrico de -0,05 MPa.....	34
RESUMO.....	34
INTRODUÇÃO .....	35
MATERIAL E MÉTODOS .....	36
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
CONCLUSÕES .....	47
REFERÊNCIAS.....	47

CAPÍTULO 4 - Desenvolvimento radicular de soja cultivada em solo sob infestação de <i>F. tucumaniae</i> em diferentes manejos de solo com potenciais hídricos de - 0,001 MPa e -0,05 MPa.....	52
RESUMO.....	52
INTRODUÇÃO .....	53
MATERIAL E MÉTODOS .....	54
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
CONCLUSÃO.....	67
REFERÊNCIAS.....	66

## **SOBREVIVÊNCIA DE *Fusarium tucumaniae* AGENTE CAUSAL DA PODRIDÃO VERMELHA DA RAIZ NA SOJA**

**RESUMO** - Dentre as principais doenças da soja, está a podridão vermelha da raiz causada pelo fungo *Fusarium tucumaniae*. Desta forma, sendo escassas as informações da doença e do fungo, objetivou-se estudar a sobrevivência do patógeno em solo previamente infestado sob diferentes manejos. Os ensaios foram desenvolvidos em condições de campo na primavera/verão de 2009/2010 e outono/inverno de 2010, na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP, campus de Jaboticabal, SP, cujos tratamentos constaram da combinação de níveis de compactação, formas de infestação do solo e dois tipos de manejo de solo. Foi utilizada irrigação por aspersão visando obtenção dos conteúdos de água de - 0,001 e - 0,05 MPa. Nestes ensaios utilizou-se a cultivar FT-Cristalina, classificada como suscetível a PVR. Para estudar a sobrevivência do patógeno avaliou-se a porcentagem de plantas mortas e severidade dos sintomas radiculares e foliares. Os caracteres agrônômicos: número de vagens normais, número de vagens chochas e produtividade assim como o desenvolvimento radicular das plantas também foram avaliados. Tiveram-se como resultados que a porcentagem de plantas mortas e os sintomas radiculares e foliares avaliados indicaram que houve sobrevivência de pelo menos seis meses do patógeno nos experimentos. Em solos mais compactados e não revolvidos, sob conteúdo de água de - 0,001 MPa, houve maior incidência dos sintomas foliares e radiculares.

**Palavras-chave:** *Glycine max* (L.) Merrill, infestação do solo, compactação do solo, conteúdo de água no solo, síndrome da morte súbita (SDS).

## **SURVIVAL OF *Fusarium tucumaniae* CAUSAL AGENT OF RED ROOT ROT IN SOYBEANS**

**SUMMARY** - Among the major diseases of soybean, is red root rot caused by *Fusarium tucumaniae*. Thus, the scarcity of information of the disease and fungus, we aimed to study the survival of the pathogen in soil previously infested under different managements. The tests were carried out in field conditions in spring / summer of 2009/2010 and autumn / winter 2010, the Farm Education, Research and Extension UNESP, Jaboticabal, SP, whose treatment consisted of five levels of compression, forms of infestation of the two types of soil and soil management. Sprinkler irrigation was used in order to obtain the water contents of - 0.001 and - 0.05 MPa. In these trials used the cultivar FT-Cristalina, classified as susceptible to PVR. To study the survival of the pathogen was evaluated the percentage of dead plants and severity of root and foliar symptoms. The agronomic traits: normal number of pods, number of pods were empty, productivity and root development of plants were also evaluated. Results were taken as the percentage of dead plants and root and foliar symptoms evaluated indicated that there was survival of at least six months of the pathogen in the experiments. In compacted soils and not churned under water content of - 0.001 MPa, there was a higher incidence of foliar symptoms and root.

**Keywords:** *Glycine max* (L.) Merrill, infested soil, soil compaction, soil water content, sudden infant death syndrome (SDS).

## CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

### 1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) apresentou na safra brasileira de 2010/11 área cultivada superior a 24 milhões de hectares e produção de 72,3 milhões de toneladas de grãos (CONAB, 2010). Todavia, a produção tem sido afetada pelo agravamento de doenças fúngicas, propiciando prejuízos consideráveis para os produtores e conseqüentemente ao país (SEDIYAMA et al., 2005).

No Brasil, já foram identificadas aproximadamente 40 doenças causadas por fungos, bactérias, nematóides e vírus. Esse número continua aumentando devido a expansão da soja para novas áreas e como conseqüência do monocultivo (EMBRAPA, 2010). Dentre as principais doenças, está a podridão vermelha da raiz (PVR), causada pelo fungo *Fusarium tucumaniae* (YORINORI et al., 1993), também conhecida como síndrome da morte súbita ("Sudden Death Syndrome"/SDS).

A síndrome da morte súbita da soja foi observada pela primeira vez em 1971 nos Estados Unidos da América (EUA), no Estado de Arkansas (RUPE, 1989; RUPE & WEIDEMANN, 1986). No Brasil, os primeiros relatos são de 1981/82 em São Gotardo, Minas Gerais, e depois no Distrito Federal (NAKAJIMA et al., 1996; YORINORI et al., 1993).

Áreas irrigadas ou com maior altitude parecem ser mais sujeitas à incidência da doença. Embora vários fatores químicos e físicos do solo estejam associados com a incidência da PVR, freqüentemente tem-se observado que a doença é mais severa nas áreas mais produtivas (RUPE, 1999).

Nas raízes, o patógeno reduz o volume e a nodulação das mesmas. O lenho adquire coloração castanho-avermelhado, que se estende por vários centímetros acima do solo, mas a medula permanece branca (ALMEIDA et al., 2005; NAKAJIMA et al., 1996; ROY et al., 1989). A raiz principal apresenta uma mancha avermelhada, logo

abaixo do nível do solo que se expande adquirindo coloração negra (ALMEIDA et al., 2005; NAKAJIMA et al., 1996).

Os sintomas nas folhas consistem de manchas cloróticas que aparecem entre as nervuras da folha, normalmente após o estágio R4, podendo ocorrer, em infestações severas, nos estádios vegetativos. Com o desenvolvimento da doença, as lesões tornam-se necróticas ou formam estrias cloróticas (NAKAJIMA et al., 1996).

Pesquisas indicam que a associação de solo compactado com umidade alta está diretamente relacionada com a ocorrência e severidade de sintomas foliares da PVR (EMBRAPA, 2006).

Diante da importância da cultura e da doença, propôs-se avaliar a sobrevivência de *F. tucumaniae* em área infetada com o patógeno na safra anterior, em solo com diferentes níveis de compactação e umidade, e sob dois diferentes manejos (com e sem revolvimento), visando oferecer informações que permitam reduzir a incidência da doença no campo.

### **1.1. IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA SOJA**

A soja é uma das principais espécies graníferas e a mais importante oleaginosa cultivada em escala mundial. No Brasil é a cultura com maior extensão de área plantada, sendo que na safra 2010/11 foram cultivados 24 milhões hectares (CONAB, 2010).

No Brasil, a soja foi uma das culturas que apresentou crescimento mais expressivo no cultivo e no segmento agroindustrial, na segunda metade do século XX, o que explica sua importância econômica para o país (AGRIANUAL, 2010).

A produtividade média da soja brasileira é de 2800 kg/ha, chegando a alcançar cerca de 3000 kg/ha no estado de Mato Grosso, o maior produtor brasileiro de soja. Porém, devido a ocorrência de pragas e doenças nos campos, ocorrem grandes perdas na produção, acarretando prejuízos econômicos (AGRIANUAL, 2010).

No Brasil, a soja é cultivada em 20 estados, sendo que o Mato Grosso, lidera a produção nacional, responsável por quase metade da colheita de grãos. A região sul,

vem em seguida, onde teve sua participação no total nacional reduzida de 90%, há 30 anos, para 34%, atualmente. O nordeste começa também a se destacar na cultura e já representa 7% da produção brasileira (ANUÁRIO EXAME, 2010).

É notável que os índices de produtividade vêm crescendo a um ritmo mais acelerado do que o aumento da área plantada. Em 1990, os produtores brasileiros colhiam em média 1700 quilos de soja por hectare, em 2010/11 a média atingiu 3115 quilos por hectare (ANUÁRIO EXAME, 2010).

Atualmente, o país se destaca no cenário mundial como o segundo maior produtor e exportador de soja, sendo responsável por grande parte do comércio global, sendo superado apenas pelos Estados Unidos (ANUÁRIO BRASILEIRO DE SOJA , 2010).

Além da sua importância em valores econômicos, a soja apresenta-se como um grão com valiosas características nutricionais para o homem e animais. Devido a sua composição, a soja pode ser utilizada em vários produtos industriais e como matéria prima para agroindústrias. Os grãos de soja podem ser processados, gerando inicialmente o óleo, o farelo e a farinha (CONAB, 2009).

O farelo é o principal subproduto da soja, considerando-se que o resultado do processamento gera cerca de 78% de farelo protéico e 20% de óleo (ANUÁRIO BRASILEIRO DE SOJA, 2010).

Os benefícios da produção de soja para a economia brasileira são indiscutíveis. A cultura deve ser encarada como uma cadeia que movimenta a indústria, o comércio e vários serviços. Restringir as análises somente ao campo é ignorar a importância social da cultura. O complexo soja representa 12% do Produto Interno Bruto (PIB) e em 2008, gerou U\$11,5 milhões através de exportações (ANUÁRIO BRASILEIRO DE SOJA, 2010).

## **1.2. IMPORTÂNCIA DA PODRIDÃO VERMELHA DA RAIZ NA CULTURA DA SOJA**

Na última década, a podridão vermelha da raiz da soja (PVR), conhecida também como síndrome da morte súbita (SDS), tornou-se uma das mais importantes doenças da soja, devido aos prejuízos provocados e à sua dificuldade de controle (YORINORI, 2000).

A PVR é uma doença relativamente nova, tendo sido observada pela primeira vez em Arkansas em 1971, por H. J. Walters. Parecia estar limitada ao Arkansas, até que foi constatada em várias províncias do Mississippi, Missouri, Kentucky e Tennessee em 1984 (RUPE et al., 1989; ROY et al., 1997; YANG & RIZVI, 1994). Esta doença tem sido relatada nas maiores regiões produtoras de soja desde a América do Norte até a América do Sul (RUPE et al., 2001; NAKAJIMA et al., 1993). Por volta de 1986, a PVR foi encontrada em Illinois (EATHINGTON et al., 1993) e Indiana, e sua atual distribuição nos E.U.A também inclui Alabama, Georgia, Iowa, Kansas, Ohio e Wisconsin (ROY et al., 1997; ROY et al., 1989; RUPE, 1989; RUPE et al., 1989; ROY et al., 1991; JARDINE & RUPE, 1988; YANG & RIZVI, 1994).

Até meados da década de 90, além dos Estados Unidos, a PVR só era encontrada na Argentina (ROY et al., 1997) e no Brasil (NAKAJIMA et al., 1993), causando prejuízos consideráveis aos sojicultores. Posteriormente, foi identificada também no Canadá (ANDERSON et al., 1998) e, na safra de outono-inverno de 2001, foi constatada pela primeira vez na Bolívia (YORINORI, 2002).

No Brasil, durante muitos anos a PVR ficou restrita as lavouras da região de São Gotardo, onde foi inicialmente constatada. A partir do final da década de 80, passou a chamar a atenção em diversas lavouras do Sul do Paraná, Rio Grande do Sul (Chapadão do Sul) e Goiás (Chapadão do Céu) (YORINORI, 2000a; EMBRAPA, 2001). Perdas decorrentes da PVR aumentaram consideravelmente no Brasil entre 1991 e 1994, chegando a atingir até 40% de produtividade. Na safra 1994/95, as perdas provocadas pela doença no Brasil foram estimadas em 15.000 t, equivalendo a US\$ 3,2 milhões (WRATHER et al., 1997; YORINORI, 1997). Em levantamentos feitos em diversas propriedades e áreas experimentais na safra 1996/97, a incidência da PVR, avaliada pela porcentagem de plantas mortas ou com raízes afetadas, alcançou níveis de até 100%, com as perdas variando de insignificantes a mais de 30% (YORINORI &

HIROMOTO, 1998). Segundo GÁSPERI (2000), comparando-se parcelas experimentais de plantas sintomáticas com assintomáticas, em quatro lavouras comerciais, as perdas de rendimentos dos grãos variaram de 29 a 51%, enquanto o peso de mil sementes sofreu reduções de 6 a 19%. Em levantamento feito na safra 1999/2000, estimaram-se perdas de US\$ 52,9 milhões em uma área afetada de mais de dois milhões de hectares, em 99 municípios brasileiros (YORINORI, 2000; YORINORI, 2002). Pela dificuldade de controle, o autor comentou que, atualmente, a PVR é a doença mais preocupante na cultura da soja no Brasil, colocando-a até mesmo à frente da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*), considerada a doença mais temida em termos mundiais e, cuja ocorrência, foi constatada no Brasil na safra 2000/01.

O estágio de desenvolvimento da planta por ocasião da infecção, a reação da cultivar, e as condições ambientes são fatores que influenciam a produção de plantas afetadas pela síndrome da morte súbita. Nos E.U.A, perdas de até 80% em campos individuais têm sido atribuídas a esta doença, mas perdas em torno de 5 a 15% são mais comuns (RUPE et al., 1989; HERSHMAN et al, 1990). Em 1994, na Argentina, a PVR causou perdas estimadas em até 90% em campos individuais e uma perda de 134.000 toneladas (WRATHER et al., 1997), equivalendo a, aproximadamente US\$ 30 milhões. Em 1996, plantas com sintomas da SDS, foram observadas em seis campos de municípios do Canadá, e embora as perdas de produção tenham sido difíceis de avaliar devido a distribuição espalhada das plantas doentes, observaram-se poucas vagens mal granadas. Embora as perdas de produção sejam atualmente baixas é evidente que *F. solani f. sp. glycines* está distribuída amplamente no sudoeste de Ontario (Canadá) e a doença vem aumentando rapidamente, concluíram, ANDERSON et al. (1998), ainda na década de 1990.

Atualmente, a PVR é encontrada desde o Rio Grande do Sul até o Maranhão, sendo o Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais os estados mais afetados (EMBRAPA, 2001). A doença é mais severa na região sul e no cerrado, acima de 700m de altitude. Além da soja, lavouras de feijão, irrigadas com pivô central em Patos de Minas e Coromandel (MG) e em Luziânia (GO), já foram seriamente afetadas pela PVR (EMBRAPA, 1996).

Dependendo da época de difusão e da severidade de ataque, a PVR pode causar pequenas perdas ou perda total da produção, resultante da queda prematura de flores e vagens, seca de vagens e redução do tamanho das sementes (RUPE et al., 1989; STEPHENS et al., 1993c).

No futuro, o controle da PVR deverá ser conseguido através do uso de cultivares resistentes e em conjunto com práticas de manejo (YORINORI, 1997b). Existem poucos genótipos de soja adaptados a região do cerrado com resistência à PVR. A identificação de outros genótipos tolerantes certamente trará grande contribuição, visto que poderá minimizar os prejuízos causados aos produtores.

### 1.3. ETIOLOGIA

O agente causal da podridão vermelha da raiz, inicialmente, foi identificado e caracterizado como *Fusarium solani* (Mart.) Sacc., classificado como fungo mitospórico, antiga divisão Deutoromycota, classe Hyphomycetes, ordem Moniliales e família Tuberculariaceae (ROY et al., 1989; RUPE, 1989).

Posteriormente, baseado em diferenças de patogenicidade (capacidade de causar doença), o fungo foi classificado como *Fusarium solani* f. sp. *glycines* (ROY, 1997). Entretanto em estudos recentes, associando análises moleculares, análises de características morfológicas e de patogenicidade do fungo, foi constatado que haviam diferenças suficientes para separar em quatro espécies: *Fusarium brasiliense* sp. Nov., *Fusarium cuneirostrum* sp. Nov., *Fusarium tucumaniae* e *Fusarium virguliforme* (AOKI et al., 2005). Em 2005, a presença de *Fusarium tucumaniae* no Brasil foi sugerida com base em estudos morfológicos, filogenéticos, RFLP e patogenicidade, além de ter sido evidenciada a presença de *Fusarium solani* forma B (FSB) (ARRUDA et al., 2005). AOKI et al. (2005) confirmaram a observação de que, a espécie prevalente é *F. tucumaniae*.

Uma das maneiras para diferenciar as quatro espécies que causam a PVR é através da morfologia dos conídios (esporos assexuados). Segundo AOKI et al. (2005) o *F. tucumaniae* produz conídios esporoquiais mais longos e estreitos do

que as outras espécies. Em geral, quando cultivados em meio SNA (“synthetic nutrient agar”) podem apresentar conídios com três a quatro septos (três septos: superiores a 50µm de comprimento e largura de 4,5-5,0 µm; quatro septos: apresentam normalmente 60 µm de comprimento e 4,5-5,0 µm de largura) (AOKI et al., 2005).

Essas quatro espécies são de difícil isolamento das raízes da soja, além de crescerem lentamente em meio de cultura, formando inicialmente, micélio de cor branca ou levemente acinzentado em meio BDA (ALMEIDA et al., 2005; COVERT et al., 2007; NAKAJIMA et al., 1996). Posteriormente, devido à massa de conídios esporodóquias que se formam, as colônias adquirem a coloração azulada ou creme (ALMEIDA et al., 2005; NAKAJIMA et al., 1996).

De forma geral, o fungo causador da PVR possui como principais características morfológicas conídios curvados, com três a cinco septos, levemente pontiagudos no ápice, que medem 4,0-6,5 µm x 42-74 µm. Conídios do micélio aéreo podem variar de raros a abundantes e os clamidósporos (esporos assexuados com parede espessa) tem formato globoso, podendo ser terminais ou intercalares (ALMEIDA et al., 2005; AOKI et al., 2005; NAKAJIMA et al., 1996).

Reduções severas em produtividade podem ocorrer devido a PVR, dependendo do desenvolvimento dos sintomas (HARTMAN et al., 1999). De acordo com os mesmos autores o efeito da doença na produtividade depende fundamentalmente do estágio fenológico da planta, da extensão dos sintomas radiculares e dos sintomas foliares e do progresso da doença a partir desses sintomas. STEPHENS et al. (1993a) observaram severas perdas em produtividade, quando os primeiros sintomas foliares foram observados antes do estágio R5 (FEHR & CAVINESS, 1977; RITCHIE et al., 1977). FARIAS NETO et al. (2006) trabalhando com parcelas infestadas e não infestadas com *Fusarium* spp. observaram reduções em produtividade de grãos de até 27% em cultivares suscetíveis que apresentaram severos sintomas foliares, correspondendo a cerca de 30% de desfolha no estágio R6. Os sintomas iniciais da doença foram observados nos estádios R4 e R5.

#### 1.4. SINTOMAS

Entre os vários sintomas da PVR, ocorre redução do volume e a nodulação das raízes, o lenho adquire coloração castanho-clara, que se estende por vários centímetros acima do solo, mas a medula permanece branca (ALMEIDA et al., 2005; NAKAJIMA et al., 1996; ROY et al., 1989). A raiz principal apresenta uma mancha avermelhada, logo abaixo do nível do solo, que se expande adquirindo coloração negra (ALMEIDA et al., 2005; NAKAJIMA et al., 1996).

Uma planta com sintomas foliares avançados da PVR possui seu sistema radicular menos vigoroso quando comparado com uma planta sadia. As raízes podem também apodrecer. Se as plantas forem coletadas quando o solo estiver úmido, é possível observar pequenas manchas de coloração azulada na superfície da raiz principal, perto da linha do solo. Essas manchas são massas de esporos do fungo que causa a PVR. Com a superfície da raiz seca, a cor azul desaparece (WESTPHAL et al., 2008).

Os sintomas nas folhas consistem de manchas cloróticas que aparecem entre nervuras da folha, normalmente após o estágio R4, podendo ocorrer, em infestações severas, nos estádios vegetativos. Com o desenvolvimento da doença, as lesões tornam-se necróticas ou formam estrias cloróticas (NAKAJIMA et al., 1996). Esse sintoma é conhecido como folha “carijó” (ALMEIDA et al., 2005), sendo que folhas severamente afetadas caem, mas os pecíolos permanecem no caule (NAKAJIMA et al., 1996). Esses sintomas são causados por toxinas produzidas pelo fungo nas raízes e translocadas para as folhas (LI et al., 2000). As toxinas provocam os sintomas foliares, já que o fungo não invade o caule mais do que alguns centímetros acima da linha do solo (ROY et al., 1997).

Normalmente, a PVR da soja não é detectável na folhagem das plantas até o início da floração. Em circunstâncias raras, plantas jovens, podem apresentar sintomas de folhas “carijó”. É sempre útil comparar as plantas afetadas com plantas

sadias do mesmo campo, quando se faz a avaliação da doença (WESTPHAL et al., 2008).

HARTMAN et al. (1999) citaram que os sintomas típicos da PVR são similares aos da podridão parda da haste causada por *Cadophora gregata*, e do cancro da haste causado por *Diaporthe phaseolorum* var. *meridionalis*. A podridão parda da haste é diferenciada da PVR por apresentar, nas plantas infectadas, descoloração típica na parte interna da haste, o que não acontece na PVR.

## 1.5. EPIDEMIOLOGIA

O fungo agente causal da PVR desenvolve-se em temperaturas em torno de 15°C favorecendo o desenvolvimento dos sintomas nas raízes, enquanto temperaturas entre 22°C a 24°C favorecem, além de sintomas na raiz, o desenvolvimento de sintomas na parte aérea (SCHERM & YANG, 1996). Solos compactados e com água livre favorecem o desenvolvimento de *Fusarium* spp., que se distribui na lavoura em forma de manchas ao acaso (PICININI & FERNANDES, 2003). Associação entre alta umidade do solo e ocorrência de PVR é uma observação comum no campo (RINGLER, 1995; ROY et al., 1997). MELGAR et al. (1994) reportaram que a incidência da doença foi maior em plantas irrigadas do que em plantas não irrigadas. FARIAS NETO et al. (2006) avaliaram o efeito da umidade na ocorrência e no desenvolvimento da PVR, trabalhando com parcelas irrigadas em diferentes fases fenológicas e lâminas de água.

Os conídios são disseminados pela água no solo e são convertidos em estrutura de resistência, denominadas clamidósporos, em poucos dias. Estes ficam no solo ou em restos culturais, constituindo o inóculo primário da doença (ROY et al., 1997). A distribuição do número de unidades formadoras de colônias por grama de solo (ufc/g) é fator correlacionado com a severidade da PVR, sendo a densidade populacional mais elevada próximo ao período de colheita (SCHERM & YANG, 1996).

O modo de penetração do fungo nas raízes ainda não foi bem esclarecido. Provavelmente, é de forma direta, isto é, a penetração ocorreria durante a

germinação de clamidósporos ou de macroconídios que entram em contato com o sistema radicular das plantas (XING & WESTPHAL, 2006).

No ciclo da doença, o fungo pode infectar as raízes das plântulas de soja logo após a semeadura, penetrando no tecido vascular da planta. Os primeiros sintomas podem aparecer depois de chuvas pesadas, durante os estádios reprodutivos, pois a umidade elevada aumenta a severidade da doença. Durante duas a três semanas, as áreas infectadas podem aumentar e plantas em outras áreas no campo podem apresentar sintomas (XING & WESTPHAL, 2006).

As perdas de produtividade devido a PVR dependem da gravidade e do momento da expressão da doença em relação ao desenvolvimento das plantas. Caso a doença desenvolva-se no início da temporada, flores e frutos jovens vão abortar, intensificando as perdas. Quando se desenvolve mais tarde, a planta produzirá sementes menores e com menor quantidade de vagem (WESTPHAL et al., 2008).

## 2. REFERÊNCIAS

AGRIANUAL 2010: **Anuário da Agricultura Brasileira**. Soja. São Paulo: FNP, 2010, p.318-323.

ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; YORINORI, J. T.; SILVA, J. F. V.; HENNING, A. A.; GODOY, C. V.; COSTAMILAN, L. M.; MEYER, M. C.; Doenças da soja (Glycine Max). In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A.; **Manual de fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas**. 4ª Ed. Vol. 2, São Paulo: Agronômica Ceres, 2005.

ANDERSON, T. R., TENUTA, A.; First report of fusarium solani f.sp. Glycines causing sudden death syndrome of soybean in Canada. **Plant disease**, st. Paul, v.82, n.4, p.448, 1998.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE SOJA 2010. DISPONÍVEL EM:  
<http://www.anuarios.com.br/upload/publicacaocapitulo/pdfpt/pdf294.pdf> acessado  
em 23 de junho de 2010

ANUÁRIO EXAME AGRONEGÓCIO 2010, JUNHO 2010. EDITORA ABRIL, 170F.  
2010.

AOKI, T., O'DONNELL, K., SCANDIANI, M.; Sudden death syndrome of soybean in South America is caused by four species of *Fusarium*: *Fusarium brasiliense* sp. nov., *F. cuneirostrum* sp. nov., *F. tucumaniae*, and *F. virguliforme*. *Mycoscience* v. 46, n. 3, P.162-183, 2005.

ARRUDA, G. M. T., MILLER R. N, FERREIRA M. A, CAFÉ-FILHO A. C.; Morphological and molecular characterization of the sudden death syndrome pathogen of soybean in Brazil. **Plant Pathology**, v.54 , n.1, P.53-65, 2005.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: safra 2010/2011. **Levantamento – agosto de 2010**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conab/web/dow>> Acesso em: 02/09/2011.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Balço de oferta e demanda mundial**. Disponível em: <[www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br)>. Acesso em: 18 fev.2009.

COVERT, S. F., AOKI, T., O'DONNELL K., STARKEY D, HOLLIDAY A, GEISER D. M., CHEUNG F., TOWN C., STROM A, JUBA J, SCANDIANI M., YANG X. B. Sexual reproduction in the soybean sudden death syndrome pathogen *Fusarium tucumaniae*. **Fungal genetics and Biology**, v. 44, p. 799-807, 2007.

EATHINGTON, S. R. LIM, S. M., NICKELL, C. D., PATAKY, J. K., RESGAR, R. W. Disease pressure in Illinois. *Plant Disease*, St. Paul, v.77,p.11136-1139, 1993.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologia de produção de soja - região Central do Brasil 2007**. Londrina: Embrapa Soja, 2006. 225p. (Sistemas de Produção, 11).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região Central do Brasil 1996/97**. Londrina: Embrapa Soja, 1996. 164p. (Documentos, 96).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologia de produção de soja na região Central do Brasil 2001/02**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 267p.

EMBRAPA SOJA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil – 2010**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2010. 225p. (Sistemas de Produção/Embrapa Soja, n.15).

FARIAS NETO, A.L. de; HARTMAN, G.L.; PEDERSEN, W.L.; LI, S.; BOLLERO, G.A.; DIERS, W.B. Irrigation and inoculation treatments that increase the severity of soybean sudden death syndrome in the field. **Crop Science**, v.46, p.2547-2554, 2006.

FEHR, W.R. & CAVINESS, J.A. **Stages of soybean development**. Ames: Yowa State University, Cooperative Extension Service, 1977. 11p. (Special Report, 80).

GÁSPERI, A. C. **Variabilidade de isolados, reação de cultivares e danos causados por *Fusarium solani* f. sp. *glycines* em soja**. 2000. 91f. Dissertação

(Mestrado) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2000.

HARTMAN, G. L.; SINCLAIR, J. B.; ROPE, J. C. Compendium of soybean diseases. 4 ed. St Paul: **American Phytopathological Society**. 1999, 284p.

HERSHMAN, D.E.; HENDRIX, J.W.; STUCKEY, R.E.; BACHI, P.R.; HENSON, G. Influence of planting date and cultivar on soybean sudden death syndrome in Kentucky. **Plant Disease**, St. Paul, v.74, p.761-766, 1990.

JARDINE, D. J.; RUPE, J. C. First report of sudden death syndrome of sudden death syndrome of soybeans caused by *Fusarium solani* in Kansas. **Plant Disease**, St. Paul, v. 72, p. 1067-1070, 1988.

LI, ZAOHU.; WEHTJE, G. R.; WALKER, R. H. Physiological basis for the differential tolerance of *Glycine max* to sulfentrazone during seed germination. **Weed Sci.**, v. 48, n. 3, p. 281-285, 2000.

MELGAR, J.; ROY, K. W.; ABNEY, T. S. Sudden death syndrome of soybean: etology, symptomatology and effects of irrigation and *Heterodera glycines* on incidence and severity under Field conditions. **Canadian Journal of Botany**, v. 72, p. 1647-1653, 1994.

NAKAJIMA T., MITSUEDA T., CHARCHAR M. J. D. Occurrence of soybean sudden-death syndrome caused by *Fusarium solani* in Brazil. 7th International *Fusarium* Workshop, Pennsylvania State, University Park 1993. p. 79. 1993.

NAKAJIMA, T.; MITSUEDA, T.; CHARCHAR, M.J.D. First occurrence of sudden death syndrome of soybean in Brazil. *JARQ*, Tsukuba, v.30, p.31-34, Jan. 1996.

PICININI, E. C.; FERNANDES, J. M. C. Efeito do tratamento de sementes com fungicida sobre o controle de doenças na parte aérea do trigo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 515-520, 2003.

RINGLER, G.A. Reaction of soybean to inoculation with *Fusarium solani*. 1995. 125 f. (Dissertação de Mestrado) – University of Illinois, Urbana-Champaign.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E.; BENSON, G. O. How a soybean plant develops. Ames: Iowa State University of Science and technology, 1977. 200. (Special Report, 53).

ROY, K.W. LAWRENCE, G. W., HODGES, H. H., MCLEAN, K. S KILLEBREW., J. F. Sudden death syndrome: *Fusarium solani* as incitant and relation of *Heterodera glycines* to disease severity. **Phytopathology**, v.79, n.2, p.191-197, 1989.

ROY, K.W. *Fusarium solani* on soybean roots: nomenclature of the causal agent of sudden death syndrome and identity and relevance of *Fusarium solani* form B. **Plant Disease**, v.81, n.3, p.259-266, 1997.

ROY, K.W.; MOORE, W.F.; ABNEY, T.S. Diagnosis of sudden death syndrome of soybean. **Plant Diagn. Quart.**, v.12, p.166-168, 1991.

ROY, K.W.; HERSHMAN, D.E.; RUPE, J.C.; ABNEY, T.S. Sudden death syndrome of soybean. **Plant Disease**, St. Paul, v.81, n.10, p.1100-1111, 1997.

RUPE, J.C. Frequency and pathogenicity of *Fusarium solani* recovered from soybeans with sudden death syndrome. **Plant Disease**, St. Paul, v.73, p.581-584, 1989.

RUPE J.C., CORRELL J.C., GUERBER J.C., BECTON C.M., GBUR JR. E.E., CUMMINGS M.S., YOUNT P.A. Differentiation of the sudden death syndrome pathogen of soybean, *Fusarium solani* f. sp. *glycines*, from other isolates of *F. solani* based on cultural morphology, pathogenicity, and mitochondrial DNA restriction fragment length polymorphisms. *Canadian Journal of Botany* **79**: 2001. 829-835.

RUPE, J.C. Epidemiology of sudden death syndrome of soybean. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1999, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 1999. p.139-148.

RUPE, J.C.; HIRRELL, M.C.; HERSHMAN, D.E. Sudden death syndrome. In: SINCLAIR, J. B.; BACKMAN, P. A. (Ed.). **Compendium of Soybean**. 3rd. ed. St Paul: APS Press, 1989. p. 84-85.

RUPE J.C.; WEIDEMANN G.J.; Pathogenicity of a *Fusarium* sp. isolated from soybean plants with sudden death syndrome. **Phytopathology**. v.76. p.1080. 1986

SCHERM, H. & YANG, X.B. Development of sudden death syndrome of soybean in relation to soil temperature and soil water matric potencial. **Phytopathology**, Saint Paul, v.86, p.642-649,1996.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R.C.; REIS, M.S. Melhoramento de Soja. In: BOREM, A. Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: Universidade federal de Viçosa, 2005. p. 553 -602.

STEPHENS, P.A., NICKELL, C.D., KOLB, F.L. Genetic analysis resistance to *Fusarium solani* to soybean. *Crop Science* v. 33. p. 929-930. 1993a.

STEPHENS, P.A.; NICKELL, C. D.; LIM, S.M. Sudden death syndrome of soybean development in soybean cultivars differing in resistance to *Fusarium solani*. **Crop Science**, Madison, v.33, p.63-66, 1993c.

WESTPHAL A., ABNEY T.S., XING L.J., SHANER G.E. 2008.Sudden Death Syndrome of Soybean. **The Plant Health Instructor**. DOI:10.1094/PHI-I-2008-0102-01

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

XING, L.J., & WESTPHAL. J. A. Interaction of *Fusarium solani* f. sp. *glycines* and *Heterodera glycines* in sudden death syndrome of soybean. *Phytopathology* 96:763-770, 2006.

YANG, X. B.; RIZVI, S. S. First report of sudden death syndrome of soybean in Iowa. **Plant Disease**, St. Paul, v.78, n.8, p.830, 1994.

YORINORI, J. T.; HIROMOTO, D. M. Controle integrado de doenças da soja: determinação de perdas de vigor em soja causadas por doenças fúngicas. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Resultados de pesquisa da Embrapa Soja 1997**. Londrina: Embrapa Soja, 1998. p.112-114.

YORINORI, J. T.; CHARCHAR, M. J. D.; NASSER, L. C. B.; HENNING, E. A. Doenças da soja e seu controle In: ARANTES, N. E.; SOUZA, P. I. M. **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.333-390.

YORINORI, J. T. Soja (*Glycine max* (L.) Merrill): controle de doenças. In: RIBEIRO DO VALE, F. X.; ZAMBOLIM, L. (Edi.) **Controle de doenças de plantas: grandes**

**culturas.** Viçosa, MG: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 1997. v.2, p.953-1023.

YORINORI, J. T. Situação atual das doenças potenciais no Cone Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 2., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2002. p.171-186.

YORINORI, J. T. Evolução da ocorrência e da severidade da podridão vermelha da raiz da soja (PVR/SDS) e reação das cultivares comerciais à doença In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 22., 2000, Cuiabá. **Resumos ...**Londrina: Embrapa Soja, 2000a, p.94.

YORINORI, J.T. Soja (*Glycine max* (L.) Merril) - controle de doenças. In: Ribeiro do Vale, F.X. & Zambolim, L. (Eds.) Controle de doenças de plantas. V. 2. Viçosa, UFV/MAA, 1997b. Cap. 21, pp.953-1023.

YORINORI, J. T. Riscos de surgimento de novas doenças na cultura da soja. In: CONGRESSO DETECNOLOGIA E COMPETIVIDADE DA SOJA NO MERCADO GLOBAL, 1., 2000, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: Fundação MT, 2000. p. 165-169.

**CAPÍTULO 2 - SOBREVIVÊNCIA DE *Fusarium tucumaniae*: INCIDÊNCIA DA PODRIDÃO VERMELHA DA RAIZ DE SOJA CULTIVADA SOB DIFERENTES MANEJOS DE SOLO COM POTENCIAL HÍDRICO DE -0,001 MPa**

**RESUMO** - Objetivou-se estudar a influência do manejo de solo na sobrevivência de *Fusarium tucumaniae* em variedade de soja FT-Cristalina, cultivada em condições de saturação potencial (-0,001 MPa). Os ensaios foram desenvolvidos em condições de campo na primavera/verão de 2009/2010 e outono/inverno de 2010, na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP, campus de Jaboticabal, SP. O delineamento experimental utilizado foi o em blocos ao acaso, com duas e quatro repetições na primeira e segunda época, respectivamente. Os tratamentos constaram da combinação de níveis de compactação (C0=0 passagem; C2= 2 passagens e C4= 4 passagens de trator de 11t), formas de infestação do solo (I1 = FT-Cristalina em área de FT-Cristalina em solo infestado anteriormente, I2 = FT-Cristalina em área de CAC-1 em solo infestado anteriormente, I3 = FT-Cristalina em solo não infestado, I4 = FT-Cristalina em solo infestado no momento da semeadura) e dois tipos de manejo de solo (com e sem revolvimento). O nível de compactação com seis passadas de trator de 11 toneladas. Foi utilizado apenas no ensaio do outono/inverno de 2010. Foi utilizada irrigação por aspersão visando obtenção do conteúdo de água de - 0,001 MPa. A porcentagem de plantas mortas e os sintomas radiculares e foliares avaliados indicaram que houve sobrevivência de pelo menos seis meses do patógeno no solo. No outono/inverno de 2010 observou-se maior incidência dos sintomas foliares em solo mais compactado e não revolvido.

**Palavras-chaves:** *Glycine max* (L.) Merrill, podridão vermelha da raiz, manejo do solo, infestação do solo.

## 1. INTRODUÇÃO

A Podridão Vermelha da Raiz (PVR), também conhecida como Síndrome da Morte Súbita, é uma doença relativamente nova na cultura da soja. A doença é causada pelo fungo *Fusarium tucumaniae* e afeta a maioria das áreas de cultivo de soja nos Estados Unidos, Brasil e Argentina (HARTMAN et al., 1995).

Observada pela primeira vez no Brasil na safra 1981/82 em São Gotardo - MG (YORINORI et al., 1993), tem apresentado crescente aumento em área e severidade desde sua constatação. Segundo estimativa de YORINORI (2000a) mais de 2 milhões de hectares foram infectados na safra 1999/2000, sendo o uso de cultivares resistentes a melhor expectativa de controle da PVR e de convivência com o patógeno causador da doença.

Áreas irrigadas ou com maior altitude parecem ser mais sujeitas à incidência da doença. Embora vários fatores químicos e físicos do solo estejam associados com a incidência da PVR, frequentemente, tem-se observado que a doença é mais severa nas áreas mais produtivas (ROY et al, 1989, RUPE, 1999).

Nas raízes, o patógeno reduz o volume e a nodulação das mesmas. O lenho adquire coloração castanho-avermelhado, que se estende por vários centímetros acima do solo, mas a medula permanece branca (NAKAJIMA et al.,1996, PICININI & FERNANDES, 2003). A raiz principal apresenta mancha avermelhada logo abaixo do nível do solo que se expande adquirindo coloração negra (PICININI & FERNANDES, 2003).

Os sintomas nas folhas consistem de manchas cloróticas que aparecem entre as nervuras da folha, normalmente após o estágio R4, podendo ocorrer, em infestações severas, nos estádios vegetativos. Com o desenvolvimento da doença, as lesões tornam-se necróticas ou formam estrias cloróticas (PICININI & FERNANDES, 2003, ROY et al., 1997).

A associação de solo compactado com umidade alta está diretamente relacionada com a ocorrência e severidade de sintomas foliares da PVR (EMBRAPA, 2006).

Diante da importância da cultura e da doença, objetivou-se avaliar a sobrevivência de *Fusarium tucumaniae* em área cultivada com soja com diferentes níveis de compactação do solo, mantido em condição de umidade próxima a saturação potencial (-0,001 MPa), visando oferecer informações de manejos mais adequados que permitam reduzir a incidência da doença no campo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram instalados na primavera/verão de 2009/10 e no outono/inverno de 2010, em área experimental da Fazenda de Ensino e Pesquisa e Extensão da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal/SP, UNESP, situado a 21°19' de latitude Sul, 47°33' de longitude Oeste e 616 m de altitude. O solo é classificado como Latossolo Vermelho eutroférico textura argilosa (LVef) (ANDRIOLI & CENTURION, 1999). O clima é do tipo Cwa, segundo classificação de Köppen.

Antes da instalação do experimento, foi efetuada a amostragem de solo na camada de 0 a 0,20 m para análise química para fins de fertilidade.

O isolado de *F. tucumaniae* foi utilizado para produção do inóculo que consistiu de grãos de sorgo colonizados com o patógeno preparado seguindo-se a metodologia descrita por BALARDIN & RUBIN (1999).

Os tratamentos constaram da combinação de níveis de compactação do solo (C0 = 0 passagem; C2 = 2 passagens e C4=4 passagens de trator de 11t), formas de infestação (I1 = FT-Cristalina em área de FT-Cristalina em solo infestado anteriormente, I2 = FT-Cristalina em área de CAC-1 em solo infestado anteriormente, I3 = FT-Cristalina em solo não infestado , I4 = FT-Cristalina em solo infestado no momento da semeadura) e dois tipos de manejo do solo (revolvido e não revolvido). A infestação efetuada anteriormente foi realizada seis meses antes da instalação dos experimentos.

Os níveis de compactação já estavam estabelecidos na área correspondente ao ensaio. Para o outono/inverno de 2010, o nível de compactação C6 (seis passagens de trator de 11 t) foi incluído no experimento.

As densidades de solo obtidas para os respectivos níveis de compactação foram: C0 = 1,09 g/cm<sup>3</sup>; C2 = 1,18 g/cm<sup>3</sup> e C4 = 1,25 g/cm<sup>3</sup>, na primavera/verão de 2009/10 e C0 = 1,20 g/cm<sup>3</sup>, C2 = 1,34 g/cm<sup>3</sup>, C4 = 1,36 g/cm<sup>3</sup> e C6 = 1,36 g/cm<sup>3</sup>, no outono/inverno de 2010.

Para o fator manejo do solo, o nível em que o solo foi revolvido (sistema convencional), utilizou-se do implemento enxada rotativa a profundidade de até 20 cm.

A adubação foi feita com base na interpretação dos resultados da análise química do solo (Tabela 1), distribuindo-se no sulco de semeadura a quantidade equivalente de 170 kg/ha de adubo formulado 2-20-20.

**Tabela 1.** Resultados das análises químicas das amostras de solo representativa da área experimental destinada aos ensaios de campo (épocas de primavera/verão 2009/10 e outono/inverno de 2010).

Análise química	pH em CaCl <sub>2</sub>	M.O. g/dm <sup>3</sup>	P resina mg/dm <sup>3</sup>	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V%
Amostras <sup>(1)</sup>				-----mmol/dm <sup>3</sup> -----						
Primavera/Verão	5.3	21	70	5.4	30	15	31	50.4	81.4	62
Outono/Inverno	5.3	23	56	4.6	38	16	28	58.6	86.6	68

As semeaduras realizadas em 15/12/2009 e 30/06/2010 foram mecanizadas para os tratamentos em que não se efetuou a infestação do solo com o patógeno no momento da semeadura. Apenas no tratamento I4 (fator formas de infestação) em que a infestação do solo com grãos de sorgo colonizados com *F. tucumaniae* foi simultânea à semeadura, realizou-se a distribuição manual do inóculo e das sementes no sulco de semeadura.

Tanto na semeadura mecânica como na manual distribuíram 30 sementes por metro e cerca de 30 dias após a emergência, realizou-se o desbaste de plantas para

ajuste da população para 20 plantas/metro de linha (foi utilizada a cultivar de soja FT-Cristalina, classificada como suscetível (S) à PVR).

Em ambos os experimentos, no tratamento I4 (fator formas de infestação) uma segunda infestação do solo foi realizada, no estágio fenológico V2 da soja, distribuindo-se o inóculo ao lado do colo das plantas da área útil de cada parcela, na dose de 18 g/m de grãos de sorgo colonizados.

Tensiômetros foram instalados nas áreas experimentais e através de leituras diárias, procedeu-se o controle do conteúdo de água pré-estabelecido no potencial de -0,001 MPa. Essa condição de saturação do solo foi mantida através de irrigação por aspersão sempre que os tensiômetros registravam maiores tensões.

Nas duas épocas foram realizadas quatro avaliações da incidência da doença para a obtenção da porcentagem de plantas mortas em diferentes estádios fenológicos da soja. Na primavera/verão foram efetuadas nas datas de 31/12/2009, 18/01/2010, 27/01/2010, 16/03/2010 e no outono/inverno de 04/08/2010, 15/09/2010, 20/10/2010, 14/12/2010, verificando-se assim a incidência da doença a partir das fases iniciais da cultura. Também foram realizadas uma e duas avaliações nos experimentos de primavera/verão e outono/inverno, respectivamente, do número de plantas com folha carijó.

Os sintomas de podridões radiculares foram avaliados quando a soja atingiu o estágio fenológico R6 (RITCHIE et al., 1993). Apenas no experimento de outono/inverno uma segunda avaliação da severidade dos sintomas radiculares foi efetuada no estágio R7.2, em que as plantas também foram submetidas à avaliação dos caracteres agronômicos. Foi empregada a escala de notas de 1 a 3, em que, nota 1 corresponde a ausência de sintomas na raiz; nota 2, quando a raiz pivotante está totalmente ou parcialmente necrosada, porém com raízes secundárias normais; e nota 3, que corresponde a 100% das raízes necrosadas (FRANCO, 2006).

Próximo ao estágio fenológico de florescimento da cultura, foram retiradas amostras indeformadas nas profundidades 0-0,10 m e 0,10-0,20 m para determinação da resistência a penetração seguindo-se a metodologia TORMENA et al., (1998) com penetrômetro eletrônico.

No outono/inverno de 2010, a alta incidência de ácaro verde (*Mononychellus planki*), praga esporádica na cultura da soja, exigiu aplicação de acaricida. Em ambos os experimentos todas as técnicas de cultivo da soja, como população de plantas, controle de plantas daninhas, pragas e doenças foliares seguiram as recomendações técnicas para a cultura da soja.

Os dois experimentos foram instalados utilizando-se o delineamento em blocos casualizados, sendo que na primavera/verão de 2009/10 utilizaram-se duas repetições com parcelas experimentais constituídas de quatro linhas de 4m. No outono/inverno de 2010, utilizaram-se quatro repetições e cada parcela constou de quatro linhas de 2m. Em ambos os experimentos adotou-se o espaçamento entrelinhas de 0,45 m, considerando-se como área útil as duas linhas centrais. No outono/inverno foi necessário reduzir a área das parcelas experimentais devido à inclusão do nível de compactação C6 e acréscimo no número de repetições em área pré-determinada pelo experimento conduzido anteriormente.

No estágio de maturação R7.2 foram coletadas 10 plantas ao acaso da área útil de cada parcela, avaliando-se os seguintes caracteres agrônômicos: número de vagens; número de vagens chochas e produtividade. No outono/inverno o caráter produtividade não foi avaliado devido ao grande número de plantas com anormalidades provocadas pelo ácaro verde, no final do ciclo.

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância pelo teste F, seguindo-se o esquema fatorial 3x4x2 e 4x4x2 para os experimentos de primavera/verão e outono/inverno, respectivamente (três ou quatro níveis de compactação do solo, quatro formas de infestação e dois tipos de manejo do solo). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e utilizando-se o programa estatístico AGROESTAT (BARBOSA & MALDONADO, 2009).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Pode-se observar que de modo geral no cultivo de primavera/verão (Tabela 2) a severidade da PVR foi menor do que no outono/inverno (Tabela 3), tanto nas

avaliações realizadas no sistema radicular como nas realizadas na parte aérea da soja. No sistema radicular, os valores de severidade da doença podem ter sido subestimados, uma vez que, no momento do arranquio das plantas, as radículas se rompem, principalmente nas regiões lesionadas. Desta forma, em experimentos de campo, avaliações seguindo-se a metodologia empregada, são pouco precisas para se detectar pequenas lesões. A avaliação torna-se mais fácil e precisa quando os sintomas ocorrem na raiz pivotante e nas regiões das raízes secundárias localizadas mais próximas à raiz pivotante.

No outono/inverno, com maiores níveis de doença do que na primavera/verão, pode-se observar que a severidade foi maior quando a infestação do solo com o patógeno foi realizada no momento da semeadura. Nestas condições mais favoráveis à ocorrência da doença, pode-se observar que o cultivo anterior com FT-Cristalina (suscetível a PVR) ou com CAC-1 (resistente a PVR) em solo infestado anteriormente, correspondentes às formas de infestação I1 e I2, não influenciaram na sobrevivência do patógeno, tanto quando se avaliaram sintomas no sistema radicular como da parte aérea (Tabela 3).

A época e a forma de manifestação dos sintomas da doença foram diferentes nas duas épocas de cultivo da soja. Na primavera/verão, observaram-se maiores porcentagens de plantas mortas principalmente no início do ciclo da soja (estádios de desenvolvimento V2-V3), com decréscimo gradativo nos estádios de desenvolvimento subsequentes. Nesta época foram observadas poucas plantas com sintomas de “folha carijó” (Tabela 2). No outono/inverno, houve inversão em relação ao ensaio conduzido na primavera/verão, sendo que baixas porcentagens de plantas mortas foram obtidas nos estádios iniciais de desenvolvimento da soja (1ª, 2ª e 3ª avaliações), com acentuada elevação no início dos estádios reprodutivos (4ª avaliação). Provavelmente os sintomas da PVR estavam evoluindo lentamente nas raízes e no colo das plantas, sem terem sido detectados nas avaliações anteriormente realizadas. Algum fator do clima pode ter acelerado a manifestação dos sintomas neste estágio de desenvolvimento da soja. Nos estádios reprodutivos a demanda da planta por água e nutriente é maior para a formação de vagens e grãos, e, agentes causais de várias

**Tabela 2.** Severidade de sintomas de podridões radiculares, número de plantas com sintomas foliares e porcentagem de plantas de soja mortas obtidos na primavera/verão (2009/10) em áreas com diferentes formas de infestação com o patógeno e de manejo do solo, em condições de saturação (-0,001 MPa)

Tratamentos	Severidade de sintomas de podridões radiculares	Número de plantas com sintomas foliares (folha carijó)	Porcentagem de plantas mortas				
			1ª Avaliação	2ª Avaliação	3ª Avaliação	4ª Avaliação	
<b>Formas de infestação(A)</b>							
I1	1,37 a	0,00 b	1,25 b	0,08 b	0,00	0,33	
I2	1,16 b	0,08 ab	1,08 b	0,08 b	0,00	0,00	
I3	1,20 ab	0,00 b	0,66 b	0,33 b	0,00	0,75	
I4	1,33 ab	0,91 a	14,25 a	6,50 a	0,33	0,58	
Dms (5%)	0,17	0,90	4,33	4,65	0,45	1,01	
F	5,06**	3,68*	35,80**	7,09**	2,09NS	1,57NS	
<b>Compactação (B)</b>							
C0	1,25	0,18	5,81	2,18	0,00	0,31	
C2	1,26	0,37	3,75	1,31	0,12	0,18	
C4	1,29	0,18	3,37	1,75	0,12	0,75	
Dms (5%)	0,13	0,71	3,39	3,65	0,35	0,79	
F	0,28NS	0,29NS	1,87NS	0,18NS	0,52NS	1,72NS	
<b>Manejo de solo (C)</b>							
Não revolvido	1,30	0,12	5,91 a	0,91	0,16	0,58	
Revolvido	1,23	0,37	2,70 b	2,58	0,00	0,25	
Dms (5%)	0,09	0,48	2,29	2,46	0,23	0,53	
F	2,29NS	1,16NS	8,39**	1,96NS	2,09NS	1,64NS	
Teste F A x B	1,30NS	0,50NS	0,39NS	0,33NS	0,52NS	0,42NS	
Teste F A x C	2,21NS	0,73NS	4,43*	1,72NS	2,09NS	0,34NS	
Teste F B x C	1,99NS	0,29NS	0,34NS	0,30NS	0,52NS	0,18NS	
Teste F A x B x C	3,78**	0,50NS	0,72NS	0,35NS	0,52NS	0,52NS	
F (BLOCOS)	3,57NS	0,13NS	0,32NS	0,12NS	2,09NS	1,64NS	
CV (%)	12,01	322,13	88,99	235,58	479,12	216,21	

<sup>(1)</sup>Médias (2 repetições) seguidas de letras diferentes na coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. <sup>(2)</sup>I1 = FT-Cristalina em área de FT-Cristalina em solo infestado anteriormente, I2 = FT-Cristalina em área de CAC-1 em solo infestado anteriormente, I3 = FT-Cristalina em solo não infestado, I4 = FT-Cristalina em solo infestado no momento da semeadura <sup>(3)</sup>C0=0 passagens; C2= 2 passagens e C4=4 passagens de trator de 11 t.

**Tabela 3.** Severidade de sintomas de podridões radiculares, número de plantas com sintomas foliares e porcentagem de plantas de soja mortas obtidos no outono/inverno (2010) em áreas com diferentes formas de infestação com o patógeno e de manejo do solo, em condições de saturação (-0,001 MPa)

Tratamentos	Severidade de sintomas de podridões radiculares		Número de plantas com sintomas foliares (folha carijó)		Porcentagem de plantas mortas			
	1ª Avaliação	2ª Avaliação	1ª Avaliação	2ª Avaliação	1ª Avaliação	2ª Avaliação	3ª Avaliação	4ª Avaliação
<b>F. de infestação (A)</b>								
I1	1,11 b	1,44 b	0,12 b	0,22 b	0,08ab	0,00	0,04	8,63 b
I2	1,15 b	1,44 b	0,44 b	0,25 b	0,05ab	0,06	0,75	5,50 b
I3	1,29 b	1,20 c	0,00 b	0,00 b	0,00 b	0,00	0,08	0,74 c
I4	1,71 a	1,95 a	2,84 a	3,31 a	0,35 a	0,47	0,56	16,44 a
Dms (5%)	0,21	0,19	0,92	0,62	0,30	0,74	1,17	3,6820
F	23,92**	35,39**	28,51**	87,78**	3,66*	1,25NS	1,24NS	43,89**
<b>Compactação (B)</b>								
C0	1,26	1,39	0,03 b	0,09 b	0,22	0,06	0,81	2,59 b
C2	1,32	1,56	1,06 a	1,06 a	0,18	0,00	0,20	9,47 a
C4	1,30	1,51	1,28 a	1,37 a	0,04	0,08	0,16	9,77 a
*C6	1,38	1,57	1,03 a	1,25 a	0,04	0,39	0,25	9,48 a
Dms (5%)	0,21	0,1967	0,93	0,62	0,30	0,74	1,17	3,68
F	0,79NS	2,36NS	4,94**	11,88**	1,32NS	0,75NS	0,92NS	12,32**
<b>Manejo de solo (C)</b>								
Não revolvido	1,31	1,54	0,94	1,14 a	0,13	0,03	0,28	8,67
Revolvido	1,32	1,47	0,76	0,75 b	0,10	0,22	0,43	6,99
Dms (5%)	0,11	0,10	0,50	0,33	0,16	0,40	0,63	1,97
F	0,03NS	1,81NS	0,47NS	5,35*	0,12NS	0,85NS	0,20NS	2,85NS
Teste F A x B	0,43NS	3,64NS	3,03**	7,88**	0,38NS	0,91NS	1,02NS	3,50**
Teste F A x C	0,49NS	1,61NS	0,51NS	5,99**	0,08NS	0,54NS	0,99NS	2,47NS
Teste F B x C	0,45NS	0,95NS	1,88NS	0,83NS	0,68NS	1,04NS	0,47NS	0,24NS
Teste F A x B x C	0,37NS	2,03*	1,46NS	1,68NS	1,77NS	1,15NS	0,90NS	0,37NS
F (BLOCOS)	0,28NS	3,00*	0,51NS	0,33NS	0,52NS	0,83NS	1,37NS	1,44NS
CV (%)	24,28	19,91	166,81	101,04	385,38	864,14	502,74	71,91

<sup>(1)</sup>Médias (4 repetições) seguidas de letras diferentes na coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. <sup>(2)</sup>I1 = FT-Cristalina em área de FT-Cristalina em solo infestado anteriormente, I2 = FT-Cristalina em área de CAC-1 em solo infestado anteriormente, I3 = FT-Cristalina em solo não infestado, I4 = FT-Cristalina em solo infestado no momento da semeadura <sup>(3)</sup>C0=0 passagem; C2= 2 passagens e C4=4 passagens de trator de 11 t. \*C6= 6 passagens de trator de 11t, apenas no experimento de outono/inverno de 2010.

naturezas que prejudicam a absorção e transporte de água e nutrientes, podem induzir a formação do sintoma conhecido como “folha carijó”, e posteriormente provocar a morte de plantas. Desta forma, pode ser que a doença estava ocorrendo em baixos níveis, e no momento de maior demanda, o sistema da absorção e transporte de água e nutrientes não foi suficiente, induzindo à acentuada elevação nos níveis tanto de plantas com “folha carijó”, como de plantas mortas. Analisando-se os resultados da porcentagem de plantas mortas obtidos na 4ª avaliação da safra de outono/inverno, observa-se que quando a infestação do solo com o patógeno é realizada na semeadura, a severidade da PVR foi maior, porém, as porcentagens de plantas mortas ainda foram altas quando a infestação do solo foi realizada anteriormente (cerca de seis meses antes), tanto com o cultivo anterior de variedade suscetível a doença (FT-Cristalina), como com o de variedade resistente (CAC-1). Estes resultados indicam que ocorre a sobrevivência do patógeno, ainda que por curto período, em torno de seis meses, período compreendido entre a infestação realizada na safra anterior e a safra relativa aos experimentos conduzidos (Tabela 3).

Pesquisas semelhantes a essa, conduzidas por períodos mais prolongados podem gerar resultados promissores, uma vez que existem informações de que o fungo persiste no solo por longos períodos e que com o passar do tempo, maiores áreas são afetadas pela doença (WESTPHAL et al., 2008).

Na primavera/verão com menores níveis de doença, não foi observada influência da compactação do solo na severidade da PVR, porém pode-se observar que no momento em que houve manifestação mais intensa de sintomas (1ª avaliação de porcentagem de plantas mortas), solos não revolvidos favoreceram a ocorrência da PVR (Tabela 2).

Vale lembrar que, o experimento foi conduzido em latossolo em condições de saturação (-0,001 MPa) e mesmo nos níveis mais elevados de compactação, as resistências à penetração determinadas nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm foram baixas (C0 = 0,66/1,15 MPa; C2 = 1,45/1,63 MPa e C4 = 2,12/1,50), abaixo de 2,00 MPa, valor considerado por TORMENA et al., (1998), como crítico para o desenvolvimento da soja.

**Tabela 4.** Componentes da produção e produtividade da soja cultivada na primavera/verão (2009/10) e no outono/inverno (2010) em áreas com diferentes formas de infestação com o patógeno e de manejo do solo, em potencial de - 0,001 MPa.

Tratamentos	Primavera/Verão			Outono/Inverno	
	Número de vagens normais/planta	Número de vagens chochas/planta	Produtividade kg/há	Número de vagens normais/planta	Número de vagens chochas/planta
<b>Formas de infestação (A)</b>					
I1	29,49 b	3,45	1034,10	77,03 a	184,37
I2	43,89 a	4,15	910,32	58,87 a	152,09
I3	25,91 b	5,67	910,58	67,37 a	153,12
I4	37,68 a	5,20	966,33	12,56 b	149,90
Dms (5%)	7,99	3,28	146,45	34,43	55,07
F	15,73**	1,44NS	2,46NS	9,43**	1,21NS
<b>Compactação (B)</b>					
C0	31,45	4,79	931,56	56,43	188,62 a
C2	36,04	5,13	983,69	38,78	182,81 ab
C4	35,23	3,93	950,75	52,21	139,34 ab
C6*	----	----	----	68,40	128,72 b
Dms (5%)	6,26	2,57	114,77	34,43	55,07
F	1,92NS	0,72NS	0,66NS	1,72NS	4,13**
<b>Manejo de solo (C)</b>					
Não revolvido	33,11	4,68	969,95	43,36 b	153,70
Revolvido	35,37	4,68	940,72	64,56 a	166,05
Dms (5%)	4,22	1,73	77,41	18,48	29,56
F	1,23NS	0,02NS	0,61NS	5,19*	0,69NS
Teste F A x B	2,54*	0,31NS	0,47NS	1,98NS	1,74NS
Teste F A x C	1,67NS	0,74NS	0,82NS	0,88NS	0,08NS
Teste F B x C	1,61NS	0,25NS	3,93*	0,37NS	0,38NS
Teste F AxBxC	0,22NS	0,61NS	1,22NS	0,66NS	1,83NS
F (BLOCOS)	0,12NS	0,79NS	0,00NS	3,32*	0,14NS
CV (%)	20,66	62,82	13,56	97,57	52,67

<sup>(1)</sup>Médias (2 repetições, experimentos da primavera/verão de 2009/10 e 4 repetições, outono/inverno de 2010) seguidas de letras diferentes na coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. <sup>(2)</sup>I1 = FT-Cristalina em área de FT-Cristalina em solo infestado anteriormente, I2 = FT-Cristalina em área de CAC-1 em solo infestado anteriormente, I3 = FT-Cristalina em solo não infestado, I4 = FT-Cristalina em solo infestado no momento da semeadura <sup>(3)</sup>C0=0 passagem; C2= 2 passagens e C4=4 passagens de trator de 11 t. \*C6= 6 passagens de trator de 11t, apenas no experimento de outono/inverno de 2010.

No outono/inverno, mesmo com solo saturado (-0,001 MPa) e portanto apresentando baixas resistências a penetração (C0 = 0,71/1,24 MPa; C2 = 1,50/1,66 MPa; C4 = 1,88/1,86 MPa e C6 = 1,57/1,61 MPa), observou-se que os níveis mais elevados de compactação favoreceram a sobrevivência do patógeno, uma vez que ocorreram maiores severidades de sintomas foliares e de porcentagens de plantas mortas nos níveis C2, C4 e C6. Observou-se também nesta época, a tendência de maior sobrevivência do patógeno em solo não revolvido (Tabela 3). De acordo com RINGLER (1995), solos compactados e com água livre favorecem o desenvolvimento de *Fusarium* causadores da PVR e procedimentos de manejo do solo que melhoram a drenagem, interferem positivamente na composição da microbiota do solo junto aos resíduos de colheita, favorecendo competidores e inimigos naturais do fungo (KLADIVKO, 2001)

Na primavera/verão, as baixas produtividades obtidas podem ter sido resultantes da associação de vários fatores que desfavoreceram o desenvolvimento da soja (Tabela 4). No período em que o experimento foi conduzido, registrou-se um volume de precipitação de 1053,6 mm, que associado as irrigações sempre que os tensiômetros registravam potencial hídrico acima de -0,001 MPa, mantiveram o solo sob condições de constante saturação, o que pode ter influenciado no desenvolvimento do sistema radicular, com reflexos no desenvolvimento da parte aérea das plantas. As constantes chuvas registradas neste período também dificultaram o controle eficaz da ferrugem asiática. Estes foram provavelmente, os fatores limitantes a obtenção de boas produtividades.

Na primavera/verão houve influência dos níveis de infestação do solo com o patógeno na produtividade (Tabela 4), o que pode ter ocorrido pelo fato das maiores porcentagens de plantas mortas, principalmente em I4, terem ocorrido nos estádios iniciais de desenvolvimento da soja.

A soja, em menores populações de plantas, produz maior número de vagens por planta. Trata-se da plasticidade da cultura, quanto a sua resposta às variações no arranjo de plantas, proporcionados por diferentes populações e espaçamento entre linhas de semeadura (TORRES, 1981). Nestas condições de menores ocorrências de

PVR e solo saturado, a compactação e o manejo do solo não foram determinantes para influenciar na produtividade da soja.

No outono/ inverno, a obtenção dos resultados relativos aos componentes de produtividade foram prejudicadas pela PVR e principalmente pela alta incidência do ácaro verde (*Mononychellus planki*). Esta praga não é comumente relatada causando prejuízos em soja, entretanto, neste experimento, provavelmente favorecida pelas condições climáticas, provocou intensa desuniformidade e alterações de desenvolvimento da soja, resultando no aparecimento do sintoma conhecido como “soja louca”. A incidência da praga foi constatada quando a soja atingiu o estágio reprodutivo R5, e neste estágio, a produtividade já estava comprometida, mesmo com a aplicação de acaricida. Neste mesmo estágio de desenvolvimento foram constatados os sintomas de folha carijó e de morte de plantas, típicos da PVR, o que contribuiu para a grande perda de produtividade. Existe uma possível associação entre a ocorrência da PVR e alterações na fisiologia da planta de soja durante o período de florescimento sendo que neste estágio, o nível de infecção tende a acelerar comprometendo o número de flores e de grãos/vagem (PICININI et al., 2003). STEPHENS et al.(1993), observaram severas perdas em produtividade, quando os primeiros sintomas foliares foram observados antes do estágio R5.

#### **4. CONCLUSÕES**

As médias de porcentagem de plantas mortas e dos sintomas radiculares e foliares detectados indicaram que houve sobrevivência de pelo menos seis meses do patógeno no solo.

O tratamento em que foi realizada a infestação do solo com o patógeno junto à semeadura da soja apresentou as maiores médias de severidade dos sintomas radiculares e foliares.

No outono/inverno observou-se maior incidência dos sintomas foliares em solos mais compactados e não revolvidos.

## 5. REFERÊNCIAS

ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 27., 1999, Brasília. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. 32p. (CD-ROM)

BALARDIN, R.S. & RUBIN, S.A.L. Reação de germoplasma de soja à *Fusarium solani* f. sp. *glycines*. Anais. Londrina: Congresso Brasileiro de Soja, Embrapa Soja, 1999. p. 461

BARBOSA, J. C.; MALDONADO J.R, W. AGROESTAT Versão 1.0 Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, campus de Jaboticabal (UNESP - Dpto. Ciências Exatas), 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologia de produção de soja - região Central do Brasil 2007**. Londrina: Embrapa Soja, 2006. 225p. (Sistemas de Produção, 11).

FRANCO, H. B. J. **Metodologias para determinação da reação de cultivares de soja à *Fusarium tucumaniae***. 2006. 88f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

HARTMAN, G.L.; NOEL, G.R.; GRAY, L.E. Occurrence of sudden death syndrome in east-central Illinois and associated yield losses. **Plant Disease**, v.79, n.3, p.314-318, 1995.

KLADIVKO, E. J. Tillage systems and soil ecology. **Soil and Tillage Research**, v.61, p.61-76, 2001.

NAKAJIMA, J. N., SOARES-SILVA, L. H., MEDRI, M. E., GOLDENBERG, R., CORREA, G. T. 1996. Composição florística e fitossociologia do componente arbóreo das florestas ripárias da bacia do rio Tibagi: 5. Fazenda Monte Alegre, município de Telêmaco Borba, PR. Arq. Biol. Tecnol. v. 39. p. 933-948. 1996.

PICININI, E. C.; FERNANDES, J. M. C. Efeito do tratamento de sementes com fungicida sobre o controle de doenças na parte aérea do trigo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 515-520, 2003.

RINGLER, G.A. Reaction of soybean to inoculation with *Fusarium solani*. MS thesis. Univ. of Illinois, Urbana-Champaign, 1995.

RITCHIE, S.W. et al. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 1993. 21p. (Special Report, 48). Acesso em: 20 jun 2011. Online. Disponível em: [www.maize.agron.iastate.edu/corngrows.html](http://www.maize.agron.iastate.edu/corngrows.html).

ROY, K.W.; LAWRENCE, G.W.; HODGES, H.H.; MCLEAN, K.S.; KILLEBREW, J.F. Sudden death syndrome of soybean: *Fusarium solani* as incitant and relation of *Heterodera glycines* to disease severity. **Phytopathology**, St. Paul, v.79, p.191-197, 1989.

ROY, K.W.; HERSHMAN, D.E.; RUPE, J.C.; ABNEY, T.S. Sudden death syndrome of soybean. **Plant Disease**, St. Paul, v.81, n.10, p.1100-1111, 1997.

RUPE, J.C. Epidemiology of sudden death syndrome of soybean. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1999, Londrina. **Anais...** Londrina:Embrapa Soja, 1999. p.139-148.

STEPHENS, P.A., NICKELL, C.D. & KOLB, F.L. Genetic analysis os resistance to *Fusarium solani* to soybean. **Crop Science**, v.33, p.929-930. 1993.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.4, p.573-581, 1998.

TORRES, E. Efeito de Época de Semeadura, Espaçamento entre Fileiras e população de Plantas sobre o Rendimento de Grãos e Outras Características Agronômicas da Soja (*Glycine max* (L.) Merrill), em Londrina – PR. 1981. 107 f.Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração Fitotecnia) -Departamento de fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

WESTPHAL, A; SNYDER, N.L; XING, L.J; CAMBERATO, J.J. Effects of inoculations with mycorrhizal fungi of soilless potting mixes during transplant production on watermelon growth and early fruit yield. **HORTSCIENCE**. v. 43. p. 354-360. 2008.

YORINORI, J. T.; CHARCHAR, M. J. D.; NASSER, L. C. B.; HENNING, E. A. Doenças da soja e seu controle In: Arantes, N. E.; Souza, P. I. M. **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: Potafos, 1993. p.333-390.

YORINORI, J. T. Evolução da ocorrência e da severidade da podridão vermelha da raiz da soja (PVR/SDS) e reação das cultivares comerciais à doença In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 22., 2000, Cuiabá. **Resumos** ...Londrina: Embrapa Soja, 2000a, p.94.

### **CAPÍTULO 3 - SOBREVIVÊNCIA DE *Fusarium tucumaniae*: INCIDÊNCIA DA PODRIDÃO VERMELHA DA RAIZ DE SOJA CULTIVADA SOB DIFERENTES MANEJOS DE SOLO COM POTENCIAL HÍDRICO DE -0,05 MPa**

**RESUMO** - Dentre as principais doenças da soja, está a podridão vermelha da raiz causada pelo fungo *Fusarium tucumaniae*. Avaliou-se, a influência de diversos manejos de solo na sobrevivência de *F. tucumaniae* em variedade de soja FT-Cristalina, cultivada sob potencial hídrico de -0,05 MPa. Os ensaios foram desenvolvidos em condições de campo na primavera/verão de 2009/2010 e outono/inverno de 2010, na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP, Campus de Jaboticabal, SP. O delineamento experimental utilizado foi o em blocos ao acaso, com duas e quatro repetições na primeira e segunda época, respectivamente. Os tratamentos constaram da combinação de níveis de compactação, formas de infestação do solo e manejo de solo (com e sem revolvimento). Para estudar a sobrevivência do patógeno foram avaliadas as características: porcentagem de plantas mortas e severidade dos sintomas radiculares e foliares. Os seguintes caracteres agrônômicos avaliados foram: número de vagens normais, número de vagens chochas e produtividade. No outono/inverno o caráter produtividade não foi avaliado devido ao grande número de plantas com anormalidades provocadas pela alta incidência de ácaro verde, no final do ciclo. A sobrevivência de *F. tucumaniae* foi mais facilmente detectada no cultivo de outono/inverno. Os tratamentos em a infestação do solo foram efetuados em cultivo anterior de cultivar suscetível ou resistente não interferiu na sobrevivência do patógeno. Níveis mais altos de compactação do solo, com potencial de - 0,05 MPa, favorecem a sobrevivência de *F. tucumaniae*.

**Palavras-chave:** *Glycine max* (L.) Merrill, síndrome da morte súbita, compactação do solo, podridão vermelha da raiz.

## 1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) tem grande importância no contexto agrícola mundial, sendo responsável por cerca de 40% da produção brasileira de grãos (CONAB, 2010).

Entre os principais fatores que limitam a exploração máxima do potencial de produtividade da soja (mais de 4000 kg ha<sup>-1</sup>) estão as doenças. Grande número de doenças causadas por fungos, bactérias, nematóides e vírus já foi constatado no Brasil (YORINORI, 1986).

Identificada no Brasil pela primeira vez na safra 1981/82 em São Gotardo – MG a Podridão Vermelha da Raiz (PVR), também conhecida como Síndrome da Morte Súbita (SMS), é uma doença relativamente nova na cultura da soja (YORINORI et al., 1993). A doença é causada pelo fungo *Fusarium tucumaniae* e afeta a maioria das áreas de cultivo de soja nos Estados Unidos, Brasil e Argentina (HARTMAN et al., 1995).

A exemplo de outras doenças do sistema radicular, ainda não estão disponíveis formas eficientes de controle da PVR. Entre as possíveis táticas de controle da doença pesquisadas atualmente, a seleção de cultivares resistente é apontada como a mais promissora (CHANG et al., 1996; RUPE et al., 1991).

A infecção por *F. tucumaniae* induz à formação do sintoma foliar típico de folha carijó, com manchas cloróticas e necróticas internervais, e a região das nervuras permanece com coloração verde normal (ALMEIDA et al., 1997). Este sintoma é mais evidente próximo à fase de florescimento e pode progredir causando completa desfolha das plantas. O sintoma de infecção na raiz inicia com uma mancha avermelhada, mais visível na raiz principal e geralmente localizada um a dois centímetros abaixo do nível do solo. Com a evolução da infecção, é observada uma expansão da lesão, que passa a circundar a raiz, assumindo coloração castanho-avermelhada escura. A necrose situa-se no tecido cortical, enquanto o lenho da raiz adquire coloração castanho-clara, estendendo-se pelo tecido lenhoso da haste a vários centímetros acima do nível do solo. Na lesão, pode ser observada uma massa azulada de esporos do patógeno. Os sintomas foliares da PVR iniciam de duas a três semanas antes da floração, estendendo-

se até o período de enchimento de grãos, quando normalmente é observada a morte da planta (RUPE & GBUR, 1995). Em plantas severamente afetadas, a desfolha ocorre prematuramente causando abortamento de vagens (ROY et al., 1989; RUPE, 1989; WRATHER et al., 1995; LUO et al., 1999).

Áreas irrigadas ou com maior altitude parecem ser mais sujeitas à incidência da doença. Embora vários fatores químicos e físicos do solo estejam associados com a incidência da PVR, freqüentemente, tem-se observado que a doença é mais severa nas áreas mais produtivas (RUPE, 1999). ROY et al. (1989), em experimentos em casa de vegetação sempre encontraram correlação positiva entre umidade do solo e a incidência da PVR. Entretanto, a informação do tempo ótimo de irrigação para promover o desenvolvimento dos sintomas da PVR no campo, ainda é completamente desconhecida (FARIAS NETO et al., 2006).

Pesquisas indicam que a associação de solo compactado com umidade alta está diretamente relacionada com a ocorrência e severidade de sintomas foliares da PVR (EMBRAPA, 2006). VICK et al. (2003) relataram que em solos com menor compactação, e portanto com maior porosidade, proporcionando deste modo, maior zona aerada para a raiz, desfavorecem a infecção do fungo na raiz, diminuindo assim, os sintomas foliares da PVR.

Visando oferecer informações sobre manejos de solo que permitam reduzir a incidência da PVR, no presente trabalho, objetivou-se avaliar a sobrevivência de *F. tucumaniae* em área cultivada com soja com diferentes níveis de compactação de solo, mantido em potencial hídrico de - 0,05 MPa.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Os experimentos foram instalados na primavera/verão de 2009/10 e no outono/inverno de 2010, em área experimental da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal/SP, UNESP, situado a 21°19' de latitude Sul, 47°33' de longitude Oeste e

616 m de altitude. O solo é classificado como Latossolo Vermelho eutroférico textura argilosa (LVef) (ANDRIOLI & CENTURION, 1999). O clima é do tipo Cwa, segundo classificação de Köppen.

Antes da instalação do experimento, foi efetuada a amostragem de solo na camada de 0 a 0,20 m para análise química para fins de fertilidade.

O isolado de *F. tucumaniae* foi cedido pelo CNPSoja/Embrapa utilizado para produção do inóculo, que consistiu de grãos de sorgo colonizados com o patógeno, preparado seguindo-se a metodologia descrita por BALARDIN & RUBIN (1999).

Os tratamentos constaram da combinação de níveis de compactação do solo (C0 = 0 passagem; C2 = 2 passagens e C4=4 passagens de trator de 11t.), formas de infestação (I1 = FT-Cristalina em área de FT-Cristalina em solo infestado anteriormente, I2 = FT-Cristalina em área de CAC-1 em solo infestado anteriormente, I3 = FT-Cristalina em solo não infestado , I4 = FT-Cristalina em solo infestado no momento da semeadura) e dois tipos de manejo do solo (revolvido e não revolvido). A infestação efetuada anteriormente foi realizada seis meses antes da instalação dos experimentos.

Os níveis de compactação, já estavam estabelecidos na área correspondente ao ensaio instalado anteriormente. Para o outono/inverno de 2010, o nível de compactação C6 (seis passagens de trator de 11 t.) foi incluído no experimento.

As densidades de solo obtidas para os respectivos níveis de compactação foram: C0 = 1,09 g/cm<sup>3</sup>; C2 = 1,18 g/cm<sup>3</sup> e C4 = 1,25 g/cm<sup>3</sup>, na primavera/verão de 2009/10 e C0 = 1,20 g/cm<sup>3</sup> , C2= 1,34 g/cm<sup>3</sup> , C4 = 1,36g/cm<sup>3</sup> e C6 = 1,36 g/cm<sup>3</sup>, no outono/inverno de 2010.

Para o fator manejo do solo, no nível em que o solo foi revolvido (sistema convencional) utilizou-se do implemento enxada rotativa na profundidade de até 20 cm.

A adubação foi feita com base na interpretação dos resultados da análise química do solo (Tabela 1), distribuindo-se no sulco de semeadura a quantidade equivalente de 170 kg/ha de adubo formulado 2-20-20.

As semeaduras realizadas em 15/12/2009 e 30/06/2010 foram mecanizadas para os tratamentos em que não se efetuou a infestação do solo com o patógeno no momento da semeadura. Apenas no tratamento I4 (fator formas de infestação) em que

a infestação do solo com grãos de sorgo colonizados com *F. tucumaniae* foi simultânea à semeadura, realizou-se a distribuição manual do inóculo e das sementes no sulco de semeadura.

**Tabela 1.** Resultados das análises químicas da amostra de solo representativa da área experimental destinada aos ensaios de campo (épocas de primavera/verão 2009/10 e outono/inverno de 2010).

Análise química	pH em CaCl <sub>2</sub>	M.O. g/dm <sup>3</sup>	P resina mg/dm <sup>3</sup>	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V%
Amostras <sup>(1)</sup>				-----mmol/dm <sup>3</sup> -----						
Primavera/Verão	5.3	21	70	5.4	30	15	31	50.4	81.4	62
Outono/Inverno	5.3	23	56	4.6	38	16	28	58.6	86.6	68

Tanto na semeadura mecânica como na manual distribuíram 30 sementes por metro e cerca de 30 dias após a emergência, realizou-se o desbaste de plantas para ajuste da população para 20 plantas/metro de linha. Foi utilizada a cultivar de soja FT-Cristalina, classificada como suscetível (S) à PVR.

Em ambos os experimentos, no tratamento I4 (fator formas de infestação) uma segunda infestação do solo foi realizada, no estágio fenológico V2 da soja, distribuindo-se o inóculo ao lado do colo das plantas da área útil de cada parcela, na dose de 18 g/m de sulco.

Tensiômetros foram instalados nas áreas experimentais e através de leituras diárias, procedeu-se o controle do conteúdo de água pré-estabelecido no potencial de -0,05 MPa. Essa condição de saturação do solo foi mantida através de irrigação por aspersão sempre que os tensiômetros registravam maiores tensões.

Nas duas épocas foram realizadas quatro avaliações da incidência da doença, para a obtenção da porcentagem de plantas mortas em diferentes estágios fenológicos da soja. Na primavera/verão foram efetuadas nas datas (31/12/2009, 18/01/2010, 27/01/2010, 16/03/2010) e no outono/inverno (04/08/2010, 15/09/2010, 20/10/2010, 14/12/2010), verificando-se assim a incidência da doença a partir das fases iniciais da cultura. Também foram realizadas uma e duas avaliações nos experimentos de

primavera/verão e outono/inverno, respectivamente, do número de plantas com folha carijó.

Os sintomas de podridões radiculares foram avaliados quando a soja atingiu o estágio fenológico R6 (RITCHIE et al., 1993). Apenas no experimento de outono/inverno uma segunda avaliação da severidade dos sintomas radiculares foi efetuada, no estágio R7.2, em que as plantas também foram submetidas à avaliação dos caracteres agrônômicos. Foi empregada a escala de notas de 1 a 3, em que, nota 1 corresponde a ausência de sintomas na raiz; nota 2, quando a raiz pivotante está totalmente ou parcialmente necrosada, porém com raízes secundárias normais; e nota 3, que corresponde a 100% das raízes necrosadas (FRANCO, 2006).

Próximo ao estágio de desenvolvimento R1 da cultura da soja, foram retiradas amostras indeformadas nas profundidades 0-0,10 m e 0,10-0,20 m para determinação da resistência a penetração, seguindo-se a metodologia descrita por TORMENA et al. (1998) com penetrômetro eletrônico.

No outono/inverno de 2010, a alta incidência de ácaro verde (*Mononychellus planki*), praga esporádica na cultura da soja, exigiu aplicação de acaricida. Em ambos os experimentos todas as técnicas de cultivo da soja, como, população de plantas, controle de plantas daninhas, pragas e doenças foliares seguiram as recomendações técnicas para a cultura da soja.

Os dois experimentos foram instalados utilizando-se o delineamento em blocos casualizados, sendo que na primavera/verão de 2009/10 utilizaram-se duas repetições com parcelas experimentais constituídas de quatro linhas de 4m. No outono/inverno de 2010, utilizaram-se quatro repetições e cada parcela constou de quatro linhas de 2m. Em ambos os experimentos adotou-se o espaçamento entrelinhas de 0,45 m, considerando-se como área útil as duas linhas centrais. No outono/inverno foi necessário reduzir a área das parcelas experimentais devido à inclusão do nível de compactação C6 e acréscimo no número de repetições em área pré-determinada pelo experimento conduzido anteriormente, em que se estabeleceram os níveis de compactação e a infestação do solo com o patógeno em alguns tratamentos.

No estágio de desenvolvimento R7.2, foram coletadas 10 plantas da área útil de cada parcela, avaliando-se os seguintes caracteres agrônômicos: número de vagens; número de vagens chochas e produtividade. No outono/inverno o caráter produtividade não foi avaliado devido ao grande número de plantas com anormalidades provocadas pelo ácaro verde, no final do ciclo.

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância pelo teste F, seguindo-se o esquema fatorial 3x4x2 e 4x4x2, para os experimentos de primavera/verão e outono/inverno, respectivamente (três ou quatro níveis de compactação do solo, quatro formas de infestação e dois tipos de manejo do solo). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico AGROESTAT (BARBOSA & MALDONADO, 2009).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

No cultivo de safra primavera/verão (Tabela 2) observou-se menor incidência de sintomas foliares e radiculares nas plantas do que no outono/inverno (Tabela 3). A época do ano pode ter sido determinante para obtenção de maior incidência da doença no outono/inverno. A temperatura do solo influencia de maneira diferente o desenvolvimento dos sintomas nas raízes e nas folhas. De acordo com SCHERM & YANG (1996), em experimento de casa de vegetação, os sintomas são mais severos nas raízes em temperatura abaixo de 15° C, havendo um efeito linear decrescente com o acréscimo da temperatura do solo ainda segundo os mesmos autores. A intensidade dos sintomas foliares é maior em temperaturas intermediárias (22 a 24°C), decrescendo rapidamente com o aumento da temperatura. Desta forma, temperaturas mais elevadas do solo na primavera/verão, podem ter contribuído para menor incidência de plantas com sintomas radiculares e foliares.

**Tabela 2.** Severidade de sintomas de podridões radiculares, número de plantas com sintomas foliares e porcentagem de plantas de soja mortas obtidos na primavera/verão (2009/10) em áreas com diferentes formas de infestação com o patógeno e de manejo do solo, em potencial de (-0,05 MPa)

Tratamentos	Severidade de sintomas de podridões radiculares	Número de plantas com sintomas foliares (folha carijó)	Porcentagem de plantas mortas				
			1ª Avaliação	2ª Avaliação	3ª Avaliação	4ª Avaliação	
<b>Formas de infestação(A)</b>							
I1	1,33	0,00	0,33 b	0,33	0,16	1,00 a	
I2	1,31	0,00	0,16 b	0,50	0,00	0,41 b	
I3	1,15	0,00	0,58 b	0,16	0,08	0,25 b	
I4	1,34	0,08	28,50 a	0,50	0,25	0,00 b	
Dms (5%)	0,21	0,16	11,76	0,63	0,52	0,57	
F	2,45NS	1,00NS	21,91**	0,97NS	0,65NS	8,31**	
<b>Compactação (B)</b>							
C0	1,30	0,00	9,62	0,43 ab	0,18	0,31 ab	
C2	1,20	0,00	8,25	0,06 b	0,18	0,75 a	
C4	1,35	0,06	4,31	0,62 a	0,00	0,18 b	
Dms (5%)	0,16	0,12	9,21	0,49	0,40	0,45	
F	2,50NS	1,00NS	1,12NS	4,16*	0,88NS	5,35*	
<b>Manejo de solo (C)</b>							
Não revolvido	1,33	0,04	9,70	0,45	0,04	0,50	
Revolvido	1,24	0,00	5,08	0,29	0,20	0,33	
Dms (5%)	0,11	0,08	6,21	0,33	0,27	0,30	
F	2,74NS	1,00NS	2,37NS	1,06NS	1,56NS	1,28NS	
Teste F A x B	1,80NS	1,00NS	0,92NS	0,90NS	0,75NS	2,80*	
Teste F A x C	0,25NS	1,00NS	1,79NS	0,35NS	1,30NS	1,06NS	
Teste F B x C	0,18NS	1,00NS	1,40NS	1,26NS	0,68NS	0,56NS	
Teste F A x B x C	0,72NS	1,00NS	1,23NS	0,29NS	0,81NS	1,62NS	
F (BLOCOS)	0,36NS	1,00NS	1,02NS	2,38NS	0,39NS	0,00NS	
CV (%)	14,90	692,82	140,78	149,71	369,88	122,58	

<sup>(1)</sup>Médias (2 repetições) seguidas de letras diferentes na coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. <sup>(2)</sup> I1 = FT-Cristalina em área de FT-Cristalina em solo infestado anteriormente, I2 = FT-Cristalina em área de CAC-1 em solo infestado anteriormente, I3 = FT-Cristalina em solo não infestado, I4 = FT-Cristalina em solo infestado no momento da semeadura <sup>(3)</sup> C0=0 passagem; C2= 2 passagens e C4=4 passagens de trator de 11 t.

No outono/inverno, constatou-se maior média de plantas com podridões radiculares no tratamento I4 em que o solo foi infestado simultaneamente à semeadura. Nos tratamentos em que o solo foi infestado em cultivo anterior com a cultivar FT-Cristalina e CAC-1, (I1 e I2, respectivamente), não se detectou a sobrevivência do patógeno, avaliada através dos sintomas de podridões presentes no sistema radicular e dos sintomas típicos da PVR na parte aérea da planta (“folha carijó”) (Tabela 3).

No cultivo de primavera/verão observou-se número reduzido de plantas com sintomas de “folha carijó” (Tabela 2). A reação de cultivares de soja à podridão vermelha da raiz, avaliada por meio de sintomas das folhas e raízes, é influenciada pelo ambiente, época de semeadura, temperatura, teor de umidade do solo, temperatura do ar e quantidade de inóculo (STEPHENS et al., 1993a,b; MELGAR & ROY, 1994; NJITI et al., 2001; FRONZA, 2003).

No outono/inverno, o número de plantas com sintomas foliares da PVR foi superior quando comparado ao cultivo de primavera/verão, sendo que foi constatada maior média de plantas mortas nos estádios reprodutivos da cultura da soja (Tabela 3).

A manifestação dos sintomas da PVR é facilitada quando valores adequados de fatores como umidade e compactação estão presentes no solo, porém cultivos em solo com potencial de -0,05 MPa, valor responsável por perdas de produtividade por falta de água para as plantas, segundo FERNANDES & TURCO, (2003), pode contribuir para acelerar e aumentar a morte de plantas.

Analisando os resultados de porcentagem de plantas mortas em ambos os cultivos de primavera/verão e outono/inverno, observa-se que o tratamento I4, em que o solo foi infestado com o patógeno no momento da semeadura apresentou as maiores médias, porém os resultados de porcentagem de plantas mortas nos tratamentos em que o solo foi infestado anteriormente (I1 e I2) também foram elevados, indicando a sobrevivência do patógeno no período compreendido entre a infestação realizada na safra anterior e a safra relativa aos experimentos conduzidos na presente pesquisa (Tabela 3). Vale ressaltar que na safra de primavera/verão detectou-se maior número de plantas mortas nos estádios fenológicos iniciais da cultura da soja (1ª avaliação), ao contrário dos resultados do cultivo do outono/inverno, em que o número de plantas

mortas foi elevado principalmente nos estádios reprodutivos (4ª avaliação). YORINORI (1994) relatou áreas com níveis de danos entre 10 e 30%, havendo casos de lavouras com mais de 50% de plantas com morte prematura.

Em relação ao fator compactação do solo, no cultivo de primavera/verão não foi observada influência no nível de infecção do patógeno nas raízes e parte aérea. Já relacionando os resultados da porcentagem de plantas mortas à compactação, observou-se pouca influência dos diferentes níveis testados e baixa porcentagem de plantas mortas. FARIAS NETO et al.(2006), não encontraram efeitos significativos da compactação do solo sobre o desenvolvimento de sintomas foliares da PVR, mas os resultados indicaram interferência na produtividade. Observaram que a umidade, principalmente nos estádios reprodutivos é um fator importante para a manifestação dos sintomas foliares da PVR.

Entretanto, no outono/inverno, mesmo o solo apresentando baixos valores de resistência à penetração nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm (C0 = 0,71/1,24 MPa; C2 = 1,50/1,66 MPa; C4 = 1,88/1,86 MPa e C6 = 1,57/1,61 MPa), observou-se que nos níveis mais compactados, a incidência da PVR (podridões radiculares, folha carijó e porcentagem de plantas mortas) foi significativamente maior (Tabela 3). TORMENA et al.(1998), consideram como valor crítico para o desenvolvimento da soja, resistência à penetração acima de 2,00 MPa.

Observou-se também que em solos não revolvidos, a média de severidade dos sintomas radiculares foi maior, indicando a maior sobrevivência do patógeno. VICK et al. (2003), relataram que menor compactação e portanto maior porosidade do solo, proporcionam maior zona aerada para a raiz, desfavorecendo a infecção pelo patógeno na planta. Aração, subsolagem ou qualquer procedimento de manejo do solo contribuem para melhoria da drenagem, interferindo positivamente na composição da microbiota do solo junto aos resíduos de colheita, favorecendo o aparecimento de inimigos naturais do fungo (KLADIVKO, 2001).

**Tabela 3.** Severidade de sintomas de podridões radiculares, número de plantas com sintomas foliares e porcentagem de plantas de soja mortas obtidos no outono/inverno (2010) em áreas com diferentes formas de infestação com o patógeno e de manejo do solo, em potencial de (-0,05 MPa)

Tratamentos	Severidade de sintomas de podridões radiculares		Número de plantas com sintomas foliares (folha carijó)		Porcentagem de plantas mortas			
	1ª Avaliação	2ª Avaliação	1ª Avaliação	2ª Avaliação	1ª Avaliação	2ª Avaliação	3ª Avaliação	4ª Avaliação
<b>F. de infestação (A)</b>								
I1	1,11 b	1,55 b	0,00	0,40 b	0,04 b	1,18 ab	0,33 b	9,54 b
I2	1,11 b	1,60 b	0,00	0,81 b	0,16 b	1,87 a	0,25 b	7,76 b
I3	1,26 b	1,30 c	0,00	0,00 b	0,00 b	0,00 b	0,07 b	1,01 c
I4	1,68 a	2,02 a	0,09	1,97 a	0,70 a	1,65 a	1,98 a	19,65 a
Dms (5%)	0,18	0,21	0,12	0,81	0,51	1,31	0,64	4,92
F	29,56**	27,12**	1,85NS	14,85**	5,46**	5,54**	26,05**	33,52**
<b>Compactação (B)</b>								
C0	1,30	1,50 b	0,00	1,00 ab	0,21	0,35 b	0,32 b	5,58 b
C2	1,36	1,62 ab	0,09	1,19 a	0,16	0,72 b	0,45 b	10,00 ab
C4	1,24	1,59 ab	0,00	0,78 ab	0,08	0,21 b	0,04 b	12,26 a
*C6	1,28	1,76 a	0,00	0,22 b	0,45	3,41 a	1,81 a	10,12 ab
Dms (5%)	0,18	0,21	0,12	0,81	0,51	1,31	0,64	4,92
F	1,03NS	3,72*	1,85NS	3,63*	1,28NS	18,00**	20,56**	4,44**
<b>Manejo de solo (C)</b>								
Não revolvido	1,29	1,68 a	0,03	0,90	0,14	1,13	0,70	9,95
Revolvido	1,30	1,56 b	0,01	0,69	0,31	1,22	0,62	9,03
Dms (5%)	0,09	0,11	0,06	0,43	0,27	0,70	0,34	2,64
F	0,05NS	4,08*	0,21NS	0,99NS	1,52NS	0,06NS	0,22NS	0,48NS
Teste F A x B	0,77NS	2,18*	1,85NS	3,07**	1,22NS	4,42**	24,67**	1,94NS
Teste F A x C	1,25NS	1,07NS	0,21NS	0,33NS	3,72*	0,24NS	1,64NS	1,28NS
Teste F B x C	0,49NS	0,06NS	0,21NS	2,05NS	1,60NS	0,27NS	1,84NS	1,75NS
Teste F A x B x C	0,45NS	0,77NS	0,21NS	1,80NS	2,00*	0,56NS	1,82NS	0,51NS
F (BLOCOS)	0,11NS	0,65NS	1,85NS	0,34NS	1,13NS	0,72NS	0,46NS	1,05NS
CV (%)	21,46	20,05	832,32	156,37	346,49	170,84	148,44	79,30

<sup>(1)</sup>Médias (4 repetições) seguidas de letras diferentes na coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. <sup>(2)</sup>I1 = FT-Cristalina em área de FT-Cristalina em solo infestado anteriormente, I2 = FT-Cristalina em área de CAC-1 em solo infestado anteriormente, I3 = FT-Cristalina em solo não infestado, I4 = FT-Cristalina em solo infestado no momento da semeadura <sup>(3)</sup>C0=0 passagem; C2= 2 passagens e C4=4 passagens de trator de 11 t. \*C6= 6 passagens de trator de 11t, apenas no experimento de outono/inverno de 2010.

**Tabela 4.** Componentes da produção e produtividade da soja cultivada na primavera/verão (2009/10) e no outono/inverno (2010) em áreas com diferentes formas de infestação com o patógeno e de manejo do solo, em potencial de - 0,05 MPa.

Tratamentos	Primavera/Verão			Outono/Inverno	
	Número de vagens normais/planta	Número de vagens chochas/planta	Produtividade kg/ha/planta	Número de vagens normais/planta	Número de vagens chochas/planta
<b>Formas de infestação (A)</b>					
I1	18,64 b	2,89 b	457,87 a	33,78 ab	147,90
I2	24,72 ab	4,92 a	436,88 ab	35,84 ab	131,71
I3	16,77 b	3,83 ab	371,80 bc	47,93 a	116,22
I4	33,25 a	5,80 a	361,24 c	20,31 b	130,65
Dms (5%)	12,24	2,00	69,94	17,52	49,12
F	5,63**	6,15**	7,11**	5,71**	0,95NS
<b>Compactação (B)</b>					
C0	25,05	4,23	385,85 b	35,93	164,06 a
C2	22,48	4,30	383,24 b	33,78	140,65 ab
C4	22,51	4,55	451,75 a	29,00	101,15 b
C6*	-----	-----	-----	39,15	120,62 ab
Dms (5%)	9,59	1,56	54,81	17,52	49,12
F	0,30NS	0,15NS	6,29**	0,81NS	4,13**
<b>Manejo de solo (C)</b>					
Não revolvido	24,42	4,42	408,71	36,40	121,35
Revolvido	22,27	4,29	405,18	32,53	141,89
Dms (5%)	6,47	1,05	36,97	9,40	26,36
F	0,47NS	0,07NS	0,04NS	0,67NS	2,39NS
Teste F A x B	1,34NS	1,04NS	2,69*	0,92NS	1,49NS
Teste F A x C	1,54NS	0,70NS	0,56NS	1,04NS	0,16NS
Teste F B x C	1,07NS	0,61NS	0,28NS	0,66NS	1,11NS
Teste F AxBxC	0,75NS	1,09NS	0,57NS	0,62NS	0,19NS
F (BLOCOS)	0,62NS	2,01NS	0,00NS	1,90NS	5,20**
CV (%)	50,56	40,59	15,21	77,74	57,05

<sup>(1)</sup>Médias (2 repetições, experimentos da primavera/verão de 2009/10 e 4 repetições, outono/inverno de 2010) seguidas de letras diferentes na coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. <sup>(2)</sup>I1 = FT-Cristalina em área de FT-Cristalina em solo infestado anteriormente, I2 = FT-Cristalina em área de CAC-1 em solo infestado anteriormente, I3 = FT-Cristalina em solo não infestado, I4 = FT-Cristalina em solo infestado no momento da semeadura. <sup>(3)</sup>C0=0 passagens; C2= 2 passagens e C4=4 passagens de trator de 11 t. \*C6= 6 passagens de trator de 11t, apenas no experimento de outono/inverno de 2010.

No cultivo de primavera/verão, as baixas produtividades podem ser atribuídas a vários fatores, porém, o fator determinante foi a alta incidência da ferrugem asiática, apesar das aplicações de fungicidas efetuadas. No tratamento I4, em que o solo foi infestado na ocasião da semeadura, obtiveram-se as menores produtividades e as maiores porcentagens de plantas mortas devido a PVR (Tabela 4).

Igualmente aos resultados obtidos para produtividade, mesmo com os baixos valores obtidos, o tratamento em que o solo foi infestado junto a semeadura (I4), apresentou as maiores médias para as características número de vagens normais e número de vagens chochas (Tabela 4). Quanto a influência da compactação na produtividade, no cultivo de primavera/verão, a maior produtividade foi obtida em solos com nível de compactação mais elevado discordando dos resultados encontrados na literatura, em que LIPIEC et al.(1993) afirmaram que solos compactados promovem alterações morfológicas das raízes, resultando em menor comprimento, distribuição espacial e área superficial por causa do impedimento físico, da menor continuidade, quantidade e diâmetro de poros, resultando, conseqüentemente, em menor volume de solo explorado influenciando negativamente na produtividade das culturas. Além disso, diminui a eficiência de absorção de nutrientes e a quantidade de nitrogênio fixado pela leguminosa (LINDEMANN et al., 1982; GRATH & HÅKANSSON, 1992).

Na primavera/verão de 2009/10 registrou-se um volume de chuva correspondente a 1053,6 mm, acima da média dessas estações em outros anos, o que pode ter interferido na resistência a penetração provavelmente anulando os efeitos da compactação do solo.

Na safra de outono/inverno, as características de produtividade foram prejudicadas pela PVR e pela alta incidência do ácaro verde (*Mononychellus planki*). Esta praga é de ocorrência esporádica na cultura da soja e seus sintomas são pouco conhecidos, o que dificultou o diagnóstico precoce neste experimento (Tabela 4). Favorecida pelas condições climáticas da época, a presença do ácaro verde provocou o sintoma conhecido como “soja louca”, ocorrendo alterações no desenvolvimento da planta, como superbrotamento de vagens e desuniformidade de estádios fenológicos da

planta. Mesmo diagnosticado tardiamente, efetuou-se uma aplicação de acaricida, porém a produção já estava comprometida.

Foi observado alto número de plantas com sintomas de folha carijó no final do ciclo, tendo também a influência da PVR nas perdas de produtividade. Quando a infecção da PVR é tardia, ocorrendo a partir do início de enchimento de grãos (R 5.1), pode ocorrer uma diminuição no tamanho médio de grãos influenciando na produtividade (NJITI et al., 1998).

#### 4. CONCLUSÕES

Em ambas as safras os sintomas radiculares avaliados indicaram que houve sobrevivência de aproximadamente seis meses do patógeno no solo.

O tratamento em que foi realizada a infestação do solo com o patógeno simultaneamente à semeadura da soja apresentou as maiores médias de severidade dos sintomas radiculares e foliares

No outono/inverno de 2010 observou-se maior incidência dos sintomas foliares e plantas mortas para todas as formas de infestação e em solos mais compactados.

#### 5. REFERÊNCIAS

ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 27., 1999, Brasília. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. 32p. (T025-3 CD-ROM)

BALARDIN, R.S. & RUBIN, S.A.L. Reação de germoplasma de soja à *Fusarium solani* f. sp. *glycines*. Anais. Londrina: Congresso Brasileiro de Soja, Embrapa Soja, 1999. p. 461

BARBOSA, J. C.; MALDONADO J.R, W. AGROESTAT Versão 1.0 Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, campus de Jaboticabal (UNESP - Dpto. Ciências Exatas), 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologia de produção de soja - região Central do Brasil 2007**. Londrina: Embrapa Soja, 2006. 225p. (Sistemas de Produção, 11).

FARIAS NETO, A.L.; HARTMAN, G.L.; PEDERSEN, W.L.; LI, S.; BOLLERO, G.A.; DIERS, W.B. Irrigation and inoculation treatments that increase the severity of soybean sudden death syndrome in the field. **Crop Science**, v.46, p.2547-2554, 2006.

FERNANDES, E.J. & TURCO, J.E.P. Evapotranspiração de referência para manejo da irrigação em cultura de soja. **Irriga**, v.8, p.132-141, 2003.

FRANCO, H.B.J. **Metodologias para determinação da reação de cultivares de soja à *Fusarium tucumaniae***. 2006. 88f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006

FRONZA, V. **Genética da reação da soja à *Fusarium solani* f. sp. *glycines***. 2003. 154f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

GRATH, T. & HAKANSSON, I. Effects of soil compaction on development and nutrient uptake of peas. *Swed. J. Agric. Res.*, 22:13-17, 1992.

KLADIVKO, E. J. Tillage systems and soil ecology. **Soil and Tillage Research**, v.61, p.61-76, 2001.

LINDEMANN, W.C.; HAM, G.E. & RANDALL, G.W. Soil compaction effects on soybean nodulation, N<sub>2</sub>(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) fixation and seed yield. *Agron. J.*, 74:307-311, 1982.

LIPIEC, J.; ISHIOKA, T.; HATANO, R. & SAKUMA, T. Effects of soil structural discontinuity on root and shoot growth and water use of maize. *Plant Soil*, 157:65-74, 1993.

LUO, Y.; MYERS, O.; LIGHTFOOT, D.A.; SCHMIDT, M.E.. Root colonization of soybean cultivars in the field by *Fusarium solani* f. sp. *glycines*. *Plant Disease*, v.83, n.12, p.1155-1159, 1999.

MELGAR, J. & ROY, K.W. Soybean sudden death syndrome: cultivar reactions to inoculation in a controlled environment and host range and virulence of causal agent. *Plant Disease* 78:265-268. 1994.

NJITI, V.N. SHENAUT, M.A.; SUTTNER, R.J.; SCHMIDT, M.E.; GIBSON, P.T. Relationship between soybean sudden death syndrome disease measures and yield components in F<sub>6</sub> – derived lines. *Crop Science*, v.38, p.673-678, 1998.

NJITI, V.N., JOHNSON, J.E., TORTO, T.A., GRAY, L.E. & LIGHTFOOD, D.A. Inoculum rate influences selection for field resistance to soybean sudden death syndrome in the greenhouse. *Crop Science*. v. 41. p. 1726-1731. 2001.

RITCHIE, S.W. et al. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 1993. 21p. (Special Report, 48). Acesso em: 20 jun 2011. Online. Disponível em: [www.maize.agron.iastate.edu/corngrows.html](http://www.maize.agron.iastate.edu/corngrows.html).

ROY, K. W.; LAWRENCE, G. W.; HODGES, H. H.; MCLEAN, K. S.; KILLEBREW, J. F. Sudden death syndrome of soybean: *Fusarium solani* as incitant and relation of *Heterodera glycines* to disease severity. *Phytopathology*, St. Paul, v.79, p.191-197, 1989.

RUPE, J. C.; GBUR, E. E. Effect of plant age, maturity group, and the environment on disease progress of sudden death syndrome of soybean. **Plant Disease**, St. Paul, v.77, p.139-143, 1995

RUPE, J. C. Epidemiology of sudden death syndrome of soybean. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1999, Londrina. **Anais...** Londrina:Embrapa Soja, 1999. p.139-148.

RUPE, J. C. Frequency and pathogenicity of *Fusarium solani* recovered from soybeans with sudden death syndrome. **Plant Disease**, St. Paul, v.73, p.581-584, 1989.

SCHERM, H. & YANG, X.B. Development of sudden death syndrome of soybean in relation to soil temperature and soil water matric potencial. **Phytopathology**, Saint Paul, v.86, p.642-649,1996.

STEPHENS, P.A., NICKELL, C.D., KOLB, F.L. Genetic analysis resistance to *Fusarium solani* to soybean. **Crop Science** v. 33. p. 929-930. 1993a.

STEPHENS, P. A. NICKELL, C.D., MOOTS, C.K., LIM, S.M. Relationship between field and greenhouse reactions of soybean to *Fusarium solani*. **Plant Disease**, St. Paul, v.77, p.163-166, 1993b.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.4, p.573-581, 1998.

VICK, C.M.; CHONG, S.K.; BOND, J.P.; RUSSIN, J.S. Response of soybean sudden death syndrome to subsoil tillage. **Plant Disease**, St. Paul, v.87, n. 6, p.629-632, 2003.

WRATHER, J.A.; KENDIG, S. R.; ANAND, C.S.; NIBLACK, T.L.; SMITH,G.S. Effects of tillage, cultivar, and planting date on percentage of soybean leaves with symptoms of Sudden Death Syndrome. **Plant Disease**, v.79, n.6, p.560-562, 1995.

YORINORI, J.T. Método do palito de dente para seleção de genótipos de soja com resistência ao cancro da haste. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 16., Dourados, 1994. *Ata e Resumos*. Londrina, CNPSo/EMBRAPA, 1994. p.130-131.

**CAPÍTULO 4 - DESENVOLVIMENTO RADICULAR DE SOJA CULTIVADA EM SOLO SOB INFESTAÇÃO DE *F. tucumaniae* EM DIFERENTES MANEJOS DE SOLO COM POTENCIAIS HÍDRICOS DE -0,001 MPa E -0,05 MPa**

**RESUMO** - Objetivou-se, estudar o desenvolvimento radicular em variedade de soja FT-Cristalina, cultivada em solo infestado com *Fusarium tucumaniae* sob diferentes manejos, e com potencial hídrico de -0,001 MPa e -0,05 MPa. Os ensaios foram desenvolvidos em condições de campo na primavera/verão de 2009/2010 e outono/inverno de 2010, na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP, campus de Jaboticabal, SP. O delineamento experimental utilizado foi o em blocos ao acaso, com duas e quatro repetições na primeira e segunda época, respectivamente. Os tratamentos constaram da combinação de níveis de compactação (C0=0 passagem; C2= 2 passagens e C4= 4 passagens de trator de 11t), formas de infestação do solo (I1 = FT-Cristalina em área de FT-Cristalina em solo infestado anteriormente, I2 = FT-Cristalina em área de CAC-1 em solo infestado anteriormente, I3 = FT-Cristalina em solo não infestado, I4 = FT-Cristalina em solo infestado no momento da semeadura) e dois tipos de manejo de solo (com e sem revolvimento). O nível de compactação com seis passadas de trator de 11 t. foi utilizado apenas no ensaio do outono/inverno de 2010. Foi utilizada irrigação por aspersão visando obtenção do conteúdo de água de -0,001 MPa e -0,05 MPa. Pelos resultados obtidos os métodos de infestação do solo não influenciaram no desenvolvimento radicular em ambas as épocas de cultivo.

**Palavras-chave:** Podridão vermelha da raiz, compactação do solo, irrigação, revolvimento do solo, Síndrome da morte súbita.

## 1. INTRODUÇÃO

A Podridão Vermelha da Raiz (PVR), também conhecida como Síndrome da Morte Súbita, é uma doença relativamente nova na cultura da soja. A doença é causada pelo fungo *Fusarium tucumaniae* e afeta a maioria das áreas de cultivo de soja nos Estados Unidos, Brasil e Argentina (HARTMAN et al., 1995).

Nos Estados Unidos há relatos de perdas de rendimento variando entre 20 e 80%, dependendo da cultivar e do estágio de desenvolvimento da cultura no momento de infecção (RUPE et al., 1999). Em 1993, houve perdas de 20 a 46% no rendimento da soja em áreas com alta incidência da doença nos Estados Unidos (SCHERM & YANG, 1996).

O sintoma de infecção na raiz inicia com uma mancha avermelhada, mais visível na raiz principal e geralmente localizada um a dois centímetros abaixo do nível do solo. Com a evolução da infecção, é observada uma expansão da lesão, que passa a circundar a raiz, assumindo coloração castanho-avermelhada escuro. A necrose situa-se no tecido cortical, enquanto o lenho da raiz adquire uma coloração castanho-clara, estendendo-se pelo tecido lenhoso da haste a vários centímetros acima do nível do solo. Na lesão, pode ser observada uma massa azulada de esporos do patógeno.

Solos compactados e com água livre favorecem o desenvolvimento de *Fusarium* spp., que se distribui na lavoura em forma de manchas ao acaso (PICININI & FERNANDES, 2003). Além do favorecimento à PVR, a compactação do solo altera a estrutura e, conseqüentemente, ocorre decréscimo da porosidade, da disponibilidade de água e nutrientes e da difusão de gases no solo (TAYLOR & BRAR, 1991), cujas relações o desenvolvimento das raízes são fundamentais. Segundo PABIN et al. (1998), a redução de 40% no comprimento radicular é crítica à produtividade das plantas em solo arenoso. CINTRA & MIELNICZUK (1983) verificaram uma redução de 50% no comprimento radicular de várias culturas, com resistência do solo à penetração (RP) de 1,10 MPa, em Latossolo Roxo. MIELNICZUK et al. (1985) constataram uma redução de 86% no comprimento radicular da soja em vasos quando a RP foi de 2,35 MPa, porém, não decrescendo a massa de matéria seca da parte aérea em um Latossolo Roxo.

ROSOLEM et al. (1994) trabalhando em vasos, verificaram que na RP de 0,69 MPa houve uma redução de 50% no comprimento radicular da soja, em Latossolo Vermelho-Escuro. Em geral, tem-se adotado o valor de RP de 2,0 MPa como crítico ao crescimento radicular (TORMENA et al.,1998). A associação entre alta umidade do solo e ocorrência de PVR é uma observação comum no campo (RINGLER, 1995; ROY et al., 1997).

Segundo QUEIROZ-VOLTAN et al. (2000), em solos compactados, as raízes das plantas não utilizam adequadamente os nutrientes disponíveis, uma vez que o desenvolvimento de novas raízes, responsáveis pela absorção de água e nutrientes, fica prejudicado. Além disso, esses autores mencionam que a quantidade de oxigênio na rizosfera pode ser limitante nos processos metabólicos. Segundo HAKANSSON et al. (1998), em solos compactados, o menor desenvolvimento do sistema radicular resulta em menor volume de solo explorado pelas raízes e, conseqüentemente, menor absorção de água e nutrientes.

MELGAR et al. (1994) reportaram que a incidência da doença foi maior em plantas irrigadas do que em plantas não irrigadas. FARIAS NETO et al. (2006) observaram reduções em produtividade de até 27% em cultivares suscetíveis que apresentaram severos sintomas foliares, em pesquisa estudando efeito da umidade na ocorrência e no desenvolvimento da PVR.

Objetivou-se, estudar o desenvolvimento radicular em variedade de soja FT-Cristalina, cultivada em solo infestado sob diferentes manejos, em condições de potencial de - 0,001 MPa e - 0,05 MPa.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Os experimentos foram instalados na primavera/verão de 2009/10 e no outono/inverno de 2010, em área experimental da Fazenda de Ensino e Pesquisa e Extensão da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal/SP, UNESP, situado a 21°19' de latitude Sul, 47°33' de longitude Oeste e 616 m de altitude. O solo é classificado como Latossolo Vermelho eutroférico textura

argilosa (LVef) (ANDRIOLI & CENTURION, 1999). O clima é do tipo Cwa, segundo classificação de Köppen.

Antes da instalação dos experimentos, foi efetuada a amostragem de solo na camada de 0 a 0,20 m para análise química para fins de fertilidade.

O isolado de *F. tucumaniae* foi utilizado para produção do inóculo que consistiu de grãos de sorgo colonizados com o patógeno preparado seguindo-se a metodologia descrita por BALARDIN & RUBIN, (1999).

Os tratamentos constaram da combinação de níveis de compactação do solo (C0 = 0 passagem; C2 = 2 passagens e C4=4 passagens de trator de 11t.), formas de infestação (I1 = FT-Cristalina em área de FT-Cristalina em solo infestado anteriormente, I2 = FT-Cristalina em área de CAC-1 em solo infestado anteriormente, I3 = FT-Cristalina em solo não infestado, I4 = FT-Cristalina em solo infestado no momento da semeadura) e dois tipos de manejo do solo (revolvido e não revolvido). A infestação efetuada anteriormente foi realizada seis meses antes da instalação dos experimentos.

Os níveis de compactação já estavam estabelecidos na área correspondente ao ensaio instalado anteriormente. Para o outono/inverno de 2010, o nível de compactação C6 (seis passagens de trator de 11 t) foi incluído no experimento.

Para o fator manejo do solo, o nível em que o solo foi revolvido (sistema convencional) utilizou-se do implemento enxada rotativa a profundidade de até 20 cm.

A adubação foi feita com base na interpretação dos resultados da análise química do solo (Tabela 1), distribuindo-se no sulco de semeadura a quantidade equivalente de 170 kg/ha de adubo formulado 2-20-20.

**Tabela 1.** Resultados das análises químicas das amostras de solo representativa da área experimental destinada aos ensaios de campo (épocas de primavera/verão 2009/10 e outono/inverno de 2010).

Análise química	pH em CaCl <sub>2</sub>	M.O. g/dm <sup>3</sup>	P resina mg/dm <sup>3</sup>	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V%
Amostras <sup>(1)</sup>				-----mmol/dm <sup>3</sup> -----						
Primavera/Verão	5.3	21	70	5.4	30	15	31	50.4	81.4	62
Outono/Inverno	5.3	23	56	4.6	38	16	28	58.6	86.6	68

As sementeiras realizadas em 15/12/2009 e 30/06/2010 foram mecanizadas para os tratamentos em que não se efetuou a infestação do solo com o patógeno no momento da sementeira. Apenas no tratamento I4 (fator formas de infestação) em que a infestação do solo com grãos de sorgo colonizados com *F. tucumaniae* foi simultânea à sementeira, realizou-se a distribuição manual do inóculo e das sementes no sulco de sementeira.

Tanto na sementeira mecânica como na manual distribuíram 30 sementes por metro e cerca de 30 dias após a emergência, realizou-se o desbaste de plantas para ajuste da população para 20 plantas/metro de linha. Foi utilizada a cultivar de soja FT-Cristalina, classificada como suscetível (S) à PVR.

Em ambos os experimentos, no tratamento I4 (fator formas de infestação) uma segunda infestação do solo foi realizada, no estágio fenológico V2 da soja, distribuindo-se o inóculo ao lado do colo das plantas da área útil de cada parcela, na dose de 18 g/m de grãos de sorgo colonizados.

Tensiômetros foram instalados nas áreas experimentais e através de leituras diárias procedeu-se o controle do conteúdo de água pré-estabelecido no potencial de - 0,001 MPa e - 0,05 MPa. Essa condição de saturação do solo foi mantida através de irrigação por aspersão sempre que os tensiômetros registravam maiores tensões.

Foram coletadas amostras indeformadas de solo nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 para determinação da resistência do solo à penetração (RP), densidade do solo e macroporosidade. Os valores de densidade do solo obtido nos diferentes níveis de compactação foram: C0 = 1,09/1,18 g cm<sup>-3</sup>; C2 = 1,18/1,23 g cm<sup>-3</sup> e C4 = 1,25/1,24 g cm<sup>-3</sup>, na primavera verão; e no outono/inverno: C0 = 1,20/1,32 g cm<sup>-3</sup>, C2= 1,34/1,37 g cm<sup>-3</sup>, C4 = 1,36/1,37 g cm<sup>-3</sup>e C6 = 1,36/1,33 g cm<sup>-3</sup>. Os de resistência à penetração, no outono/inverno, foram: C0 = 0,71/1,24 MPa; C2 = 1,50/1,66 MPa; C4 = 1,88/1,86 MPa e C6 = 1,57/1,61 MPa. Na primavera/verão: C0 = 0,66/1,15 MPa; C2 = 1,45/1,63 MPa e C4 = 2,12/1,50 MPa. A macroporosidade, no outono/inverno: C0 = 0,142/0,075 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; C2 = 0,08/0,066 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; C4 = 0,059/0,076 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; C6 = 0,0151/0,092 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. Na primavera/verão: C0 = 0,15/0,09 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; C2 = 0,11/0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; C4 = 0,08/0,08 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>.

Todos os fatores estão apresentados nas camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, respectivamente.

No estádio V5 coletaram-se duas amostras por parcela de solo, próximo as raízes, utilizando-se um trado amostrador descrito em FUJIWARA et al. (1994), distanciadas de 0,20 m do eixo principal das plantas de soja, nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m. Estas amostras contendo as raízes foram lavadas em água corrente, utilizando peneira de 0,005 m, e as raízes obtidas foram acondicionadas em potes com álcool 70%. As imagens das raízes foram digitalizadas em um “scanner” de leitura ótica, na resolução de 400 dpi, que forneceram a área, o diâmetro médio (mm) e o comprimento das raízes (mm) pelo software “Delta-T Scan” para determinação da densidade do comprimento radicular. Na seqüência, as amostras foram secas em estufa com temperatura ajustada para 65°C ( $\pm$  2°C) até massa constante, para determinação da massa seca das raízes (g).

Os dois experimentos foram instalados utilizando-se o delineamento em blocos casualizados, sendo que na primavera/verão de 2009/10 utilizaram-se duas repetições com parcelas experimentais constituídas de quatro linhas de 4m. No outono/inverno de 2010, utilizaram-se quatro repetições e cada parcela constou de quatro linhas de 2m. Em ambos experimentos adotou-se o espaçamento entrelinhas de 0,45 m, considerando-se como área útil as duas linhas centrais. No outono/inverno foi necessário reduzir a área das parcelas experimentais devido à inclusão do nível de compactação C6 e acréscimo no número de repetições em área pré-determinada pelo experimento conduzido anteriormente.

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância pelo teste F, seguindo-se o esquema fatorial 3x4x2 e 4x4x2, para os experimentos de primavera/verão e outono/inverno, respectivamente (três ou quatro níveis de compactação do solo, quatro formas de infestação e dois tipos de manejo do solo). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e utilizando-se o programa estatístico AGROESTAT (BARBOSA & MALDONADO, 2009).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 1, 2, 3 e 4 estão apresentados os resultados das leituras de área, diâmetro, comprimento radicular, densidade de comprimento radicular e de massa seca de raiz, coletadas nas profundidades de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, na primavera/verão 2009/10 (Tabelas 2 e 3), e outono/inverno 2010 (Tabelas 4 e 5).

No experimento com conteúdo de água de - 0,001 MPa da safra primavera/verão, para todas as características avaliadas, não foram detectadas diferenças estatística em ambas as profundidades e fatores testados (Tabela 2).

A compactação do solo não influenciou na densidade e superfície radicular nas camadas de solo, enquanto o diâmetro médio radicular e a matéria seca das raízes apresentaram a mesma resposta à compactação em ambas as camadas. A resistência do solo à penetração é um dos atributos físico mais utilizado como indicativo da compactação do solo (BEAUTLER & CENTURION, 2004).

Relacionando a podridão vermelha da raiz aos atributos de raízes avaliados, não detectaram-se influência dos sintomas da doença aos resultados obtidos, uma vez que os fatores compactação e manejo de solo podem limitar o desenvolvimento radicular tão quanto a uma doença de solo.

No cultivo de primavera/verão, no experimento com conteúdo de água de - 0,05 MPa, para a característica área de raiz em profundidade de 0-10 cm, não foram observadas diferenças estatísticas significativas nos fatores testados (Tabela 3). Neste período os resultados de resistência a penetração foram maiores que no outono/inverno. O alto volume de precipitação de 1053,6 mm, associado as irrigações pode ter auxiliado nos menores valores de resistência a penetração (RP) nesta safra.

A RP é influenciada pela textura, conteúdo de água, densidade do solo e tipo de mineral de argila no solo (GOMES & PEÑA, 1996). Nesse contexto, o conteúdo de água na capacidade de campo é considerado ideal para a determinação da RP, condição em que é obtida melhor correlação com a densidade do solo e o crescimento radicular (HENDERSON, 1989; ARSHAD et al., 1996), sendo a sua influência maior em solos mais argilosos (ROSOLEM et al., 1999).

**Tabela 2.** Área, diâmetro, comprimento, densidade e massa seca de raízes da variedade de soja FT-Cristalina de experimento de campo com potencial hídrico de - 0,001 MPa da safra primavera/verão de 2009/2010.

Tratamentos	Área (mm <sup>2</sup> )		Diâmetro (mm)		Comprimento (cm)		Densidade (mm/ml)		Massa seca (mg)	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
<b>Infestação (A)</b>										
I1 <sup>(1)</sup>	695,35	949,89	0,55	0,60	126,56	154,50	0,28	0,12	28,85	39,24
I2	691,63	516,49	0,54	0,49	124,57	102,14	0,27	0,18	25,80	21,84
I3	568,46	695,79	0,50	0,49	105,24	133,71	0,23	0,12	27,01	34,11
I4	990,69	844,43	0,59	0,63	150,77	125,91	0,33	0,15	37,40	31,70
Dms (5%)	498,90	537,69	0,14	0,15	72,30	73,37	0,12	0,07	26,63	26,70
F	1,98NS	1,88NS	0,93NS	3,05NS	1,02NS	1,33NS	1,02NS	1,86NS	0,59NS	1,15NS
<b>Compactação (B)</b>										
C0	722,49	834,36	0,52	0,56	133,87	140,96	0,29	0,16	32,38	35,71
C2	786,88	652,50	0,54	0,52	129,25	119,04	0,28	0,13	26,18	29,12
C4	700,23	768,10	0,58	0,58	117,24	127,19	0,26	0,14	30,74	30,34
Dms (5%)	391,00	421,40	0,11	0,08	56,66	57,50	0,12	0,06	20,87	20,92
F	0,17NS	0,60NS	1,04NS	0,67NS	0,29NS	0,47NS	0,29NS	0,65NS	0,30NS	0,35NS
<b>Manejo de solo (C)</b>										
Revolvido	730,88	868,69	0,55	0,58	128,34	144,88	0,28	0,14	34,23	36,96
Não revolvido	742,18	634,62	0,54	0,53	125,23	113,25	0,27	0,14	25,30	26,48
Dms (5%)	263,71	284,21	0,07	0,08	38,21	38,78	0,08	0,04	14,08	14,11
F	0,01NS	2,90NS	0,04NS	1,37NS	0,03NS	2,85NS	0,03NS	0,06NS	1,72NS	2,36NS
Teste F A x B	1,11NS	0,10NS	0,98NS	0,63NS	1,42NS	0,18NS	1,42NS	0,66NS	0,86NS	0,46NS
Teste F A x C	0,52NS	0,10NS	0,48NS	0,19NS	0,24NS	0,17NS	0,24NS	1,95NS	0,19NS	0,86NS
Teste F B x C	0,33NS	0,73NS	1,03NS	1,41NS	0,74NS	1,01NS	0,74NS	0,92NS	0,72NS	1,63NS
Teste F A x B x C	0,70NS	0,65NS	0,76NS	0,69NS	0,87NS	0,61NS	0,87NS	1,21NS	0,85NS	1,07NS
F	1,59NS	0,94NS	0,00NS	0,09NS	1,14NS	1,29NS	1,14NS	0,50NS	0,46NS	0,93NS
CV (%)	59,95	63,31	23,87	24,68	50,47	50,32	50,47	48,15	79,21	74,49

<sup>(1)</sup>Leituras das raízes realizadas em "scanner" Delta T de amostras de raízes retiradas com trado em cada parcela experimental.

<sup>(2)</sup>Médias (de 2 repetições) seguidas de letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

**Tabela 3.** Área, diâmetro, comprimento, densidade e massa seca de raízes da variedade de soja FT-Cristalina de experimento de campo com potencial hídrico de - 0,05 MPa da safra primavera/verão de 2009/2010.

Tratamentos	Área (mm <sup>2</sup> )		Diâmetro (mm)		Comprimento (cm)		Densidade (mm/ml)		Massa seca (mg)	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
<b>Infestação (A)</b>										
I1 <sup>(1)</sup>	711,69	354,30 ab	0,55	0,49	136,04	70,69 ab	0,30	0,15ab	38,36	18,45
I2	530,37	438,61 a	0,47	0,46	111,96	96,29 a	0,24	0,21 a	23,96	19,83
I3	579,26	260,54 b	0,58	0,45	98,22	56,03 b	0,21	0,12 b	36,03	8,16
I4	621,32	241,17 b	0,59	0,45	101,62	52,88 b	0,22	0,11b	36,70	10,13
Dms (5%)	303,76	160,93	0,13	0,08	49,18	35,48	0,10	0,07	30,17	14,20
F	0,98NS	4,92**	2,11NS	0,88NS	1,85NS	4,77**	1,85NS	4,77**	0,73NS	2,60NS
<b>Compactação (B)</b>										
C0	636,86	385,19 a	0,56	0,51 a	115,16	75,72	0,25	0,16	36,16	19,26
C2	659,45	255,31 b	0,52	0,43 b	125,60	57,83	0,28	0,12	32,56	12,20
C4	535,67	330,47 ab	0,56	0,45 ab	95,11	73,36	0,21	0,16	32,57	10,98
Dms (5%)	238,06	126,12	0,10	0,06	38,55	27,80	0,08	0,06	23,65	11,13
F	0,96NS	3,35NS	0,51NS	4,87*	2,03NS	1,53NS	2,03NS	1,53NS	0,10NS	2,02NS
<b>Manejo de solo (C)</b>										
Revolvido	640,86	340,28	0,57	0,46	107,52	73,30	0,23	0,16	32,10	14,53
Não revolvido	580,46	307,03	0,53	0,47	116,40	64,64	0,25	0,14	35,43	13,75
Dms (5%)	160,56	85,06	0,07	0,04	26,00	18,75	0,05	0,04	15,95	7,50
F	0,61NS	0,65NS	1,09NS	0,56NS	0,50NS	0,91NS	0,50NS	0,91NS	0,19NS	0,05NS
Teste F A x B	1,08NS	1,50NS	2,39NS	1,25NS	1,33NS	1,82NS	1,33NS	1,82NS	0,53NS	1,14NS
Teste F A x C	1,51NS	0,20NS	0,34NS	0,12NS	0,54NS	0,18NS	0,54NS	0,18NS	1,24NS	2,07NS
Teste F B x C	1,50NS	0,01NS	0,04NS	1,16NS	0,23NS	0,11NS	0,23NS	0,11NS	0,50NS	0,13NS
Teste F A x B x C	4,80**	1,97NS	2,12NS	2,75*	2,45NS	1,70NS	2,45NS	1,70NS	3,07*	2,05NS
F	2,74NS	1,08NS	6,41*	0,20NS	0,01NS	1,14NS	0,01NS	1,14NS	3,09NS	1,55NS
CV (%)	44,03	44,01	22,37	15,29	38,88	45,53	38,88	45,53	79,10	88,85

<sup>(1)</sup>Leituras das raízes realizadas em "scanner" Delta T de amostras de raízes retiradas com trado em cada parcela experimental.

<sup>(2)</sup>Médias (de 2 repetições) seguidas de letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na profundidade de 10-20 cm para o fator formas de infestação do solo (Tabela 3), os tratamentos em que o solo foi infestado anteriormente (I1 e I2) apresentaram as maiores médias de área de raiz, não diferindo estatisticamente entre si. No fator compactação, o nível em que não houve compactação C0 apresentou a maior média de área de raízes, concordando com os dados da literatura em que em solos não compactados o desenvolvimento radicular é maior. Neste nível os valores de resistência a penetração e macroporosidade nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm foram menores apresentando 0,71/1,24 MPa e 0,142/0,075 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>, respectivamente, proporcionando as raízes melhor arejamento. BEULTER et al (2004) estudaram o desenvolvimento radicular da soja sob efeito da compactação do solo e observaram em tratamento com solo revolvido, ocorreu melhor distribuição do sistema radicular em profundidade e uma maior concentração de raízes até 0,10 m de profundidade em relação aos tratamentos nos quais o solo foi compactado com o trator e que apresentou maior quantidade de raízes até 0,05 m, verificado por meio da densidade, superfície e massa de matéria seca das raízes.

Em relação ao diâmetro de raízes, apenas na profundidade de 10-20 cm foram observadas diferenças estatísticas, tendo o nível C0 do fator compactação do solo, alcançado a maior média. De acordo com MATERECHERA et al. (1992), a resistência mecânica do solo causa aumento do diâmetro das raízes na camada compactada, por provocar modificações morfológicas e fisiológicas, específicas a cada espécie ou cultivar, a fim de se adaptarem. ROSOLEM et al. (1994) e FOLONI et al. (2003) também verificaram que o diâmetro médio radicular das plantas de milho aumentou na camada de solo compactado com o incremento da resistência mecânica à penetração (Tabela 3).

Na característica comprimento de raízes na profundidade de 0-10 cm, não se observou diferenças estatísticas em todos os fatores testados. Já na profundidade de 10-20 cm, para o fator formas de infestação do solo, a modalidade I2 apresentou a maior média de comprimento de raízes.

Não houve diferenças estatísticas significativas entre os níveis de compactação e manejo do solo. DEXTER (1987) demonstrou que o crescimento de raízes pode ser

**Tabela 4.** Área, diâmetro, comprimento, densidade e massa seca de raízes da variedade de soja FT-Cristalina de experimento de campo com potencial hídrico de - 0,001 MPa da safra outono/inverno de 2010.

Tratamentos	Área (mm <sup>2</sup> )		Diâmetro (mm)		Comprimento (cm)		Densidade (mm/ml)		Massa seca (mg)	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
<b>Infestação (A)</b>										
I1 <sup>(3)</sup>	1056,76 a	274,79	0,46 ab	0,41 ab	221,04 a	61,39	0,49 a	0,13 b	73,39 a	22,16
I2	1037,28 a	389,21	0,47 ab	0,36 b	204,64 a	92,80	0,45 a	0,20 a	67,63 a	15,16
I3	630,25 b	375,02	0,44 b	0,41 ab	133,82 b	82,77	0,29 b	0,18 ab	28,76 b	16,64
I4	1251,18 a	443,15	0,52 a	0,44 a	233,52 a	91,84	0,52 a	0,20 ab	78,16 a	57,11
Dms (5%)	310,59	180,71	0,06	0,075	45,69	31,46	0,10	0,07	24,88	44,20
F	9,66**	2,07NS	2,92*	2,89*	13,02**	2,94NS	13,02**	2,99*	11,25**	2,74*
<b>Compactação (B)</b>										
C0	913,01	268,16 b	0,45	0,37	187,82 ab	69,96	0,41 ab	0,15	59,64	14,91
C2	1166,53	357,04 ab	0,50	0,39	227,87 a	79,98	0,50 a	0,17	74,01	20,05
C4	915,87	474,57 a	0,47	0,43	178,71 b	97,81	0,39 b	0,21	54,02	50,17
C6	980,06	382,41 ab	0,48	0,43	198,62 ab	81,06	0,44 ab	0,18	60,27	25,93
Dms (5%)	310,59	180,71	0,06	0,07	45,69	31,46	0,10	0,07	24,88	44,20
F	2,02NS	3,02*	1,04NS	2,16NS	2,99*	1,84NS	2,99*	1,97NS	1,59NS	1,70NS
<b>Manejo de solo (C)</b>										
Revolvido	844,56 b	379,47	0,46	0,41	173,65 b	82,48	0,38 b	0,18	60,39	23,45
Não revolvido	1143,18 a	361,62	0,49	0,40	222,86 a	81,92	0,49 a	0,18	63,58	32,08
Dms (5%)	166,70	96,99	0,03	0,04	24,52	16,88	0,05	0,03	13,35	23,72
F	12,65**	0,13NS	2,33NS	0,01NS	15,88**	0,00NS	15,88**	0,00NS	0,23NS	0,52NS
Teste F A x B	1,82NS	1,70NS	2,26*	1,85NS	1,40NS	1,62NS	1,40NS	1,60NS	3,37**	1,78NS
Teste F A x C	2,41NS	0,29NS	0,52NS	0,96NS	5,82**	2,35NS	5,82**	2,36NS	1,85NS	0,52NS
Teste F B x C	0,74NS	0,70NS	0,48NS	1,04NS	0,66NS	0,83NS	0,66NS	0,90NS	1,50NS	0,53NS
Teste F A x B x C	0,49NS	1,42NS	0,62NS	1,22NS	0,59NS	0,81NS	0,59NS	0,82NS	0,77NS	0,73NS
F	1,20NS	3,78*	1,44NS	3,08*	1,23NS	2,27NS	1,23NS	2,24NS	0,91NS	1,10NS
CV (%)	47,78	74,56	22,10	28,21	35,23	58,52	35,23	58,60	61,38	243,38

<sup>(1)</sup>Leituras das raízes realizadas em "scanner" Delta T de amostras de raízes retiradas com trado em cada parcela experimental.

<sup>(2)</sup>Médias (de 4 repetições) seguidas de letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

**Tabela 5.** Área, diâmetro, comprimento, densidade e massa seca de raízes da variedade de soja FT-Cristalina de experimento de campo com potencial hídrico de - 0,05 MPa da safra outono/inverno de 2010.

Tratamentos	Área (mm <sup>2</sup> )		Diâmetro (mm)		Comprimento (cm)		Densidade (mm/ml)		Peso seco (mg)	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
<b>Infestação (A)</b>										
I1 <sup>(3)</sup>	870,65	281,85	0,45	0,42	164,46	59,98	0,36	0,13	80,94 a	24,25
I2	645,56	322,54	0,45	0,38	134,12	77,02	0,29	0,17	36,77 c	16,60
I3	686,08	342,54	0,43	0,40	147,42	72,01	0,32	0,16	43,93 bc	25,70
I4	810,21	257,25	0,43	0,35	176,44	63,04	0,39	0,14	67,88 ab	21,65
Dms (5%)	324,25	199,40	0,07	0,08	48,00	31,01	0,10	0,06	28,83	22,77
F	1,44NS	0,51NS	0,35NS	1,78NS	2,06NS	0,88NS	2,06NS	0,88NS	6,98**	0,42NS
<b>Compactação (B)</b>										
C0	882,35	332,41	0,47 a	0,39	169,01	73,70	0,37	0,16	81,65 a	15,57
C2	730,94	348,30	0,46 ab	0,41	151,19	75,08	0,33	0,16	46,11 b	33,97
C4	840,25	263,15	0,45 ab	0,38	172,69	62,75	0,38	0,13	61,13ab	19,17
C6	558,96	263,15	0,39 b	0,37	129,54	60,52	0,28	0,13	40,63 b	19,50
Dms (5%)	324,25	199,40	0,07	0,08	48,00	31,01	0,10	0,06	28,83	22,77
F	2,71*	0,72NS	3,23*	0,40NS	2,32NS	0,79NS	2,32NS	0,79NS	5,54**	1,75NS
<b>Manejo de solo (C)</b>										
Revolvido	679,64	334,54	0,42	0,41	143,72	73,11	0,32	0,16	46,77 b	29,25 a
Não revolvido	826,61	267,55	0,46	0,37	167,49	62,91	0,37	0,14	67,98 a	14,85 b
Dms (5%)	174,04	107,03	0,04	0,04	25,76	16,64	0,05	0,03	15,47	12,22
F	2,81NS	1,55NS	2,94NS	2,38NS	3,36NS	1,48NS	3,36NS	1,48NS	7,41**	5,46*
Teste F A x B	0,89NS	1,40NS	1,32NS	1,61NS	0,42NS	0,89NS	0,42NS	0,89NS	4,08**	1,26NS
Teste F A x C	4,17**	1,92NS	3,21*	3,08*	3,10*	2,35NS	3,10*	2,35NS	7,01**	0,75NS
Teste F B x C	1,03NS	1,34NS	1,01NS	0,59NS	1,49NS	1,50NS	1,49NS	1,50NS	2,04NS	1,16NS
Teste F A x B x C	1,54NS	0,83NS	3,09**	0,90NS	1,17NS	0,93NS	1,17NS	0,93NS	4,04**	0,87NS
F	0,91NS	0,18NS	0,28NS	0,62NS	2,25NS	0,28NS	2,25NS	0,28NS	0,24NS	1,08NS
CV (%)	65,82	101,27	26,11	34,60	47,17	69,71	47,17	69,71	76,82	157,89

<sup>(1)</sup>Leituras das raízes realizadas em "scanner" Delta T de amostras de raízes retiradas com trado em cada parcela experimental.

<sup>(2)</sup>Médias (de 4 repetições) seguidas de letras diferentes a na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

inibido com valores de resistência à penetração.

Esse efeito pode estar relacionado com o tempo de adoção dos sistemas sem revolvimento, caracterizando um sistema de semeadura direta estabilizado, e pela redução na agregação do solo (CALONEGO & ROSOLEM, 2008).

Pelos resultados obtidos de área radicular, a PVR não influenciou no desenvolvimento radicular mesmo nos tratamentos de infestação do solo em que o patógeno *F. tucumaniae* estava presente.

Já na profundidade de 10-20, em relação à área de raiz não foram observadas diferenças estatísticas para todos os fatores testados (Tabela 4).

Em relação ao diâmetro de raiz, na profundidade de 0 a 10 cm, os níveis I1, I2 e I4 do fator formas de infestação do solo apresentaram as maiores média. Por sua vez, os níveis dos fatores compactação e manejo de solo não diferiram entre si. Para a mesma característica, na profundidade de 10 a 20 cm, foram constatadas diferenças estatísticas apenas para o fator formas de infestação de solo, onde I1, I3 e I4 apresentaram as maiores médias (Tabela 4).

Os sintomas radiculares da podridão vermelha da raiz poderia causar degradação radicular das plantas infectadas, porém pelos resultados de densidade e comprimento radicular obtidos não detectou-se influência da doença.

Analisando o comprimento de raízes, na profundidade de 0 a 10 cm, foram observadas diferenças significativas para todos os fatores estudados. No fator formas de infestação do solo, os níveis I1, I2 e I4 apresentaram as maiores médias,

oposto a testemunha, em que se detectou a menor média com 133,82 cm de comprimento. Nos fatores compactação e manejo de solo as maiores médias foram obtidas para os níveis C2 e área não revolvida. Analisando o comprimento de raízes na profundidade de 10 a 20 cm, não foram observadas diferenças significativas entre os fatores avaliados. Sadras et al. (2005) observaram que o crescimento radicular foi reduzido e o comprimento radicular diminuiu gradativamente na camada subsuperficial do solo, refletindo mudanças morfológicas das raízes, em função da compactação do solo.

Diante disso, os valores observados com o teste de compactação confirmam que em ambos os cultivos para densidade do solo não ocorreu valores maiores que 2 MPa, valor este considerado limitante ao desenvolvimento radicular das culturas, conforme destacado por TORMENA et al. (1998).

Em densidade, para a profundidade de 0 a 10 cm, foram observadas diferenças significativas para todos os fatores. Os tratamentos em que o solo foi infestado anteriormente (I1, I2) e I4, o tratamento pelo qual o solo foi infestado junto a semeadura do fator formas de infestação, como em outras características avaliadas, apresentaram as maiores médias, não diferindo significativamente entre si. Na compactação C2 e em área não revolvida foram observadas as maiores médias de densidade de raiz.

Na profundidade de 10 a 20 cm, observaram diferenças significativas apenas entre os níveis do fator infestação do solo, sendo que tanto na testemunha, como nos tratamentos em que o patógeno estava presente no solo (I2, I3 e I4), apresentaram as maiores médias de densidade das raízes.

Para massa seca, analisando os dados nas profundidades de 0 a 10 e 10 a 20 cm, detectaram-se diferenças significativas apenas no fator formas de infestação do solo na profundidade de 0 a 10 cm, sendo que I1, I2 e I4 apresentaram as maiores médias.

Na Tabela 5, em relação à área de raízes, nas duas profundidades testadas não foram observadas diferenças significativas entre os fatores testados no cultivo de outono/inverno de 2010.

Em diâmetro de raízes, apenas na profundidade de 0 a 10 cm no fator compactação observaram-se diferenças estatísticas, onde o nível não compactado (C0) apresentou a maior média não diferindo significativamente dos níveis C2 e C4. BOONE et al. (1986) afirmaram que em solos compactados, o diâmetro dos macroporos é reduzido, a resistência mecânica aumenta e a aeração pode-se tornar deficiente. Estes três fatores podem agir conjuntamente em um desenvolvimento deficiente das raízes. Nas características comprimento e densidade de raízes, em ambas as profundidades e fatores estudados, não detectaram diferenças estatísticas significativas.

Avaliando a massa seca, em profundidade de 0-10 cm, observaram-se diferenças estatísticas no fator formas de infestação do solo, onde I1 apresentou a maior média. Já, nos fatores compactação e manejo de solo, o nível C0 e o solo não revolvido apresentaram as maiores médias de massa seca. Analisando a massa seca na profundidade 10-20 cm, detectaram-se diferenças estatísticas apenas no fator manejo de solo, onde o solo revolvido apresentou a maior média. De acordo com MELLO IVO & MIELNICZUK (1999), apesar do comportamento diferenciado de características morfológicas, a distribuição final de matéria seca das raízes por profundidade não é significativamente diferente entre o preparo convencional (aração e gradagens), o preparo reduzido (escarificação) e o plantio direto.

#### 4. CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos em ambas as épocas de semeadura, o desenvolvimento radicular de soja cultivada em solo infestado com *F. tucumaniae* em diferentes níveis manejo de solo e com potencias hídricos de - 0,001 e -0,05 MPa não foi influenciado.

#### 5. REFERÊNCIAS

AYLOR, H.M.; BRAR, G.S. Effect of soil compaction on root development. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, p. 111-119, 1991.

ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., Brasília, 1999. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. p.1-4.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison : Soil Science Society of America, 1996. p.123-141. (SSSA Special Publication, 49).

BALARDIN, R.S. & RUBIN, S.A.L. Reação de germoplasma de soja à *Fusarium solani* f. sp. *glycines*. Anais, Congresso Brasileiro de Soja, Embrapa Soja, Londrina PR. 1999. p. 461.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO J.R, W. AGROESTAT Versão 1.0 Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, campus de Jaboticabal (UNESP - Dpto. Ciências Exatas), 2009.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.39, n.6, p.581-8, 2004.

BOONE, F.R.; VAN DER WERF, H.M.G.; KROESBERGEN, B.; HAAG, B.A. TEM., BOERS, A. The effect of compaction of arable layer in a sandy soils on the growth of maize for silage. I. Critical potentials in relation to soil aeration and mechanical impedance. *Neth. J. Agric. Res.*, 34:155-171, 1986.

CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.32, n.4, p.1.399-1.407, 2008.

CINTRA, F.L.D.; MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.7, p.323-7, 1983.

DEXTER, A. R. Mechanics of root growth. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 98, n. 3, p. 303-312, 1987.

FARIAS NETO, A.L.; HARTMAN, G.L.; PEDERSEN, W.L.; LI, S.; BOLLERO, G.A.; DIERS, W.B. Irrigation and inoculation treatments that increase the severity of soybean sudden death syndrome in the field. **Crop Science**, v.46, p.2547-2554, 2006.

FERNANDES, E.J. & TURCO, J.E.P. Evapotranspiração de referência para manejo da irrigação em cultura de soja. **Irriga**, v.8, p.132-141, 2003.

FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C. & LIMA, S.L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. *Pesq. Agropec. Bras.*, 38:947-953, 2003.

FUJIWARA, M. KURACHI, S.A.H.; ARRUDA, F.B.; PIRES, R.C.M.; SAKAI, E. A. A técnica de estudo de raízes pelo método do trado. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo de Campinas**, Campinas, n. 153, 1994. 9 p.

GOMES, A. da S.; PEÑA, Y.A. Caracterização da compactação através do uso do penetrômetro. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v.49, n.426, p.18-20, 1996.

HAKANSSON, I.; STENBERG, M.; RYDBERG, T. Long term experiments with different depths of mouldboard plough in Sweden. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 46, p. 209-223, 1998.

HARTMAN, G.L.; NOEL, G.R.; GRAY, L.E. Occurrence of sudden death syndrome in east-central Illinois and associated yield losses. **Plant Disease**, v.79, n.3, p.314-318, 1995.

HENDERSON, C. W. Lupin as a biological plough: evidence for, and effects on wheat growth and yield. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v. 29, n. 1, p. 99-102, jan. 1989.

HOLLAND, J.M. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.103, p.1-25, 2004.

MATERECHERA, S. A.; ALSTON, A. M.; KIRBY, J. M.; DEXTER, A. R. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 144, n. 2, p. 297-303, aug. 1992.

MELGAR, J.; ROY, K. W.; ABNEY, T. S. Sudden death syndrome of soybean: etology, symptomatology and effects of irrigation and *Heterodera glycines* on incidence and severity under Field conditions. **Canadian Journal of Botany**, v. 72, p. 1647-1653, 1994.

MELLO IVO, W.M.P. & MIELNICZUK, J. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:135-143, 1999.

MIELNICZUK, J.; CARPENEDO, V.; PEDO, F. Desenvolvimento de raízes em solos compactados. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v.38, p.42-3, 1985.

PABIN, J.; LIPIEC, J.; WODEK, S. Critical soil bulk density and strength for pea seedling root growth as related to other soil factors. **Soil and Tillage Research**, v.19, p.131-143, 1998.

PICININI, E.C.; FERNANDES, J.M.C. Efeito do tratamento de sementes com fungicida sobre o controle de doenças na parte aérea do trigo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 515-520, 2003.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.S.S.; MIRANDA, M.A.C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.929-938, 2000. RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO

RINGLER, G.A. Reaction of soybean to inoculation with *Fusarium solani*. 1995. 125 f. (Dissertação de Mestrado) – University of Illinois, Urbana-Champaign.

ROSOLEM, C. A. Ecofisiologia e manejo cultural do algodoeiro. In: FUNDAÇÃO MT. Mato Grosso: liderança e competitividade. Rondonópolis: Fundação MT, Campina Grande: Embrapa-CNPA, 1999.

ROSOLEM, C.A.; VALE, L.S.R.; GRASSE, H.F. & MORAES, M.H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. R. Bras. Ci. Solo, 18:491-497, 1994.

ROSOLEM, C. A.; FERNADEZ, E. M.; ANDREOTTI, M. & CRUSCIOL, C. A. C. **Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração**. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.34, n.5, p.821-828, 1999.

ROY, K.W.; HERSHMAN, D.E.; RUPE, J.C.; ABNEY, T.S. Sudden death syndrome of soybean. **Plant Disease**, St. Paul, v.81, n.10, p.1100-1111, 1997.

RUPE, J.C., HIRREL, M.C.; HERSHMAM, D.E. Sudden death syndrome. In: HARTMAN, G.L. et al. **Compendium of soybean diseases**. 4.ed. St. Paul: Aps, 1999. p.37-39.

SADRAS, V.O.; O'LEARY, G.J.; ROGET, D.K. Crop responses to compacted soil: capture and efficiency in the use of water and radiation. **Field Crops Research**, v.91, p.131-148, 2005.

SCHERM, H. & YANG, X.B. Development of sudden death syndrome of soybean in relation to soil temperature and soil water matric potencial. **Phytopathology**, Saint Paul, v.86, p.642-649,1996.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.22, p.573-581, 1998.